

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

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

"La verdad no cambia porque sea o no sea creída por la mayoría de las personas"
Hipatia de Alejandría (355-415 aprox.)

El telescopio espacial James Webb es el principal Observatorio de Ciencias Espaciales del mundo, y está listo para empezar a operar a tiempo completo. En el momento de escribir estas líneas se están ultimando los últimos ajustes y calibraciones necesarios para que el telescopio espacial más grande y avanzado jamás construido inicie el programa de estudios e investigaciones que toda la comunidad científica lleva esperando desde hace años. El camino no ha sido fácil, ha estado plagado de retrasos y contratiempos, pero al final tenemos al alcance de la mano el momento de empezar a recibir imágenes y datos con un grado de detalle, nitidez y resolución nunca visto.

El exitoso telescopio espacial Hubble pasará por fin el testigo al James Webb, mucho más avanzado y potente, que permitirá dar un gran salto adelante en el conocimiento y observación de las áreas más punteras en la investigación científica relacionada con la Cosmología y la Astrofísica, como son los estudios sobre exoplanetas, origen y evolución de las galaxias, materia oscura, primeros momentos tras el Big Bang, desarrollo estelar, y otros muchos. Se ha diseñado para resolver misterios de nuestro Sistema Solar, para estudiar mundos distantes alrededor de otras estrellas, y explorar las misteriosas estructuras y los orígenes del Universo, y nuestro 'papel' en el mismo.

El Telescopio espacial James Webb, como todos los telescopios, es una verdadera 'máquina del tiempo' nos llevará a contemplar los objetos que poblaban el Universo en tiempos tan cercanos al Big Bang como unos cientos de millones de años. Dicho así, y a escala humana, parece un lapso de tiempo enorme, pero estimando que la edad del Universo es de unos 13 800 millones de años, realmente el telescopio espacial James Webb nos mostrará el Universo en sus primeras etapas. A estos efectos el Universo se asemeja a una cebolla, cuanto más lejos podamos ver en el espacio, más temprano veremos en el tiempo, descubriendo así cómo eran los objetos y el propio Universo cerca de su nacimiento. Cada capa de esa 'cebolla' nos muestra cómo era el Universo en un momento concreto de su evolución.

Las peticiones de tiempo de observación por parte de los astrónomos ha sido tan grande, que a pesar del plan de trabajo 'a tiempo completo', y evitando 'momentos muertos', se han tenido que priorizar los proyectos de mayor interés astrofísico y cosmológico, teniendo en cuenta que la 'esperanza de vida' del telescopio espacial James Webb superará en poco los 10 años en el mejor de los casos, sin posibilidad alguna de alargarlo, dado que no será posible llegar hasta el telescopio para reponer el combustible necesario para mantener sus parámetros orbitales, ni para realizar reparaciones o ajustes en otros componentes. Si falla algo no habrá una segunda oportunidad.

REPASO HISTÓRICO

"El primer paso de la ignorancia es presumir de saber"
Baltasar Gracián (1601-1658)

El Telescopio espacial James Webb es un proyecto internacional conjunto de la ESA (Agencia Espacial Europea), NASA (Agencia Espacial Norteamericana) 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 1), cuyo gran espejo primario segmentado tendrá 6,5 metros de diámetro, compuesto por 18 piezas hexagonales fabricadas en berilio.

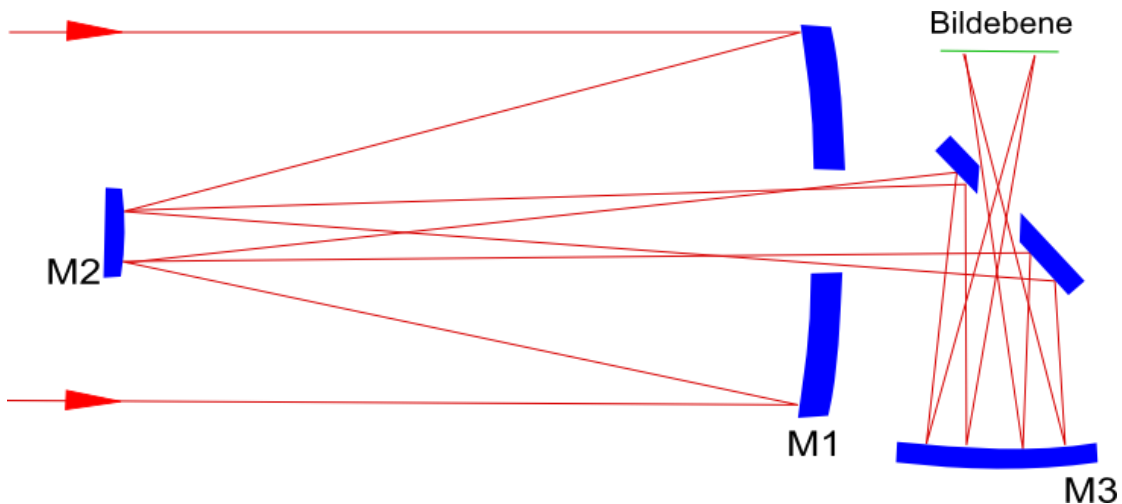


Figura 1: Esquema de telescopio reflector de tres espejos anastigmático, muy utilizado en telescopios espaciales

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, resultando 100 veces más potente. Su espejo secundario tendrá 0,74 metros de diámetro (Figuras 2 y 3).

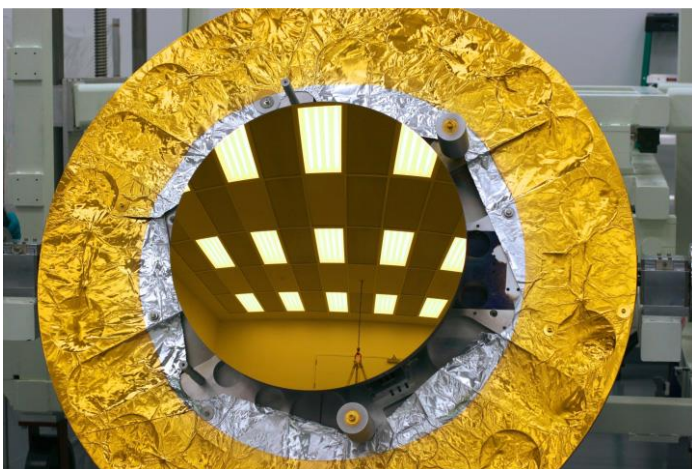


Figura 2: Recubrimiento de oro del espejo secundario del JWST (NASA-ESA-CSA)

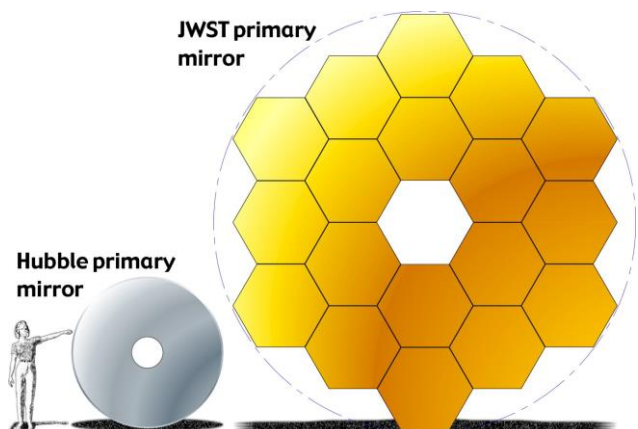


Figura 3: Diferencia de tamaños entre los espejos primarios del HST y del JWST (NASA)

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 4 y 5).

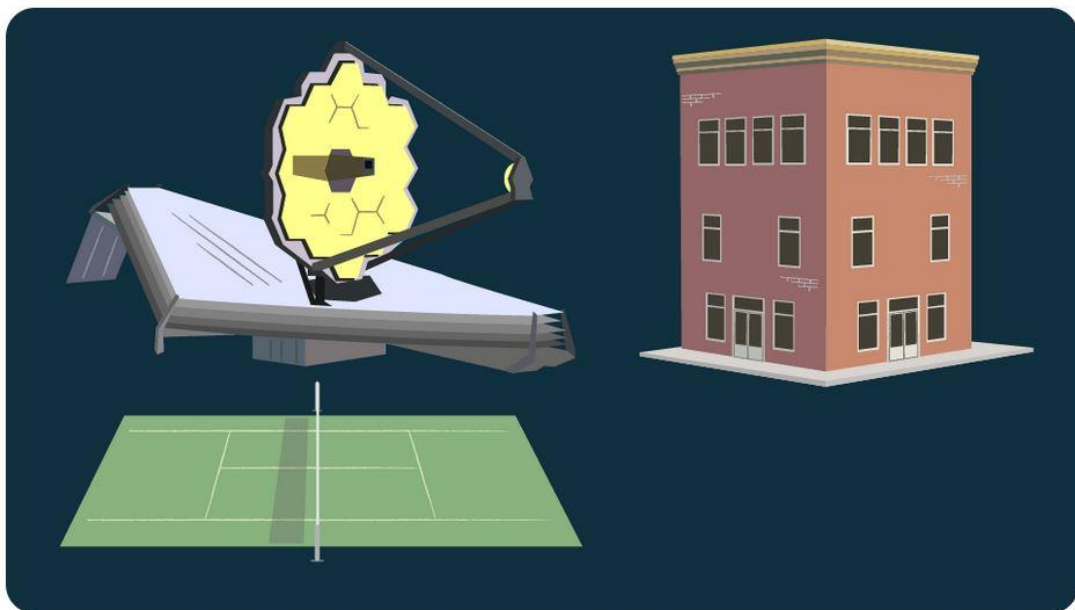


Figura 4: Despegue del cohete Ariane 5



Figura 5: 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 6, 7, 8 y 9).



The James Webb Space Telescope is about the same size as a tennis court and about as tall as a 3-story building! Credit: NASA/JPL-Caltech

Figura 6: Tamaño comparado del Telescopio JWST (NASA/JPL-Caltech)



Figura 7: Telescopio JWST (NASA-ESA-CSA)



Figura 8: Telescopio JWST desplegándose en el espacio, con su escudo término aún plegado (NASA)

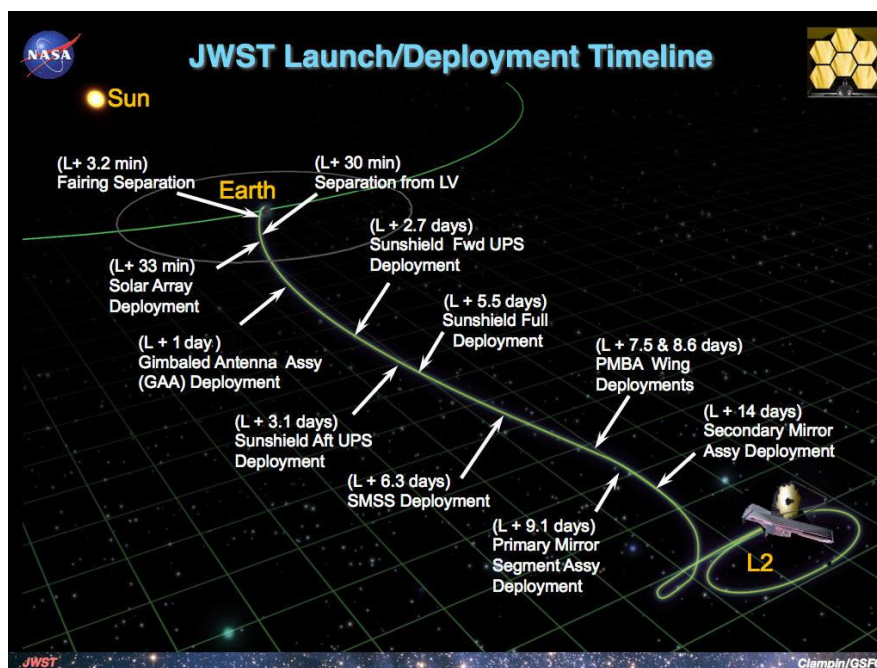


Figura 9: Despliegue JWST (NASA)

Al terminar la cuenta atrás, el poderoso cohete Ariane 5 comenzó el ascenso con el JWST en su interior, proporcionando el empuje necesario para llevarlo hasta su órbita definitiva. Tras 26 minutos de aceleración, y una vez producida la desconexión del motor de la segunda etapa del cohete, el JWST se separó del Ariane 5 activándose minutos después el despliegue del panel solar para generar electricidad a partir de la luz solar y dejar de consumir corriente de la batería. Al día siguiente, una vez que el telescopio espacial fue capaz de orientarse y volar en el espacio, inició la corrección de rumbo hacia el punto de Lagrange L2 (Sol-Tierra) en la trayectoria directa que le situó el Ariane 5, sin orbitar la Tierra previamente, a la vez que se liberó y desplegó la antena de alta ganancia para permitir las mayores tasas posibles de comunicación de datos tan pronto como fuera posible. Alguien podría pensar que la Luna podría suponer un obstáculo en su camino hacia el punto de Lagrange L2 (Sol-Tierra) de destino, pero aparte de otras consideraciones, la Luna estaba ya casi en fase de cuarto menguante, lejos de la trayectoria del telescopio espacial. A los tres días del lanzamiento el Telescopio Espacial James Webb superó la órbita de la Luna sin contratiempos.

Durante la primera semana de vuelo se desplegó el parasol y se realizó una segunda maniobra de corrección de trayectoria. Posteriormente se inició la secuencia de despliegues principales (parasol, radiadores, etc...), para completar, durante el primer mes de viaje, el despliegue del resto de elementos del telescopio, enfriamiento (evitando condensaciones), encendido de instrumentos e inserción en la órbita de Halo alrededor del punto L2. Una vez comprobado el desbloqueo y movilidad de todos los componentes del Observatorio Espacial, se ejecutó la última maniobra de corrección de trayectoria para insertar al JWST en su órbita óptima.

En este punto todavía le quedaban cinco meses de intenso trabajo antes de quedar definitivamente operativo para el trabajo científico, tareas todas críticas y que se desarrollaron según lo previsto: comprobación inicial de la óptica, alineación del telescopio, calibración de instrumentos científicos y supervisión del proceso de enfriamiento, para que la temperatura de trabajo de todos los instrumentos sea la adecuada (próxima al cero absoluto), sin crear problemas en los propios sistemas.

Por fin, a mediados del mes de junio de 2022, se dan por concluidos de manera exitosa todos los procedimientos de despliegue, configuración, calibraciones y puesta en marcha de todos los elementos del telescopio espacial a falta de pequeños detalles y pruebas; culminación del proceso de enfriamiento, y verificación de algunos daños mas o menos previstos, como un impacto de micrometeorito más fuerte de lo esperado, que dañó parcialmente el panel C3 del espejo primario (anteriormente se habían producido ya cuatro impactos sin consecuencias importantes).

El día 12 de julio, según lo programado, se ofrecerán al público los primeros resultados de imágenes en el rango visible e infrarrojo, y los resultados de las primeras operaciones científicas con toda la potencialidad del JWST. También se verificarán los posibles efectos del mencionado impacto de micrometeorito sobre una celda del espejo principal, que esperemos no comprometan la calidad de los productos obtenidos de manera importante.

En el momento de escribir estas líneas aún no se ha producido esa esperada exposición pública de los resultados de las primeras observaciones del telescopio espacial, aunque los lectores de este artículo ya podrán conocerlos a través de la prensa y las páginas web de la NASA y del propio JWST.

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL PROYECTO

El origen de este proyecto se remonta al mes de septiembre de 1989, antes incluso del lanzamiento del Telescopio Espacial Hubble que se llevó a cabo en 1990, cuando los científicos ya se preguntaban por el siguiente paso una vez el HST terminara con su misión.

La NASA y El Space Telescope Science Institute (STScI), centro de operaciones científicas del Telescopio Espacial Hubble, del James Webb y del Nancy Grace Roman (que espera ponerse en órbita en los próximos 4 o 5 años), organizaron en septiembre de 1989 un taller en el que se dieron cita más de 130 astrónomos e ingenieros para tratar sobre la próxima generación de telescopios espaciales. El tema central era la ciencia y las capacidades tecnológicas de un Observatorio Espacial que tomaría el relevo del Telescopio Espacial Hubble después de cumplir su vida útil, que en ese momento se estimaba para el año 2005 (fecha superada ampliamente, ya que actualmente sigue funcionando tras las actualizaciones y reparaciones necesarias). El grupo propuso el estudio de viabilidad para la construcción de un telescopio con un espejo primario de 10 metros de diámetro, para operar en el rango de frecuencias del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, con refrigeración pasiva y situado en una órbita terrestre alta, o bien un telescopio mayor, de 16 metros de apertura, basado en la Luna, para el estudio de las galaxias con alto desplazamiento al rojo.

En el año 1996 un comité formado por 18 miembros dirigido por el astrónomo Alan Dressler, recomendó formalmente a la NASA que desarrollara un telescopio espacial capaz de 'ver' en el rango infrarrojo del espectro, cuyas frecuencias son muy adecuadas para ver a través de las nubes de polvo y gas interestelar, permitiendo un estudio más amplio y profundo tanto en el espacio como en el tiempo. Dicho telescopio tendría un espejo principal de más de cuatro metros de diámetro y debería situarse en una órbita heliocéntrica mucho más allá de la órbita de la Luna (Figura 10).

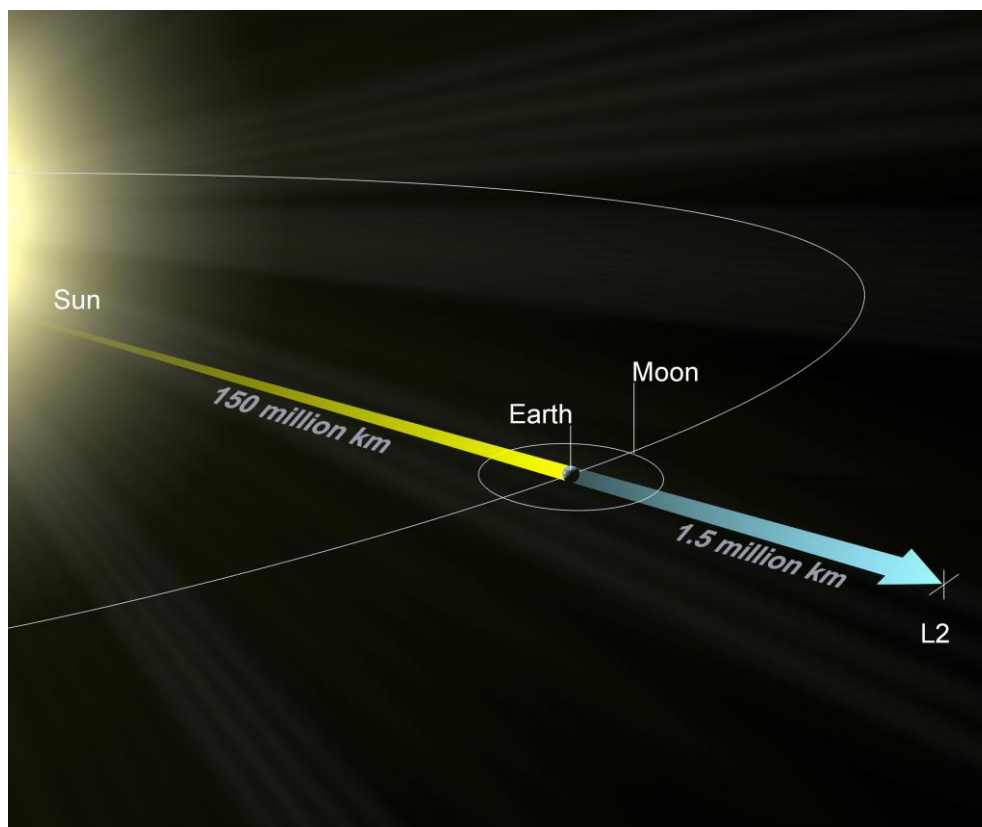


Figura 10: Posición prevista en los proyectos iniciales para situar al **JWST**, que sería el lugar finalmente elegido. (Imagen: dominio público -wikipedia-)

Tres equipos formados por científicos e ingenieros de los sectores público y privado (Centro de Vuelo Espacial Goddard y del Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial -STScI- entre otros), se reunieron para determinar si la NASA podría hacer realidad las conclusiones del comité, es decir, la viabilidad del 'Telescopio Espacial de Nueva Generación', concluyendo que dicho observatorio en órbita era viable y funcionaría.

Al año siguiente (1977) la NASA aceptó financiar estudios adicionales para perfeccionar los requisitos técnicos y financieros de la construcción del telescopio espacial, que finalmente se llevaron a cabo por el mencionado Centro de Vuelo Espacial Goddard, TRW y Ball Aerospace. En 1999 se une la compañía Lockheed Martin a las mencionadas Ball Aerospace y TRW, con la colaboración de Kodak y ATK, para realizar los estudios de la misión de la fase A, incluyendo el análisis preliminar del diseño y coste. Estas empresas serían seleccionadas en el año 2002 por la NASA para continuar con los estudios de diseño detallado de la fase B, que examina el rendimiento y el coste del diseño elegido, y para construir los instrumentos. Igualmente seleccionó el grupo de astrónomos que se encargaría de guiar la construcción, y el grupo de trabajo científico de vuelo y el equipo responsable del desarrollo de la cámara del infrarrojo cercano (NIRCam). En la fase B, TRW y Ball Aerospace se adjudican el contrato del observatorio espacial, pero enseguida se producen cambios, Northrop Grumman adquiere TRW y trabaja con Ball Aerospace para desarrollar el observatorio durante las fases B, C y D.

En ese mismo año el telescopio recibió el nombre formal de 'James Webb Space Telescope' en honor del administrador de la NASA que dirigió el desarrollo del famoso programa 'APOLO'.

Los ingenieros aeroespaciales y astrónomos innovaron para satisfacer las exigencias científicas del JWST, un desafío tecnológico sin precedentes, ya que una vez puesto en órbita no podría recibir asistencia física directa desde la Tierra, como carga de combustible, nuevos componentes, sustitución de equipos o reparaciones. Todo debería funcionar bien a la primera (bueno, a la segunda, pues todo el sistema se diseñaría de forma redundante para que en caso de fallo, las funciones del equipo o sistema averiado pudieran seguir desarrollándose correctamente), dado que no sería posible una reparación o sustitución de algunos componentes vitales para la misión, a diferencia de su predecesor, el HST (Telescopio Espacial Hubble), que ha alargado su vida útil extraordinariamente debido a las reparaciones y actualizaciones que los astronautas han podido efectuar en diferentes 'visitas' a través de transbordadores o lanzaderas.

La construcción del JWST comenzó en el año 2004 con las partes del telescopio que requerían un trabajo extenso y a largo plazo, sobre todo los instrumentos científicos y los 18 segmentos del espejo primario.

El Centro Espacial Europeo de la Guayana Francesa (CSG), puerto espacial de la Agencia Espacial Europea (ESA) situado cerca de Kourou, fue elegido en el año 2005 como lugar de lanzamiento del JWST, siendo aprobado por la NASA el uso de un cohete Ariane 5 para lanzarlo al espacio.

Durante el año 2006 los equipos de instrumentos científicos de la Cámara del Infrarrojo Cercano (NIRCam) y del Instrumento del Infrarrojo Medio (MIRI) superan las revisiones críticas de diseño, y se inicia la construcción de los instrumentos de vuelo. Todas las tecnologías esenciales del Telescopio Espacial James Webb se aprueban con éxito en condiciones de vuelo.

Entre los años 2007 y 2008 la NASA encarga la revisión de la misión por grupos internos y externos. La revisión interna, relacionada con el diseño preliminar, y la revisión externa (no relacionada con la defensa) concluyen que los planes y diseños han alcanzado la madurez necesaria para que la NASA pueda comprometerse con las fases C y D, que implican el diseño detallado, la ad-

quisición, las pruebas y el montaje del telescopio espacial y los componentes del Observatorio. Puede decirse que en este momento la construcción comienza en serio.

Durante el año 2009 llega al Centro de Vuelo Espacial Goddard para someterse a pruebas el Módulo de Instrumentos Científicos Integrados (ISIM), verdadero corazón del Telescopio Espacial James Webb, 'carga útil principal' en el lenguaje de los ingenieros de la misión. Esta Unidad alojará los cuatro instrumentos principales del telescopio, encargados de detectar la luz de estrellas, galaxias y planetas suministrada por el telescopio.

En el año 2010 el JWST supera la revisión del diseño crítico de la misión, lo que señala que el Observatorio orbital integrado cumple todos los requisitos científicos y de ingeniería para llevar adelante su misión. Al año siguiente se completó la construcción de los 18 segmentos del espejo primario, habiéndose comprobado el cumplimiento de las especificaciones requeridas. Estos espejos están recubiertos de berilio con una fina capa de oro, habiendo superado las críticas pruebas criogénicas que los exponen a las gélidas temperaturas a las que están sometidos en el espacio (pocos grados por encima del cero absoluto).

Entre los años 2012 y 2013 el Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA en Greenbelt, Maryland, recibe diferentes componentes individuales del JWST, entre ellos dos de los cuatro instrumentos científicos de la misión, el instrumento de infrarrojo medio (MIRI) y el espectrógrafo de infrarrojo cercano y sin rendija (NIRISS), así como el sensor de orientación fina. Estos instrumentos se reciben de la ESA (Agencia Espacial Europea) y de la CSA (Agencia Espacial Canadiense). El espejo secundario del JWST y los tres primeros segmentos del espejo primario también llegan procedentes de Ball Aerospace & Technologies Corp., y Northrop Grumman y su socio ATK terminan de construir la sección central de la estructura de la placa posterior del telescopio, diseñada para sostener los segmentos del espejo primario.

En 2013 comenzó la construcción de las capas del parasol, y se completaron las dos "alas" laterales de la estructura del plano posterior del JWST por parte de Northrop Grumman y ATK. Por último, se entregaron los dos instrumentos científicos que faltaban, la cámara del infrarrojo cercano (NIRCam) y el espectrógrafo del infrarrojo cercano (NIRSpec), así como los segmentos restantes del espejo primario.

La fabricación de las piezas de la nave espacial (como los depósitos de combustible, los giroscopios y los paneles solares) da comienzo en el año 2014, así como las pruebas criogénicas del Módulo de Instrumentos Científicos Integrados (ISIM), que incluye los cuatro instrumentos, así como la electrónica utilizada para comunicarse con ellos. En los siguientes dos años se completaron las pruebas criogénicas y de vibración extrema del Módulo de Instrumentos Científicos Integrados (ISIM) que se llevaron a cabo en la Cámara A del Centro Espacial Johnson (NASA), también se montaron los 18 segmentos del espejo primario de 6,5 metros de diámetro en la placa posterior del telescopio, el espejo secundario y los puntales de soporte. Los espejos primario y secundario se integran con los espejos de popa y el ISIM para crear la unidad conocida como Elemento del Telescopio Óptico.

En el año 2017, los espejos e instrumentos científicos se conectaron y probaron. Las pruebas ambientales adicionales del telescopio acoplado y el conjunto de instrumentos se produjeron en una cámara de vacío térmica gigante en el Centro Espacial Johnson de la NASA en Houston, Texas, que soportó el paso del huracán Harvey a finales de agosto de ese año sin provocar retrasos ni contratiempos.

El ensamblaje y las pruebas finales para garantizar que el JWST realice su complejo despliegue y su misión científica a la perfección, una vez en el espacio, se llevaron a cabo entre los años 2018 y 2019.

Tras completar con éxito su prueba final de vacío térmico, el Elemento de Telescopio Óptico se entregó a Northrop Grumman en Redondo Beach, California, reuniendo todos los componentes de vuelo bajo un mismo techo, y se realizaron las primeras pruebas de comunicaciones con éxito desde el Centro de Operaciones de la Misión en el STScI a la nave espacial del telescopio en tierra, en California. Por primera vez, ya en el año 2019, el elemento parasol-bus del JWST supera con éxito las pruebas acústicas, de vibración y de vacío térmico que simulan los rigores del entorno de lanzamiento, así como el vacío extremo del espacio. En ese mismo año los ingenieros conectan con éxito las dos mitades del telescopio -el elemento del telescopio óptico y la nave espacial- en Northrop Grumman (Figura 11).

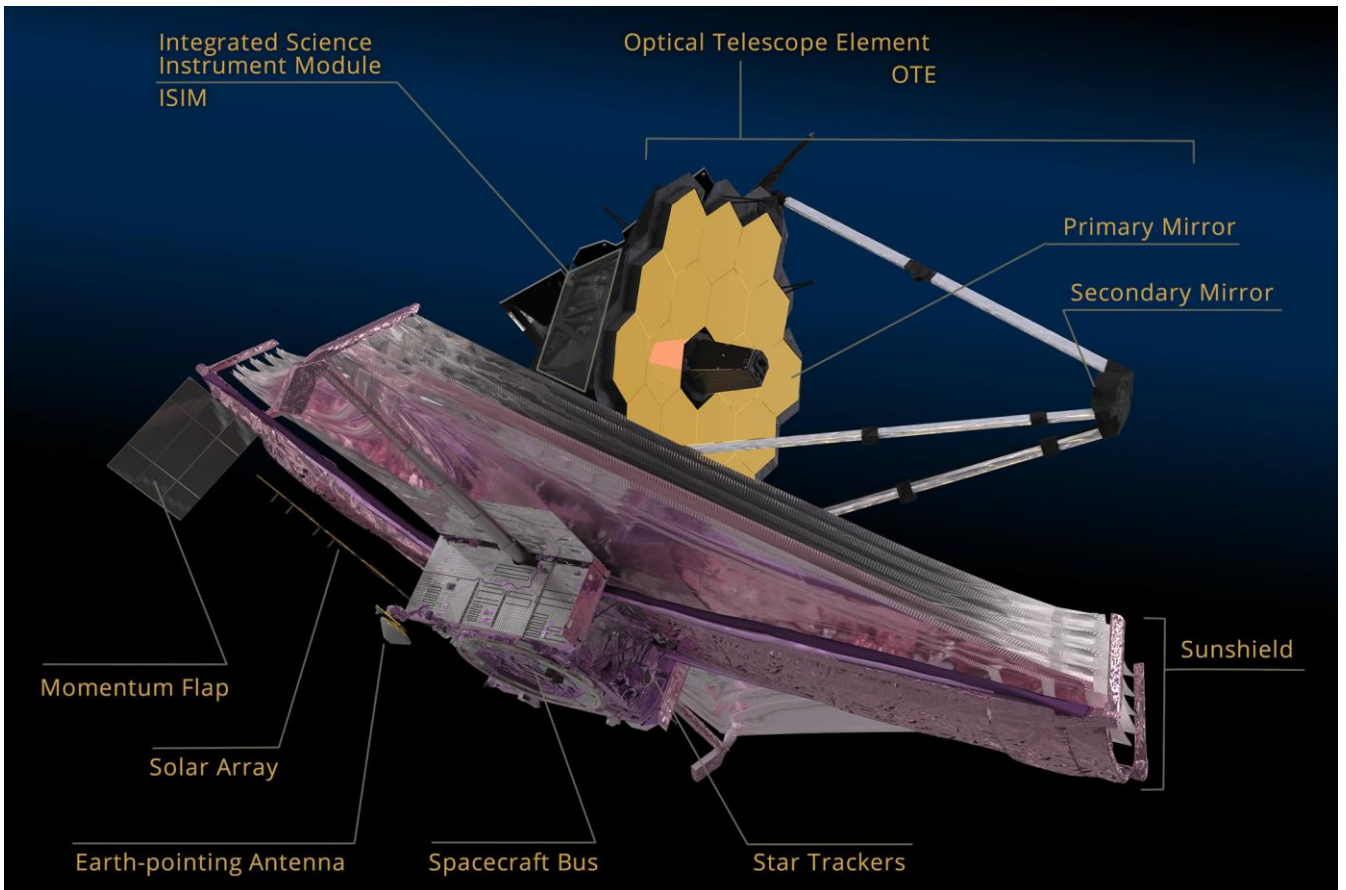


Figura 11: Componentes del Telescopio Espacial James Webb ensamblados y preparados (NASA)

El primer proceso de pliegue completo del Telescopio Espacial James Webb se produce durante el año 2020, completándose las pruebas ambientales finales para demostrar que puede soportar las sacudidas, vibraciones y tensiones del entorno de lanzamiento. Igualmente se despliega por última vez en la Tierra el parasol.

En el año 2021, que por fin vería el despegue exitoso del JWST, se pliega y se guarda por última vez para el momento de su lanzamiento. El Space Telescope Science Institute (STScI) anuncia la selección de los programas de Observación General del Ciclo 1, completando el programa científico que el Observatorio Espacial JWST llevará a cabo durante su primer año de actividad. Por fin, el telescopio, con su 6 200 kg de peso, es enviado al Centro Espacial (CSG) en Kourou, Guayana Francesa, para su lanzamiento el día de 'Navidad', 25 de diciembre, a las 7:20 a.m. EST en un cohete Ariane 5.

TIPOS DE ÓRBITAS DE SATÉLITES ARTIFICIALES Y NAVES ESPACIALES

"El Sol, con todos esos planetas girando a su alrededor y dependiendo de él, aún puede hacer madurar un racimo de uvas, como si no tuviese nada que hacer en el Universo"
Galileo Galilei (1564-1642)

La era espacial comenzó en octubre de 1957 con el lanzamiento del satélite soviético 'Sputnik I', que supuso una frenética carrera entre la U.R.S.S. y U.S.A. por alcanzar en primer lugar una serie de hitos astronáuticos. Los soviéticos fueron por delante, hasta que con el programa 'APOLO' los norteamericanos enviaron a tres astronautas a la Luna por primera vez en la Historia, superando a la U.R.S.S. El cielo empezó a poblarse de satélites cada vez más avanzados y con diferentes usos por parte de las dos potencias mencionadas a las que se fueron sumando diferentes países paulatinamente (China, Japón, Francia, Reino Unido, India, Israel, Irán, etc.)

Simplificando, existen cinco tipos principales de órbitas en las que se sitúan los ingenios espaciales, dependiendo mucho de la función o misión que vayan a desempeñar. La órbita terrestre baja, o LEO por sus siglas en inglés (Low Earth Orbit), está situada a altitudes no superiores a los 2000 km, entre las capas superiores de la atmósfera y el cinturón de radiación de Van Allen. Sus periodos oscilan entre los 90 minutos (para las altitudes más bajas) y varias horas (para aquellas más altas). La combinación entre el trazado de la órbita y la rotación terrestre va determinando los lugares de la Tierra que la nave sobrevuela. Si una órbita pasa por los polos o cerca de ellos, recibe además el adjetivo de 'polar'. Este tipo de órbita es utilizado principalmente por naves espaciales tripuladas, ciertos satélites de comunicaciones o meteorológicos, e ingenios militares. Un ejemplo de satélites colocados en este tipo de órbita corresponde a la serie de satélites norteamericanos TIROS, lanzándose el primero de ellos el 1 de abril de 1960, con una vida útil operativa de 78 días, sobrevolando la Tierra a una altitud de 724 km en una órbita inclinada 50° sobre el ecuador terrestre. Posteriormente, el que hacía el número 9 de esta serie norteamericana de satélites meteorológicos, se colocó en una órbita polar heliosincrónica, es decir, en una órbita circular polar en la que el plano de la misma mantiene una relación constante con la línea Sol-Tierra, de tal modo que el satélite pasa sobre un punto de la Tierra aproximadamente a la misma hora cada día, permitiendo una cobertura continua de todo el hemisferio terrestre iluminado por el Sol.

Las órbitas por debajo del umbral mínimo de las 'LEO' son inestables y decaen rápidamente debido al rozamiento con la atmósfera, por lo que algunos vuelos suborbitales se han presentado como verdaderos vuelos espaciales sin serlo. La mayoría de los vuelos tripulados se han situado en órbita terrestre baja, incluyendo las misiones del Transbordador Espacial de la NASA (Space Shuttle), denominado oficialmente Space Transportation System (STS), o las misiones de la Estación Espacial Internacional (ISS). Los vuelos tripulados del programa Apolo han sido los únicos que han sobrepasado el umbral más alto de las 'LEO' con astronautas en su interior.

La mayoría de los satélites artificiales lanzados al espacio se han colocado en órbitas bajas (LEO), ya que se necesitan cohetes y transmisores para transferencia de datos menos potentes. En estas órbitas los satélites viajan a unas velocidades superiores a unos 8 km/s. Además, este tipo de órbitas facilita un mayor nivel de detalle para tareas de teledetección, adoptando en este caso la variante de órbita terrestre baja síncrona polar a una altitud de unos 800 km, que resulta muy adecuada para ese tipo de misiones. Otro tipo de satélites, sobre todo de comunicaciones y meteorológicos, necesitan orbitar la Tierra en órbitas geoestacionarias (GEO), que veremos más adelante.

El día 3 de noviembre de 1957 la Unión Soviética envió al primer ser vivo fuera de la Tierra, situando la nave que lo albergaba (Sputnik 2) en una órbita terrestre baja. Lamentablemente la perrita Laika, que era su ocupante y no sobrevivió al vuelo, resultó el primer animal muerto en órbita.

La gran cantidad de satélites artificiales colocados en órbita en los últimos años, sobre todo en 'LEO', están creando un enorme problema de 'gestión de residuos' espaciales, con gran cantidad de basura espacial descontrolada y con una congestión del 'tráfico' espacial que empieza a resultar peligroso para la navegación, e incluso para la observación astronómica desde la superficie de la Tierra (Figura 12).

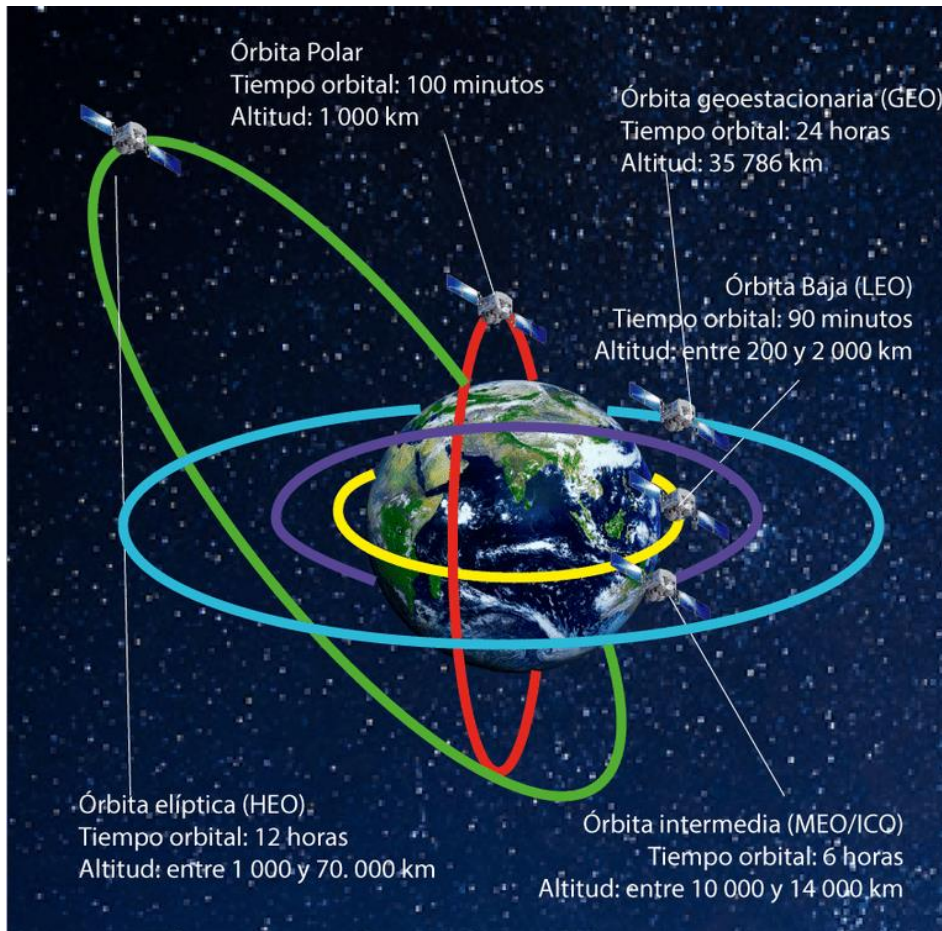


Figura 12: Algunos tipos de órbitas terrestres (NASA)

Un segundo tipo de órbita es la 'geoestacionaria', o GEO por sus siglas en inglés (Geosynchronous Equatorial Orbit), es una órbita circular situada a unos 35 700 km de altitud sobre el ecuador, algo más de cinco veces y media el radio terrestre y la décima parte de la distancia entre la Tierra y la Luna, con un periodo de cerca de 24 horas que coincide con el de la rotación terrestre. Lógicamente un satélite ubicado en una 'GEO' recorre su órbita en el mismo sentido en el que lo hace la Tierra, quedando a su alcance visual el 80% del disco terrestre y mostrándose estático en el cielo para un observador en la superficie. Este tipo de órbita suele ser utilizado principalmente por satélites meteorológicos, militares y de comunicaciones (incluida la TV), y es un subconjunto de las llamadas órbitas geosincrónicas (GSO). En ocasiones pueden encontrarse los términos 'órbita de Clarke' o 'cinturón de Clarke' en referencia a órbitas geoestacionarias, debido a que el famoso escritor de ciencia ficción Arthur C. Clarke popularizó en el año 1945 este tipo de órbitas para su uso en materia de comunicaciones.

Las órbitas 'GEO' tienen la gran ventaja de que un satélite situado en ella, al mantenerse estático en el cielo, puede tener un enlace de comunicaciones permanente con una antena que apunte a la dirección fija del satélite. A diferencia de otro tipo de órbitas que presentan un rango de altitudes variables, todas las naves ubicadas en una órbita 'GEO' necesariamente han de estar a 35 786 km de altitud, lo que las hace más sensibles a la saturación, aunque de momento se está muy lejos de esa situación. Algunos de los satélites más famosos situados en órbitas geoestacionarias son los Meteosat (ESA), GOES (USA), GMS (Japón), INSAT (India) y ARSAT-2 (Argentina).

Aunque una órbita geoestacionaria debería mantener a un satélite en una posición fija sobre el ecuador, las perturbaciones orbitales causan deriva lenta pero constante alejándolo de su localización geoestacionaria, cuyos efectos se corrigen mediante maniobras de estacionamiento denominadas "*orbital station-keeping*". La vida útil de los satélites depende de la cantidad de combustible que tengan y gasten en estas maniobras. Por ejemplo, el hecho de que el ecuador de la tierra no sea perfectamente circular sino ligeramente elíptico, causa una pérdida en la longitud de la órbita de los satélites, que se corrige aumentando su velocidad en hasta 2 m/s por año.

Entre las órbitas LEO y GEO se encuentra un tercer tipo de órbita denominado 'órbita terrestre media' (MEO, por el inglés Medium Earth Orbit) o también denominada 'órbita circular intermedia' (ICO, por Intermediate Circular Orbit), situada a unos 20 000 km sobre la superficie terrestre, algo inclinada, o sobre el ecuador, y con un periodo de 12 horas, aproximadamente, dependiendo de la altitud. Este tipo de órbitas también se utilizan para usos civiles y militares, así como para tareas relacionados con la navegación (sistemas de posicionamiento geográfico -GPS-GLONASS-Galileo-).

Existe un cuarto tipo de órbita, que es la menos utilizada, denominada 'órbita terrestre alta' u 'órbita de gran altitud' (HEO, del inglés High Earth Orbit). Estas órbitas están situadas a altitudes superiores al de las órbitas geoestacionarias, entre éstas y la órbita lunar, por lo que sus periodos son superiores a la duración del día terrestre, lo que les hace aparecer en el cielo con un movimiento contrario al de la rotación terrestre, es decir, de este a oeste. Estas órbitas HEO discurren por un espacio muy poco poblado de satélites, cuyo uso mayoritario corresponde a misiones militares y científicas, como por ejemplo los satélites de la serie Vela destinados a la detección de explosiones nucleares.

Por último, dentro de las órbitas terrestres, existe un quinto tipo denominado como el anterior HEO, pero con un significado distinto (órbita altamente elíptica, u órbita muy elíptica, que en inglés se expresa como Highly Elliptical Orbit). Este tipo de órbitas elípticas, inclinadas y muy alargadas, tienen la gran ventaja de cubrir zonas alejadas del ecuador (como América del Norte y Rusia) a las que no alcanzan adecuadamente los satélites geoestacionarios, sobre todo para tareas de comunicaciones y operadoras de televisión. Dada esa gran excentricidad, cuando la nave se encuentra cerca del apogeo su velocidad es muy lenta lo que hace que se mantenga en esa zona, cubriendo determinadas áreas terrestres, durante largos periodos de tiempo.

La serie de satélites soviéticos Mólniya, que operaban sobre todo en ese tipo de órbita marcadamente elíptica, con una excentricidad de 0,737 e inclinada 63,4º respecto al ecuador, se hizo tan popular que puso nombre propio a las órbitas HEO (órbitas muy elípticas), denominándose en ocasiones como 'órbita Mólniya', con un apogeo (punto de la órbita más alejado de la Tierra) a ~40 000 km de la superficie y un perigeo (punto de la órbita más cercano a la Tierra) a ~500 km de la misma. Los satélites que navegan en estas órbitas tienen un periodo de 12 horas, desplazándose muy despacio en las proximidades del apogeo, y muy deprisa cuando se acercan al perigeo (origen del nombre ruso Mólniya, que significa rayo), motivo por el cuál permanecen la mayor parte del tiempo sobre un mismo hemisferio (11 de las 12 horas de su periodo orbital). La mayoría de los satélites ubicados en órbitas Mólniya se han utilizado para transmisiones de tele-

visión, telecomunicaciones, comunicaciones militares, retransmisión, monitoreo del clima, sistemas de alerta temprana y otras misiones clasificadas. Sin embargo, no son adecuadas para vuelos tripulados ya que atraviesan los cinturones de radiación de Van Allen dos veces en cada órbita, es decir, cuatro veces al día.

La órbita Mólniya ofrece una cobertura total de las regiones polares, pero necesita 3 satélites en posiciones equidistantes dentro de la órbita, para que en todo momento al menos uno de ellos se encuentre en una posición adecuada respecto a una zona concreta de la superficie. Esta configuración permite que en cualquier momento uno de los tres satélites esté en las proximidades del apogeo y otro pasando por el perigeo. El asunto más problemático y delicado es el seguimiento, ya que se necesitan dos antenas de rastreo en las estaciones de tierra en continuo ajuste y movimiento, debido a la variabilidad de la distancia del satélite, de la potencia de la señal recibida (incluido el efecto Doppler), y del haz de cobertura. Por su parte, los propios satélites llevan una antena de rastreo, que deben permanecer orientada hacia las antenas situadas en tierra, para no perder las comunicaciones en ningún momento (Figura 13).

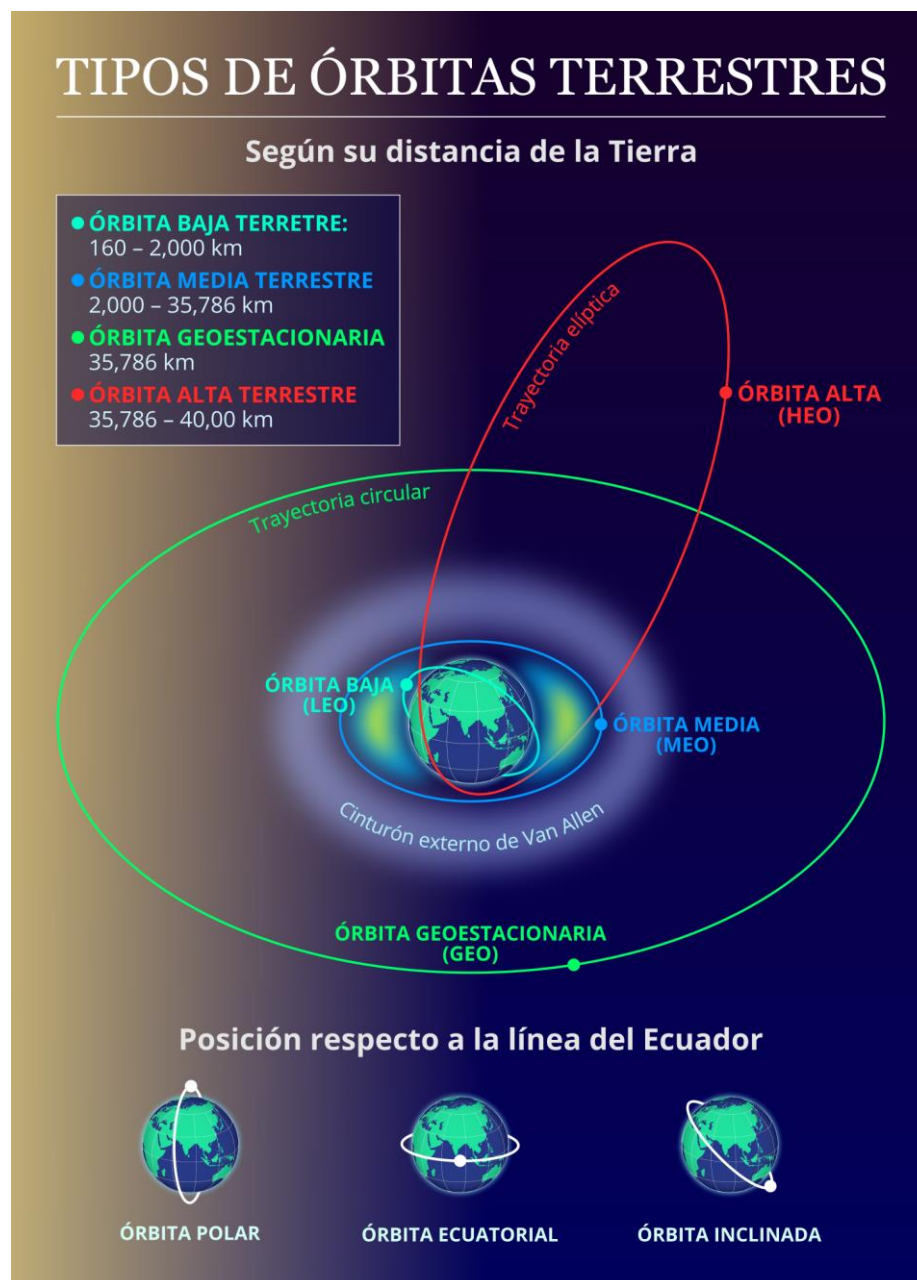


Figura 13: Órbitas terrestres utilizadas habitualmente por satélites artificiales, sondas y resto de vehículos espaciales (NASA)

Llegados a este punto podríamos preguntarnos en qué tipo de órbita se ha situado al Telescopio Espacial James Webb. Pues bien, no lo encontraremos en ninguna de las órbitas terrestres que hemos visto hasta ahora. El telescopio espacial se ha enviado más lejos de la Tierra, mucho más allá de la órbita lunar (a un millón y medio de km), a una órbita denominada de 'Halo' que gira alrededor del punto de Lagrange Sol-Tierra L2, que lo mantiene alineado con la Tierra y el Sol de forma muy estable, girando alrededor del 'astro rey' con un periodo casi idéntico al de la Tierra, con pequeños ajustes orbitales cada cierto tiempo para evitar que pierda su posición (Figura 14).

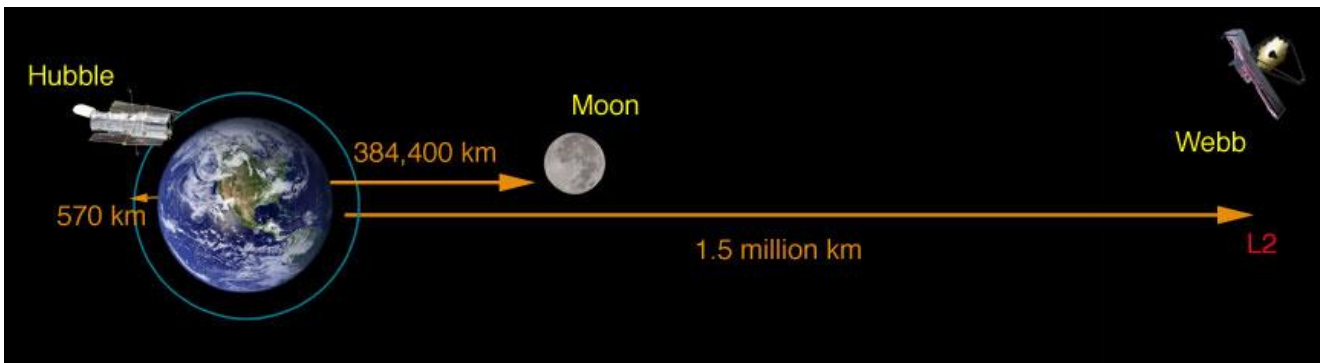


Figura 14: Posiciones orbitales de los telescopios espaciales Hubble y James Webb (NASA)

Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) fue un físico, matemático y astrónomo italiano que encontró la solución al llamado 'problema de los tres cuerpos'. En el 'problema de los tres cuerpos restringido' en el que se asume que uno de los tres cuerpos tiene una masa despreciable respecto a los otros dos, como es el caso del Sol, la Tierra y una nave espacial, por ejemplo, existen 5 puntos denominados de 'Lagrange' o de 'libración' en los que los L1, L2 y L3 alineados entre sí son metaestables, es decir, que necesitan cierta ayuda externa (como cohetes) para mantenerse en esos puntos, porque cualquier pequeña desviación del punto de equilibrio crece con el tiempo. Sin embargo, los puntos L4 y L5 son estables en el sentido de que los objetos situados en esos puntos se mantienen en los mismos sin ayuda. Como ejemplos de estos puntos L4 y L5 tenemos a los asteroides troyanos que se mueven alrededor del Sol en la misma órbita de Júpiter, 60° por delante y 60° por detrás del planeta gigante (Figura 15).

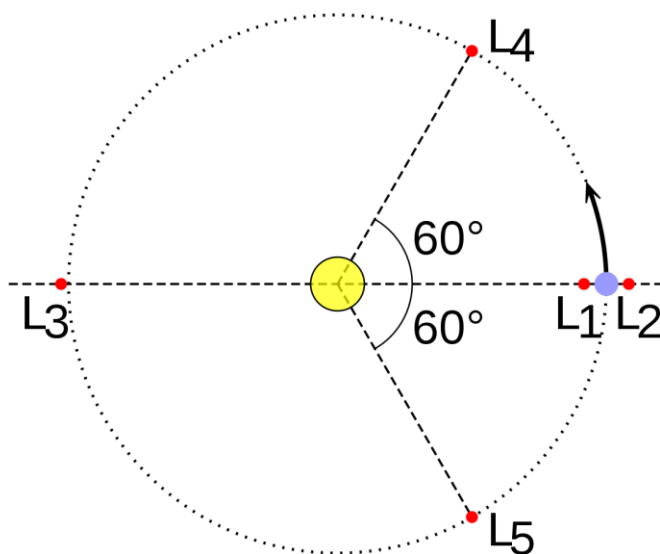


Figura 15: Puntos de Lagrange, donde L4 y L5 son estables y los L1, L2 y L3 necesitan ajustes periódicos para mantener dicha posición (Imagen: dominio público -wikipedia-)

El primer punto de Lagrange L1 (Sol-Tierra) se encuentra a un millón y medio de Km de la Tierra en dirección al Sol, y resulta muy adecuado para observatorios solares por ejemplo, que tienen asegurada la posición del Sol a 180° de la de la Tierra, por lo que tanto el objeto a estudiar como las comunicaciones con las estaciones terrestres resultan fijas para la nave. Un ejemplo de sonda espacial situada en ese punto es SOHO (Solar and Heliospheric Observatory), proyecto conjunto NASA-ESA para el estudio del Sol.

En el punto L2, además del JWST, están situadas varias sondas para el estudio del cielo profundo y objetos lejanos como las misiones WMAP (NASA), Herschel y Planck (ESA).

El punto L3 es bastante inestable pues es muy susceptible al efecto de las fuerzas gravitatorias del resto de planetas del Sistema Solar, y no se utiliza para situar sondas, naves o satélites. Sin embargo, es un lugar muy sugerente, sobre todo para muchas obras de ciencia ficción que situaban en ese punto algo así como una 'anti-tierra', dado que es un punto oculto desde la Tierra, siempre detrás del Sol.

El Telescopio Espacial James Webb no está situado exactamente en el punto de Lagrange L2, en realidad describe una órbita a su alrededor (denominada órbita de Halo), similar en tamaño a la que describe la Luna alrededor de la Tierra, que recorre en ~ 6 meses y que mantiene al JWST en comunicación directa y sin interrupciones con la Tierra, permitiéndole una visión permanente y sin obstáculos de sus áreas de observación. Estos datos orbitales le diferencian sustancialmente del Telescopio Espacial Hubble, que entra y sale de la sombra terrestre cada hora y media. Debido a que la órbita de halo tiende a ser inestable, es necesario el mantenimiento de la posición orbital para mantener al JWST en el lugar adecuado, lo que supone un gasto de combustible pequeño pero frecuente. Agotado ese combustible no habrá manera de mantener la órbita correcta y el telescopio dejará de ser operativo perdiéndose definitivamente (Figura 16).

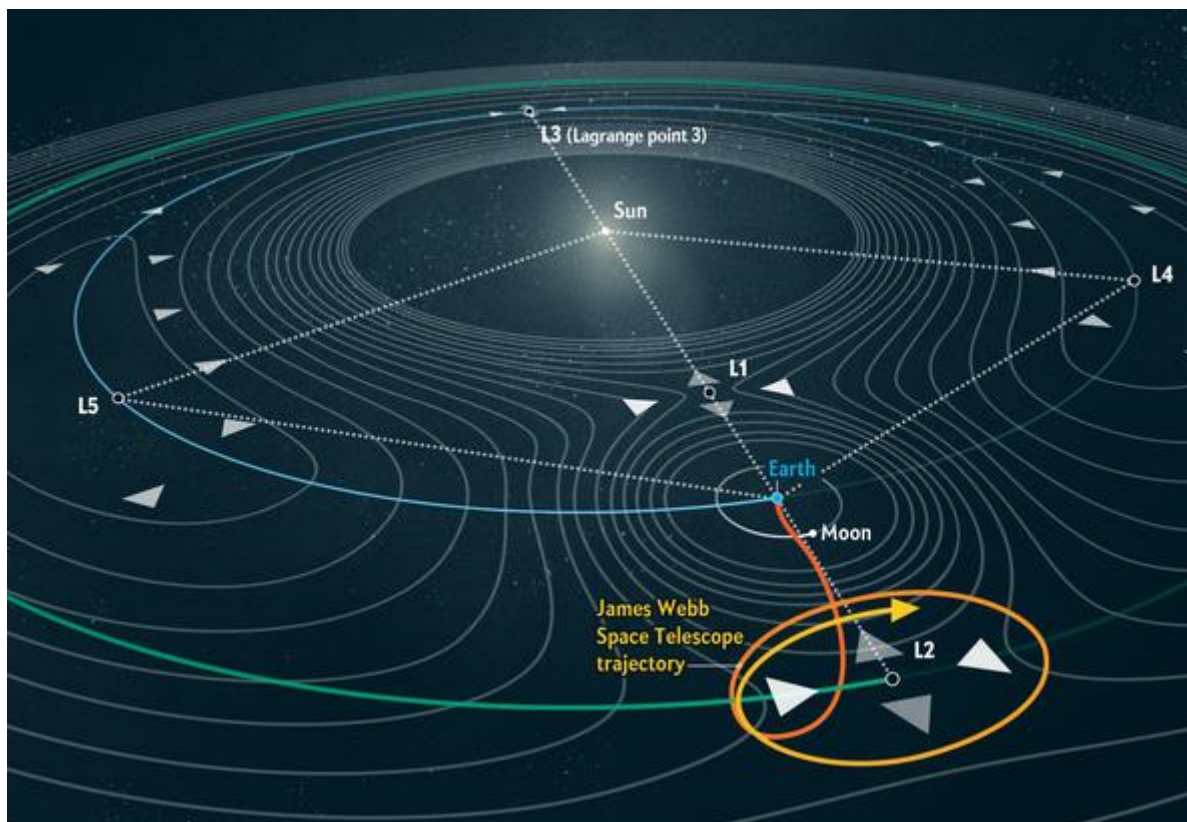


Figura 16: Puntos de Lagrange y órbita de Halo que sigue el Telescopio Espacial James Webb alrededor del punto L2 (Imagen: dominio público -wikipedia-)

Telescopio espacial James Webb

Siempre encontraremos al telescopio espacial en el mismo lugar en el cielo nocturno, a medianoche y a 180° de la posición del Sol, a millón y medio de kilómetros de distancia. Sin embargo, aunque la Tierra y el JWST estén siempre en contacto 'visual' directo, nuestro planeta gira sobre sí mismo cada 24 horas y por tanto nuestra antena de comunicaciones no podrá mantener las comunicaciones 24 horas diarias.

Por ese motivo se ha creado la denominada Red de Espacio Profundo (DSN), que utiliza tres grandes antenas de comunicaciones situadas en Australia, España y California (USA) para mantener un enlace continuo con el telescopio espacial. Durante las operaciones rutinarias se descargarán datos a través de la DSN dos veces al día, y el Space Telescope Science Institute (STScI) subirá la secuencia de comandos necesarios semanalmente y las actualizaciones diarias que resulten necesarias. El Telescopio Espacial James Webb tiene también la capacidad de ejecutar automáticamente algunas secuencias de comandos para apuntar y observar objetivos (Figuras 17 y 18).



Figura 17: Madrid Deep Space Network (Robledo de Chavela - Madrid) (Imagen de Héctor Blanco de Frutos, crédito: creative commons attribution 2.5 license -cc-by-)

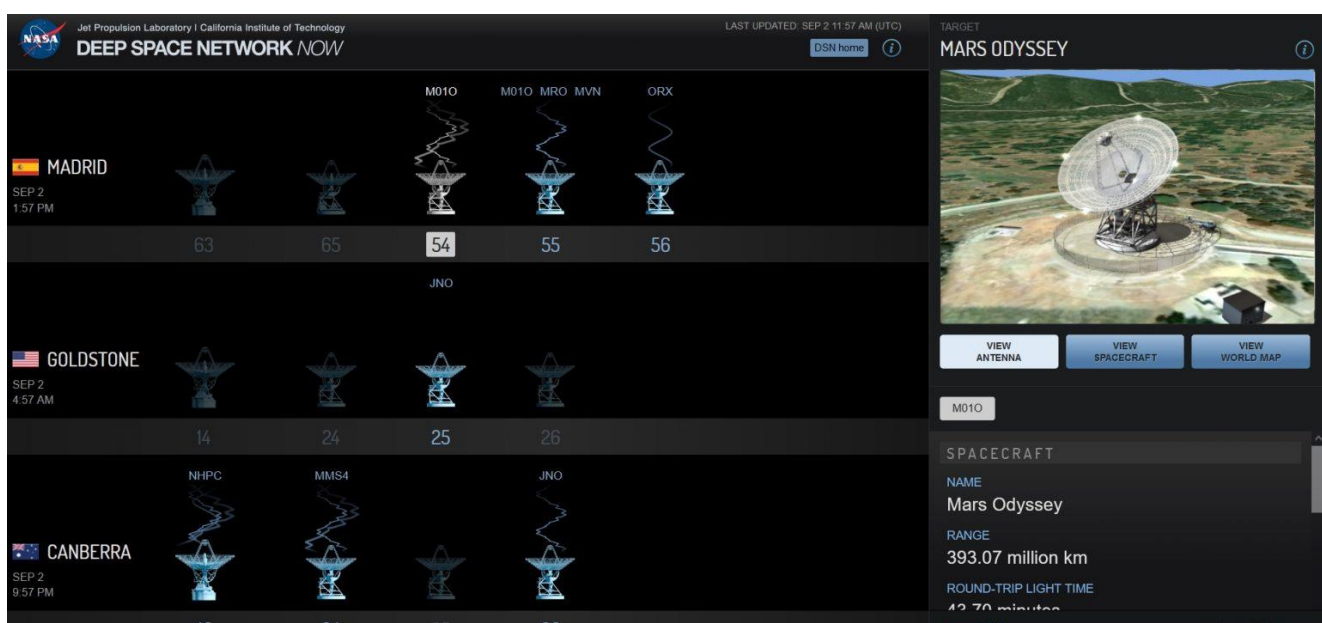


Figura 18: Deep Space Network (Madrid, Goldstone, y Canberra) (Credito: NASA/JPL/Caltech)

INSTRUMENTOS DEL JWST

"La búsqueda del bien y del mal están vinculadas en la astronomía como en casi todas las ciencias... El destino de la civilización humana dependerá de si los cohetes del futuro llevan el telescopio del astrónomo o una bomba de hidrógeno"
Bernard Lovell (1913-2012)

Como hemos visto anteriormente el Telescopio Espacial James Webb tiene tres grupos de elementos claramente diferenciados. Por un lado, toda la estructura óptica, con su espejo principal (y sus 18 piezas hexagonales que lo conforman, más los actuadores electromecánicos correspondientes), el secundario, el terciario (espejo de orientación fina para llevar el haz hasta los instrumentos), y las estructuras de soporte de los mismos. Otro grupo lo componen todos los elementos para la navegación y orientación, antenas de comunicación, cohetes, sistema de enfriamiento, paneles solares, y escudo térmico. Y por último el Módulo de Instrumentos Científicos Integrados (ISIM), corazón del Observatorio Espacial que integra los cuatro principales instrumentos que registrarán, analizarán y almacenarán toda la información que les llegue de los espejos del Elemento Óptico del Telescopio (OTE).

El escudo térmico solar (sunshield) está compuesto por cinco 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 °C y $+400\text{ °C}$ y su propósito es mantener el telescopio y sus instrumentos sensibles a temperaturas próximas al cero absoluto (por debajo de 50 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 19).

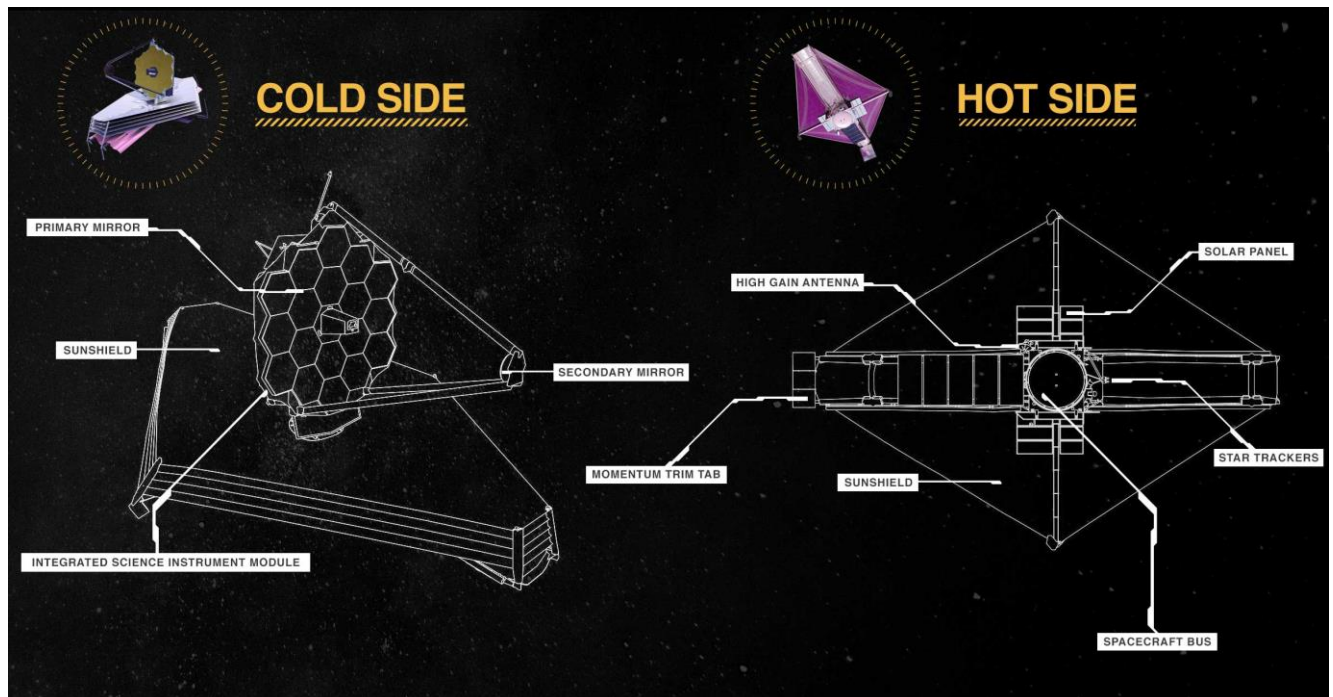


Figura 19: Sistemas del Telescopio Espacial James Webb que quedan expuestos al Sol, Tierra y Luna (zona caliente) y los que quedan al otro lado del escudo térmico ante el oscuro cielo profundo, cerca del cero absoluto de temperatura (Imagen: dominio público -wikipedia-)

Entre los equipos que lleva el telescopio espacial justo detrás de su gran espejo primario, integrados en el denominado ISIM, están la cámara de infrarrojo cercano **NIRCam** (NASA), el espectrógrafo de infrarrojo cercano **NIRSpec** (fabricación europea), y la cámara-espectrógrafo **FGS-NIRISS** (canadiense), que también opera en el infrarrojo cercano. A estos instrumentos acompaña otra cámara-espectrógrafo denominada **MIRI** (JPL-NASA-ESA), que trabaja en la zona del espectro del infrarrojo medio.

Integrar estos cuatro instrumentos principales, junto a numerosos subsistemas, en el ISIM ha sido una tarea de enormes proporciones. Para simplificar la integración los ingenieros han dividido el conjunto en tres regiones, la 'región 1' es el módulo de instrumentos criogénicos que enfrían los detectores a 39 K, un proceso de enfriamiento necesario para que el propio calor de la nave no interfiera con la radiación infrarroja detectada desde fuentes cósmicas lejanas; la refrigeración pasiva corre a cargo del subsistema de gestión térmica ISIM/OTE, apoyado por otros dispositivos que harán mayor el enfriamiento de los detectores. La 'región 2' se refiere a la electrónica del ISIM, superficies de montaje y entorno térmico controlado para la electrónica de control del instrumento. El componente de la 'región 3', situado dentro del bus de la nave espacial, es el subsistema de manejo de datos y comandos del ISIM con el software de vuelo integral, y el compresor del refrigerador criogénico del instrumento MIRI junto con su electrónica de control.

Desde el despliegue completo del telescopio espacial y las primeras tareas de puesta en marcha, verificación, configuración y calibraciones iniciales, se ha hecho un seguimiento (diario al principio y semanal después) de las temperaturas de las diferentes partes de la nave, verificando que el proceso de enfriamiento era correcto. El control de la temperatura de los diferentes componentes del telescopio espacial es un aspecto vital del diseño, de la ingeniería y de sus operaciones científicas.

Los instrumentos científicos ubicados en el ISIM y el Espejo de Dirección Fina, están instalados dentro de la protuberancia existente en el centro del espejo principal (Figura 20):

- 1) Banco MIRI: Instrumento de infrarrojo medio
- 2) Banco NIRCam: Cámara de infrarrojo cercano
- 3) Banco NIRSpec: Espectrómetro de infrarrojo cercano
- 4) Banco FGS/NIRISS: Sensor de Orientación Fina / Imagen de Infrarrojo Cercano y Espectrógrafo sin rendija
- 5) Espejo de dirección fina FSM

Los sensores de temperatura del lado caliente del Observatorio Espacial se encuentran en la estructura del parasol y en el bus de la nave. Los del lado frío se encuentran en el espejo primario y en el radiador del módulo de instrumentos ISIM (Figura 20):

- a) Temperatura media del SAI del escudo térmico (lado caliente: estructura del escudo térmico)
- b) Temperatura media del panel de equipos de la nave espacial (lado caliente: bus de la nave espacial)
- c) Temperatura media del espejo primario (lado frío: espejos)
- d) Temperatura del radiador del módulo de instrumentos (lado frío: ISIM)

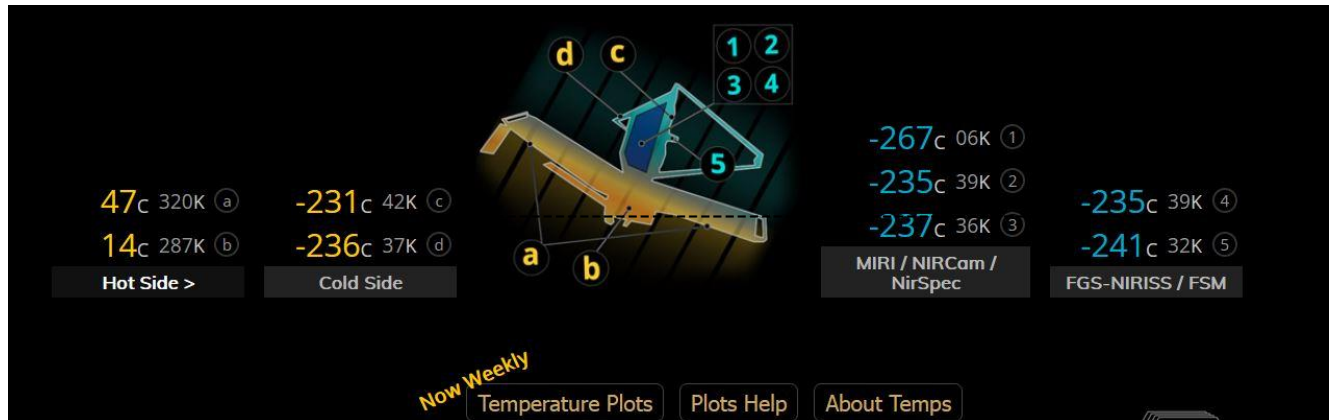


Figura 20: Temperaturas del Telescopio Espacial James Webb durante la primera semana del mes de junio de 2022 en las zonas iluminadas por el Sol, y en las no iluminadas, que permiten unas condiciones térmicas adecuadas para el buen funcionamiento de los instrumentos científicos.
(Imagen: <https://www.jwst.nasa.gov/content/webbLaunch/whereIsWebb.html>)

Una vez alineados y calibrados la óptica del telescopio y los instrumentos, se realizaron las últimas pruebas antes de comenzar las operaciones científicas, con un objetivo representativo a cumplir durante el primer año de actividad a modo de ejemplo:

- *Imágenes en el infrarrojo cercano (NIRCam)*: Se tomarán imágenes desde el rango visible del espectro electromagnético hasta el infrarrojo cercano, de 0,6 a 5,0 micras de longitud de onda (Figura 19). Este modo se utilizará frecuentemente en el JWST para el estudio de los campos profundos hasta las galaxias, pasando por las regiones de formación estelar y los planetas de nuestro propio sistema solar. Ejemplo de investigación: campo ultraprofundo del Hubble (HUDF).
- *Espectroscopia de campo amplio NIRCam sin rendija*: La espectroscopia separa la luz detectada por frecuencias, en particular la espectroscopia sin rendijas distribuye la luz en todo el campo de visión del instrumento, por lo que vemos los colores de todos los objetos visibles en el campo. Originalmente era un modo de ingeniería para utilizarlo en la alineación del telescopio, pero los científicos se dieron cuenta de que también podía utilizarse para la ciencia. Ejemplo de investigación: cúasares lejanos.
- *Coronografía en NIRCam*: Cuando una estrella tiene exoplanetas o discos de polvo en órbita a su alrededor, el brillo de una estrella suele eclipsar la luz que reflejan o emiten los objetos mucho más débiles que la rodean. La coronografía utiliza un disco negro en el instrumento para bloquear la luz de la estrella, con el fin de detectar la luz de sus planetas. Ejemplo de investigación: exoplaneta gigante gaseoso HIP 65426 b.
- *Observaciones de series temporales de imágenes de NIRCam*: La mayoría de los objetos astronómicos cambian en escalas de tiempo que son grandes comparadas con la vida de los seres humanos, pero algunas cosas cambian lo suficientemente rápido como para que podamos verlas. Las observaciones de series temporales leen rápidamente los detectores de los instrumentos para observar esos cambios. Ejemplo de investigación: variedad de púlsar (estrella de neutrones pulsante) denominada magnetar.
- *Observaciones de series temporales NIRCam - grism*: Cuando un exoplaneta atraviesa el disco de su estrella anfitriona, la luz de la estrella puede atravesar la atmósfera del planeta, lo que permite a los científicos determinar los componentes de la atmósfera con esta

técnica espectroscópica. Los científicos también pueden estudiar la luz reflejada o emitida desde un exoplaneta, cuando éste pasa por detrás de su estrella anfitriona. Ejemplo de investigación: lluvia de lava en el exoplaneta "55 Cancri e", de tamaño similar al de la Tierra.

- *Espectrógrafo de infrarrojo cercano (NIRSpec) - espectroscopia multiobjeto*: Para mejorar la espectroscopia sin rendijas del NIRCам, el NIRSpec dispone de un dispositivo de micro-obturador con 250 000 pequeños obturadores controlables, que abre un obturador donde hay un objeto interesante y cierra los obturadores donde no lo hay, permitiendo a los científicos obtener espectros limpios de hasta 100 fuentes a la vez. Ejemplo de investigación: campo profundo en la pequeña región de la Osa Mayor denominada 'Extended Groth Strip'.
- *Espectroscopia de rendija fija NIRSpec*: Además del conjunto de microobturadores, NIRSpec también cuenta con algunas rendijas fijas que proporcionan la máxima sensibilidad para la espectroscopia de objetivos individuales. Ejemplo de investigación: detectar la luz de una fuente de ondas gravitacionales conocida como kilonova (resultado de la fusión de una estrella de neutrones y un agujero negro, o de dos estrellas de neutrones, en un sistema binario).
- *Espectroscopia de unidad de campo integral NIRSpec*: Este modo produce un espectro sobre cada píxel en un área pequeña en lugar de un solo punto para un total de 900 elementos espaciales/espectrales, proporcionando los datos más completos sobre un objetivo individual. Ejemplo de investigación: una galaxia lejana potenciada por una lente gravitacional.
- *Series temporales de objetos brillantes de NIRSpec*: Dispositivo específico para obtener una observación espectroscópica de series temporales de exoplanetas en tránsito y otros objetos que cambian rápidamente con el tiempo. Ejemplo de investigación: seguimiento de un exoplaneta caliente del tamaño de una Tierra durante una órbita completa para cartografiar la temperatura del mismo.
- *Espectrógrafo de infrarrojo cercano y sin rendija (NIRISS)*: Espectroscopia de objeto único sin rendija para observar planetas alrededor de algunas de las estrellas cercanas más brillantes, el NIRISS desenfoca la estrella y distribuye la luz en muchos píxeles para evitar la saturación de los detectores. Ejemplo de investigación: pequeños exoplanetas potencialmente rocosos TRAPPIST-1b y 1c.
- *Espectroscopia de campo amplio NIRISS*: Espectroscopia sin rendijas optimizado para encontrar y estudiar galaxias lejanas. Este modo será especialmente valioso para el descubrimiento de objetos desconocidos hasta el momento. Ejemplo de investigación: búsqueda de galaxias activas con formación estelar.
- *Interferometría de enmascaramiento de apertura NIRISS*: Utiliza una máscara para bloquear la luz de 11 de los 18 segmentos del espejo primario en un proceso llamado interferometría de enmascaramiento de apertura, que proporciona imágenes de alto contraste. Ejemplo de investigación: una estrella binaria con vientos estelares en colisión.
- *Imágenes NIRISS*: Este modo funcionará como copia de seguridad de imágenes del NIRCам y trabajará paralelamente al resto de instrumentos. Ejemplo de investigación: un cúmulo de galaxias de lentes gravitacionales del 'Campo Fronterizo' del Hubble.
- *Imágenes en el infrarrojo medio (MIRI)*: Al igual que las imágenes en el infrarrojo cercano con NIRCам, se utilizarán en casi todos los tipos de objetivos del telescopio espacial, las

imágenes MIRI ampliarán las imágenes del telescopio espacial de 5 a 27 micras, las longitudes de onda del infrarrojo medio. Las imágenes en el infrarrojo medio nos mostrarán, por ejemplo, las distribuciones de polvo y gas frío en las regiones de formación de estrellas en nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, y en otras galaxias. Ejemplo de investigación: galaxia cercana Messier 33 (Galaxia del Triángulo).

- *Espectroscopia de baja resolución MIRI*: En longitudes de onda de entre 5 y 12 micras, la espectroscopia de baja resolución de MIRI puede estudiar fuentes más débiles que su espectroscopia de media resolución. La baja resolución se utiliza a menudo para estudiar la superficie de los objetos, por ejemplo, para determinar su composición. Ejemplo de investigación: Caronte, la mayor de las cinco lunas de Plutón.
- *Espectroscopia de resolución media de MIRI*. Espectroscopia de campo integral en todo el rango de longitudes de onda del infrarrojo medio, de 5 a 28,5 micras (Figura 21), donde la emisión de las moléculas y el polvo muestran firmas espectrales muy fuertes. Ejemplo de investigación: moléculas en discos de formación de planetas.
- *Imágenes coronográficas del MIRI*: MIRI tiene dos tipos de coronografía, una utiliza un punto que bloquea la luz, y la otra tres coronógrafos de máscara de fase de cuatro cuadrantes. Estas técnicas se utilizarán para detectar directamente exoplanetas y estudiar los discos de polvo alrededor de sus estrellas anfitrionas. Ejemplo de investigación: buscar planetas alrededor de las estrellas del sistema estelar más cercano a la Tierra, en concreto en la estrella Alfa Centauri A.

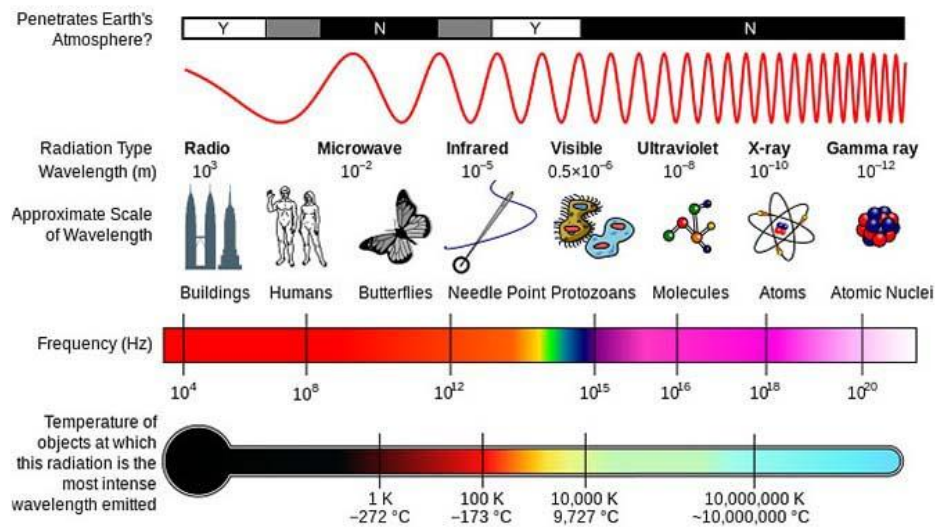


Figura 21: Espectro electromagnético con indicación de las frecuencias y longitudes de onda, ventanas atmosféricas, comparación de la longitud de onda con objetos de nuestro entorno, y la temperatura correspondiente al máximo de emisión para cada frecuencia. (Crédito de la imagen: NASA)

De los cuatro instrumentos científicos principales señalados, dos han sido desarrollados fundamentalmente en Europa, habiendo tenido una participación significativa el Centro de Astrobiología (CAB) español, dependiente del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Estos dos instrumentos son:

- ✓ **MIRI** (Mid InfraRed Instrument – Instrumento para el Infrarrojo medio) ha sido construido por un consorcio de institutos de investigación europeos, la Universidad de Arizona y la NASA. España participa como miembro del consorcio europeo desde el año 2001 con científicos e ingenieros de INTA y del CSIC. El equipo de ingeniería de INTA desarrolló el Simulador de Telescopio para MIRI (MIRI Telescope Simulator -MTS-), un equipo de calibración de tierra diseñado para simular la señal del telescopio espacial en condiciones de alto vacío y bajas temperaturas (-100 °C). El MTS se utilizó en todas las pruebas de calibración desarrolladas en el Laboratorio Rutherford Appleton (RAL, UK) con anterioridad a la entrega definitiva del instrumento a la NASA. MIRI será capaz de explorar los confines del universo, detectando y caracterizando las primeras galaxias y cuásares. Investigará los estadios iniciales de la formación de estrellas y discos planetarios a su alrededor. Además, será capaz de detectar y caracterizar la composición química de las atmósferas de exoplanetas.
- ✓ **NIRSpec** (Near InfraRed Spectrograph – Espectrógrafo infrarrojo cercano). Ha sido desarrollado por la ESA, con Astrium/Airbus como contratista principal y con el asesoramiento de un grupo de científicos europeos (NIRSpec Instrument Science Group). Es el primer espectrógrafo multi-objeto para un telescopio espacial, y será capaz de observar simultáneamente más de 100 objetos. También podrá realizar espectroscopía 3D, obteniendo 900 espectros a la vez de diferentes regiones de objetos extensos como galaxias y nebulosas. Tiene una sensibilidad para detectar luz infrarroja muy superior a la de cualquier otro instrumento jamás construido, lo que le permitirá observar los primeros objetos luminosos que surgieron después del Big Bang. Podrá así estudiar cómo se formaron las galaxias, y cómo han evolucionado a lo largo de la historia del Universo. Asimismo podrá obtener, con un detalle sin precedentes, las propiedades de los planetas externos al Sistema Solar, caracterizar sus atmósferas, e investigar la posible existencia de componentes esenciales para la vida.

Una de las imágenes de prueba más espectaculares obtenidas hasta ahora, y que avanzan el grado de resolución, nitidez y detalle de las que están por llegar, es la obtenida a primeros de mayo de una parte de la Gran Nube de Magallanes, galaxia cercana a la nuestra y miembro del grupo local junto con la M31 y M33 (Andrómeda y El Triángulo) entre otras. Esta imagen obtenida por medio del instrumento MIRI (a 7,7 micras) del Telescopio Espacial James Webb tomada para probar el rendimiento del mismo, se ha podido comparar con otra imagen del mismo campo tomada con la Cámara de Conjunto Infrarrojo del Telescopio Espacial Spitzer de la NASA (a 8 micras). El Spitzer, ya retirado, fue el primer Observatorio Espacial que proporcionó imágenes de alta resolución del Universo en los rangos infrarrojo cercano y medio del espectro electromagnético. Como se aprecia en las imágenes comparadas, el JWST con su espejo primario notablemente más grande y a sus instrumentos científicos mucho más avanzados y mejorados, permitirá ver el cielo en dichas frecuencias del infrarrojo cercano y medio con mayor claridad.

En la imagen de prueba del MIRI puede apreciarse el gas interestelar con un detalle sin precedentes, en el que puede notarse la emisión de "hidrocarburos aromáticos policíclicos", moléculas de carbono e hidrógeno que desempeñan un papel muy importante en el equilibrio térmico y la química del gas interestelar. Cuando el Telescopio Espacial James Webb esté totalmente operativo, con estas técnicas se obtendrán nuevos conocimientos sobre el nacimiento de las estrellas y de los sistemas protoplanetarios (Figura 22).

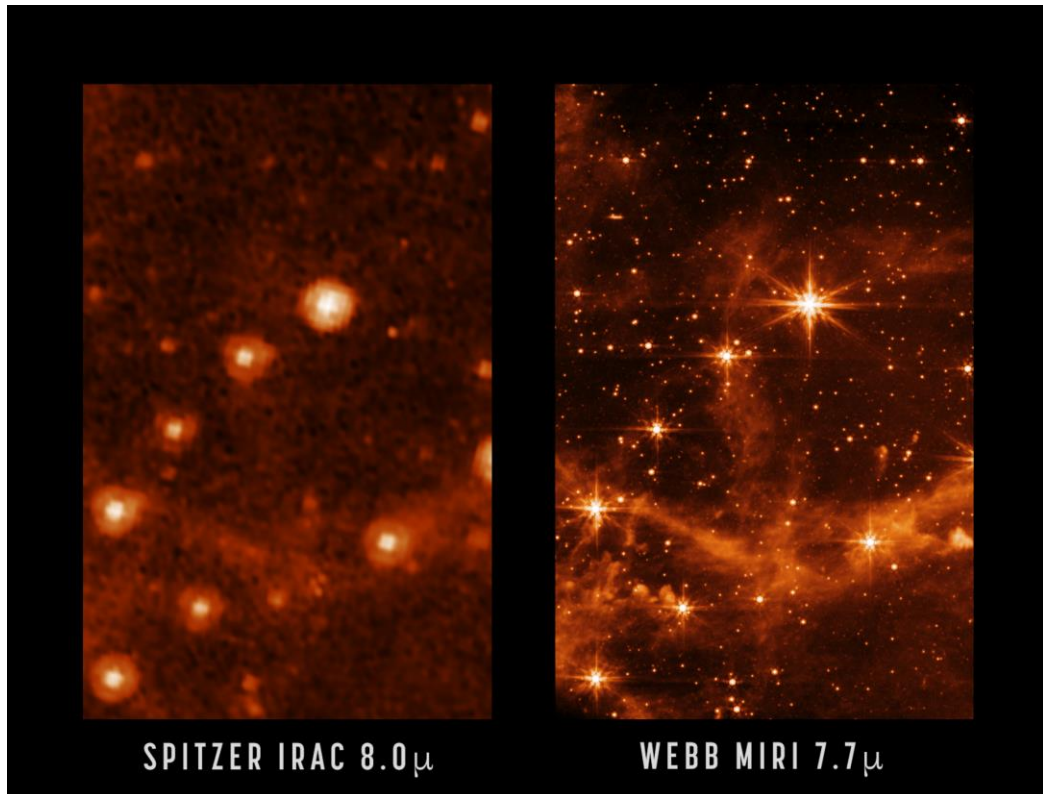


Figura 22: Imágenes infrarrojas comparadas de una zona de la Gran Nube de Magallanes, obtenidas por los telescopios espaciales Spitzer y James Webb. (Crédito de las imágenes: Spitzer (NASA/JPL-Caltech) y MIRI (NASA/ESA/CSA/STScI))

PRINCIPALES PROYECTOS DEL TELESCOPIO ESPACIAL JAMES WEBB

"El hierro de ese meteorito y el hierro de la sangre tienen un origen común en el núcleo de una estrella"
Neil de Grasse (1958)

A pocas semanas de la publicación de las primeras imágenes a todo color, y los primeros datos espectroscópicos del Telescopio Espacial James Webb, el equipo de la misión está ultimando la puesta en marcha de los instrumentos científicos. En breve el telescopio se dedicará a observaciones científicas programadas, facilitando a toda la comunidad científica el material necesario para sus investigaciones, que a buen seguro nos maravillarán a todos.

El primer año de observaciones, denominado Ciclo 1, ya está completamente planificado, y cuenta con tres tipos de programas científicos previstos, denominados 'Observador General' (GO), 'Observador de Tiempo Garantizado' (GTO), y 'Ciencia Discrecional del Director' (DD-ERS). En los programas GO y DD-ERS participarán científicos de todo el mundo cuyos programas fueron seleccionados en un doble proceso de revisión anónima por pares. Los programas GTO, en cambio, están dirigidos por científicos que hicieron contribuciones clave al desarrollo del Observatorio.

Todas las observaciones de los programas aprobados del Ciclo 1 estarán disponibles para su programación en cuanto comiencen las operaciones regulares, sin embargo, se ha dado prioridad a las observaciones del DD-ERS durante los primeros cinco meses, dado que sus programas están diseñados para ayudar a la comunidad científica a entender el rendimiento del JWST, para las observaciones científicas típicas, lo antes posible.

El Grupo de Planificación a Largo Plazo (LRPG) ha creado un Plan de Observación de más de 12 meses, incluyendo todas las observaciones aprobadas, buscando la mayor eficiencia. Antes del inicio del Ciclo 1 se ha dejado el Plan de Observación sin completar al 100% para permitir a los programadores dar cabida a los Objetivos de Oportunidad (ToOs) y a los programas Discrecionales del Director (DD) de última hora, que suelen incluir eventos no planificados como cometas interestelares, fuentes de ondas gravitacionales y supernovas.

Durante las operaciones regulares, el Grupo de Programación a Corto Plazo (STSG) creará programas semanales que se enviarán al telescopio por el equipo de operaciones de vuelo al principio de cada semana. El LRPG actualizará el Plan de Observación al terminar la semana para reflejar los programas reales ejecutados e identificar las prioridades para la semana siguiente. De esta forma el LRPG y el STSG trabajan juntos en sinergia durante todo el ciclo de observación para maximizar el rendimiento científico del Observatorio.

La lista detallada de las observaciones previstas para el primer año abarca desde los inicios del Universo hasta nuestro Sistema Solar, pasando por la formación de galaxias, estrellas y exoplanetas.

ORIGEN DEL UNIVERSO Y FORMACIÓN DE GALAXIAS

El Telescopio Espacial James Webb está especialmente construido para 'ver' en longitudes de onda del infrarrojo cercano y medio. La luz que sale de las galaxias más distantes y antiguas, tarda miles de millones de años en llegar a nosotros, así que cuando vemos estos objetos, en realidad estamos viendo cómo eran en el pasado. Cuanto más lejos está algo de la Tierra, más atrás en el tiempo lo vemos, cuando miramos la luz que emitió un objeto hace 13 500 millones de años estamos viendo lo que ocurrió en el universo primitivo, unos pocos cientos de millones de años después de su nacimiento (Figura 23).

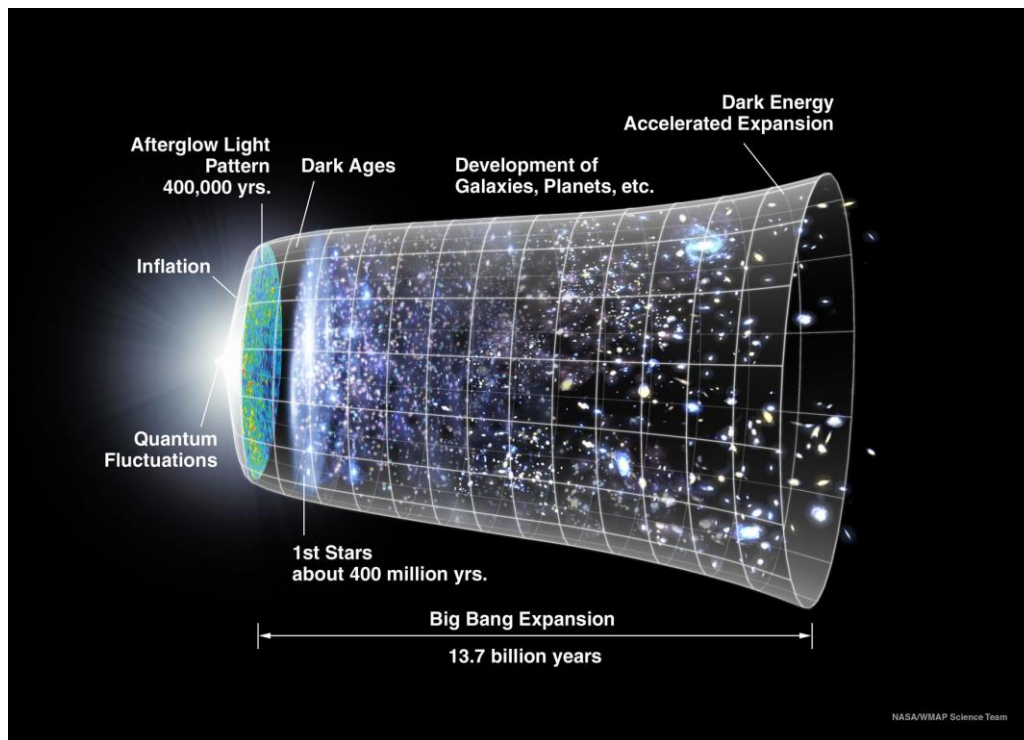


Figura 23: Etapas en el desarrollo del Universo desde su origen. (el 'billón' anglosajón equivale a mil millones en nuestro sistema)(Crédito: Proyecto WMAP -Wilkinson Microwave Anisotropy Probe- de la NASA)

Los astrofísicos han calculado que el universo tiene 13 800 millones de años, de los que los últimos 13 300 millones ya han sido estudiados por el Telescopio Espacial Hubble, revelando galaxias con estructuras mucho menos definidas y más compactas que las actuales. Con el Telescopio Espacial James Webb veremos escenarios más tempranos, hasta la formación de las primeras galaxias, momento en el cuál la gravedad ya había dado lugar a las primeras estrellas que produjeron los primeros elementos pesados, como el carbono y el oxígeno. En unos pocos millones de años, la segunda generación de estrellas comenzó a formarse a partir de este gas enriquecido, y la gravedad empezó a agruparlas en las primeras galaxias (Figura 24).



Figura 24: Campo Ultraprofundo del Hubble -HUDF- (Hubble Ultra Deep Field) es la imagen más profunda del Universo, con apenas 800 millones de años de edad (Crédito: NASA, ESA, R.Bouwens y G. Illingworth de la Universidad de California, Santa Cruz)

Cuando el Universo cumplió unos 800 millones de años se empezaron a formar más estrellas, dando lugar a varias generaciones que tras su 'muerte' fueron dispersando su material por el universo. Las galaxias crecieron en complejidad y se formaron sistemas planetarios alrededor de las estrellas... hasta que finalmente nuestra estrella, el Sol, se formó en un brazo de una gran galaxia espiral, y en su órbita se formó un sistema de planetas, lunas y asteroides. El tercer planeta más cercano, rico en agua y con la cantidad justa de calor y luz del Sol, se convertiría en nuestro hogar en el universo.

El Universo se ha estado expandiendo desde su nacimiento, pero no es una mera separación de los objetos que lo componen, es una expansión del propio Universo, algo análogo a lo que ocurre si pintamos dos marcas en un globo y le metemos aire, el globo se hincha y las

marcas de su superficie se van separando unas de otras, todas a la vez. El efecto de dicha expansión es que la luz de objetos muy lejanos que se emitió en la zona visible o ultravioleta del espectro, cuando llega a nosotros ha 'estirado' su longitud de onda y ya solamente se 've' en el rango infrarrojo. Ese fenómeno se denomina corrimiento al rojo cosmológico.

Las galaxias no siempre han tenido las formas conocidas, espirales o eclípticas, probablemente en el Universo primitivo eran 'pequeños' cúmulos sin forma definida. Uno de los interrogantes de la astronomía es el mecanismo por el que esas antiguas agrupaciones estelares evolucionaron hasta convertirse en las grandes estructuras que vemos hoy (recordad el término relativo de la palabra 'hoy'). El Telescopio Espacial James Webb podrá contribuir a desentrañar ese mecanismo todavía desconocido, con su poderosa capacidad de ver en infrarrojo.

También podrá ver el interior de las regiones de las galaxias que aparecen oscurecidas por el polvo en el rango visible del espectro electromagnético, haciéndolas traslúcidas y permitiendo con-

templar los mecanismos de la formación estelar. El JWST Estudiará igualmente las regiones de nacimiento de estrellas en las galaxias que chocan, como es el caso de las galaxias 'Antenas', revelando cómo estos encuentros galácticos desencadenan y alteran el curso de la formación estelar a medida que sus componentes gaseosos colisionan y se mezclan. Hay que recordar que un choque de galaxias se parece más a la mezcla de dos gases que al choque de dos sólidos, de tal manera que durante el choque de dos galaxias es prácticamente nula la posibilidad de contacto físico directo entre sus estrellas (Figura 25).

Además de estudiar los viveros estelares previamente ocultos, los astrofísicos pueden utilizar el telescopio espacial para explorar una época conocida como la Edad Oscura, y el tiempo inmediatamente posterior denominado de reionización. Unos 378 000 años después del Big Bang, a medida que el universo se enfriaba y expandía, los electrones y protones comenzaron a unirse para formar átomos de hidrógeno. Cuando la última luz del Big Bang se desvaneció, el universo se convirtió en un lugar oscuro, sin fuentes de luz dentro del gas de hidrógeno que se enfriaba. Con el tiempo, el gas se unió para formar estrellas y finalmente galaxias, y la mayor parte del hidrógeno se "reionizó", convirtiéndose de nuevo en protones y electrones, permitiendo que la luz volviera a viajar por el espacio (Figura 26).

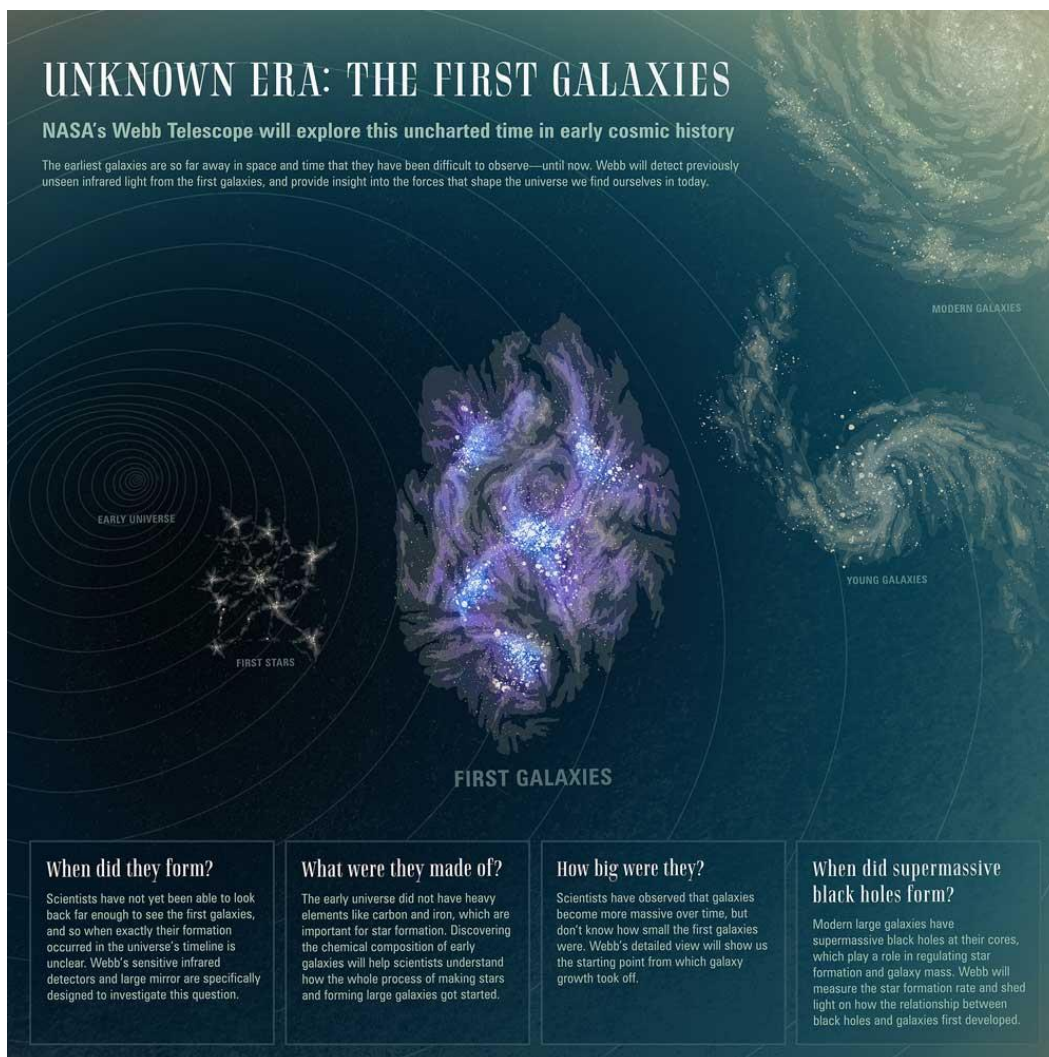


Figura 25: Las primeras galaxias (Crédito: NASA, ESA, CSA, y Dani Player -STScI-)

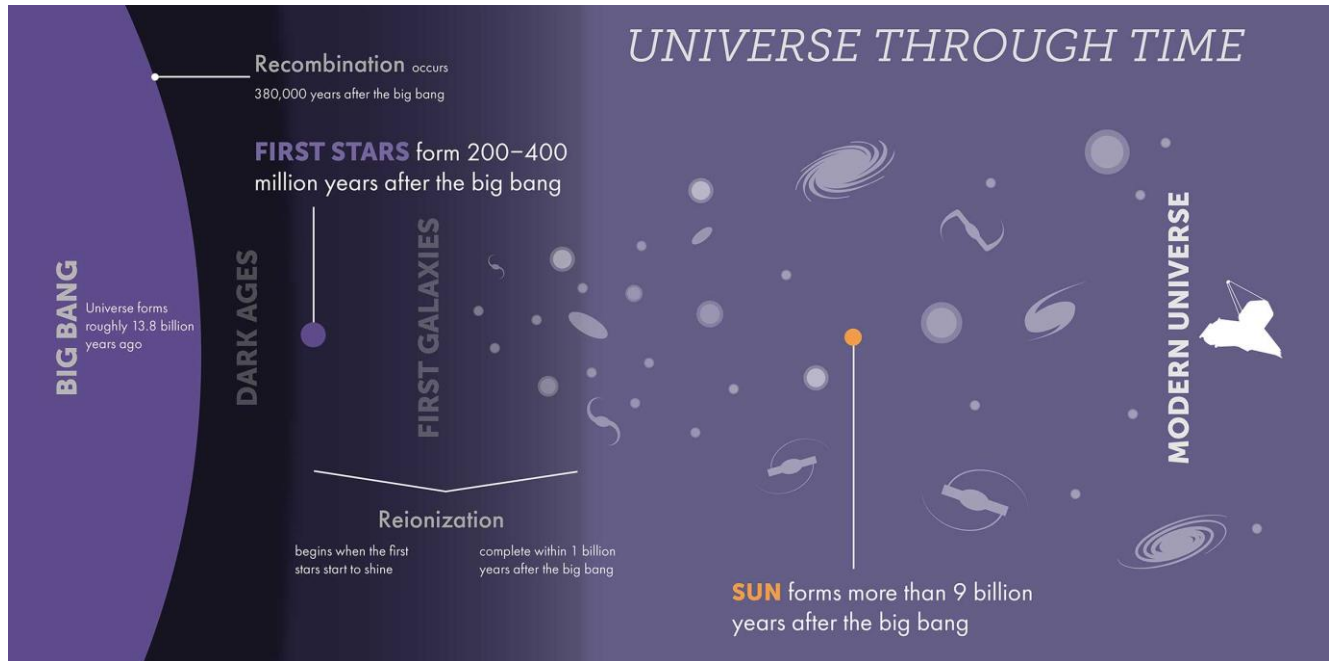


Figura 26: Evolución del Universo (el 'billón' anglosajón equivale a mil millones en nuestro sistema)(Crédito: NASA, ESA, CSA, y STScI)

Los astrofísicos no están seguros de si la energía responsable de la reionización procede de las estrellas de las galaxias en formación, del gas caliente que rodea a los agujeros negros o de alguna fuente aún más exótica, como la materia oscura en descomposición. Las capacidades infrarrojas del telescopio espacial le permitirán identificar las fuentes que dieron lugar a la reionización, y tal vez ver los cuásares que desataron la energía suficiente para volver a iluminar el universo.

Hace unos 10 000 millones de años, las galaxias eran más caóticas, más propensas a chocar entre ellas, irregulares, con más supernovas, y 10 veces más activas en formación de estrellas. Los astrónomos estiman que desde que el universo tenía 6 000 millones de años, casi todas las galaxias masivas han sufrido al menos una fusión importante. Sin embargo, la fuerza impulsora de esta actividad, y la causa de su brusco declive, siguen siendo uno de los misterios que el Telescopio Espacial James Webb ayudará a despejar. Las observaciones de seguimiento mediante espectroscopia, ayudarán a los investigadores a comprender cómo se formaron y acumularon los elementos más pesados que el hidrógeno, a medida que la formación de las galaxias avanzaba a lo largo de los años. Estos estudios también revelarán detalles sobre la fusión de galaxias y arrojarán luz sobre el proceso de formación de galaxias en sí mismo, incluyendo cómo las primeras estrellas se unieron para formar las primeras galaxias del universo. Otro apasionante asunto sobre el que se esperan respuestas por parte del Telescopio Espacial, es el papel de los agujeros negros supermasivos, que se cree que están en el corazón de la mayoría de las mayores galaxias, ¿Se colapsaron las enormes estrellas primitivas y formaron los primeros agujeros negros, reuniéndose las estrellas a su alrededor? ¿O las estrellas se juntaron primero por atracción gravitatoria y los agujeros negros centrales se formaron después?

Hoy sabemos que en el Universo existe una cantidad muy importante de un tipo de materia que no se comporta como la que conocemos, no es detectable para nosotros con nuestra tecnología actual. Se estima que hay cinco veces más materia oscura que materia ordinaria, y existe confianza en que el JWST pueda ayudar a comprender mejor esta cuestión.

ESTRELLAS Y DISCOS PROTOPLANETARIOS

Seguramente mirar las estrellas fue algo habitual en los albores de la Humanidad, cuando por la noche se reunía el grupo tras un día de caza, peligros y lucha por la supervivencia, sentados alrededor de una hoguera. El cielo nocturno inspiraba asombro, pero además su estudio también tenía sus aplicaciones prácticas para la incipiente agricultura, marcando con los solsticios y equinoccios los momentos más adecuados para las actividades que le eran propias, buscando las mejores cosechas y mayor cantidad de alimentos, que en definitiva impulsarían el crecimiento de la sociedad humana (Figura 27).

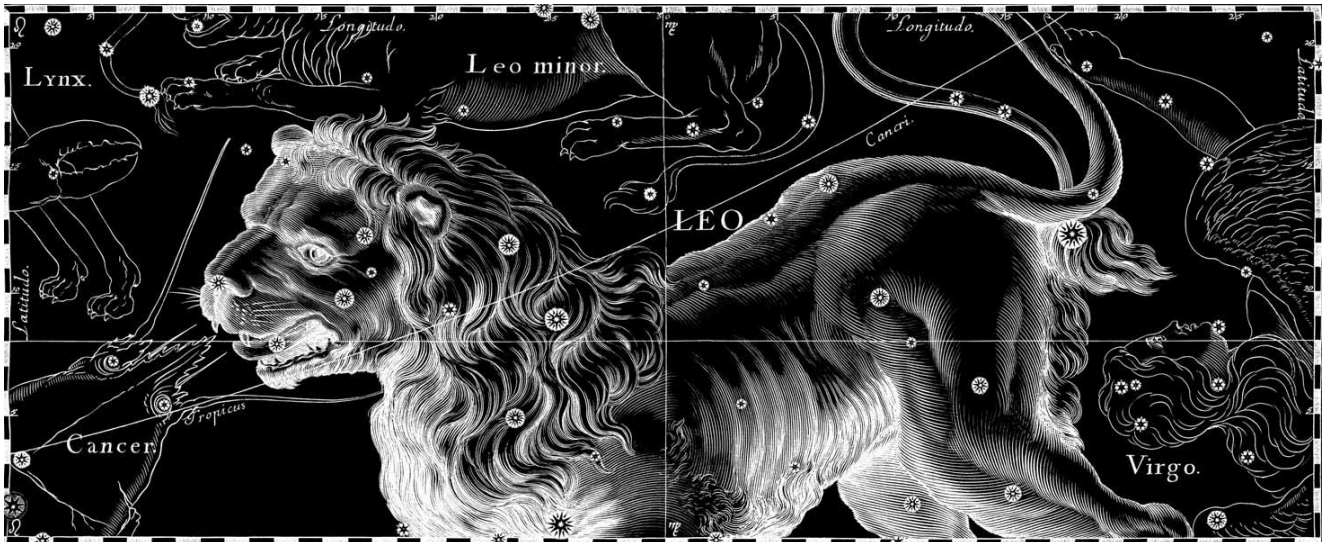


Figura 27: Página del atlas estelar *Firmamentum Sobiescianum sive Uranographia* de 1690, de Johannes y Elisabetha Hevelius. A Johannes se le atribuye la identificación de siete nuevas constelaciones aún reconocidas hoy en día. Prefirió observar las estrellas sin telescopio, haciéndolo con notable precisión. Fuente: Pexels (Pexels.com - Licencia CCO) (Crédito: Cortesía del Observatorio Naval de los Estados Unidos y de la Oficina de Difusión Pública del STScI)

La observación del cielo estrellado sigue impresionando, a pesar de los más de mil años de historia de la astronomía, y algunos elementos del ciclo de vida de las estrellas siguen rodeados de misterio: las estrellas y los planetas que orbitan alrededor de ellas se forman dentro de densas nubes de polvo y gas que la luz visible no puede penetrar. Por ello, un telescopio espacial infrarrojo de alta resolución como el JWST resulta fundamental para iluminar esta área de la astronomía, en la medida en que dichas nubes de polvo y gas dejan pasar la luz infrarroja.

Los astrónomos también esperan que el Telescopio Espacial James Webb revele más información sobre las desconcertantes enanas marrones, un extraño tipo de objeto cósmico que no es fácil de clasificar como planeta o estrella, al tener características de ambos. No son lo suficientemente masivas como para generar su propia luz como las estrellas, de modo que son calientes pero tenues, lo que las convierte en otro tema ideal para el estudio con los instrumentos infrarrojos.

Hoy sabemos que las estrellas son el crisol cósmico en el que se crean todos los elementos químicos de la tabla periódica, salvo el hidrógeno y el helio (junto con trazas de Litio y Berilio) que se formaron tras el Big Bang. Las estrellas 'siembran' el Universo con elementos pesados a través de su "ciclo de vida", un continuo proceso de formación, creación de nuevos elementos, y dispersión de material cuando no son ya capaces de sostener el equilibrio que las mantiene 'vivas', entre la gravedad y la presión de radiación, por más tiempo. Sin embargo, las estrellas siguen caminos diferentes, dependiendo de lo masivas que sean.

Cuando las estrellas de gran masa no pueden continuar con sus reacciones nucleares de fusión para generar elementos más pesados que el hierro, sus núcleos comienzan a colapsar hasta que las capas exteriores explotan en forma de espectacular supernova, dispersando elementos en el espacio para recombinarse como futuras estrellas, planetas, asteroides o incluso, eventualmente, vida como nosotros.

Después de su fase supernova, las estrellas masivas pueden seguir dos caminos, si el remanente de la explosión tiene entre 1,4 y 3 veces la masa de nuestro sol, colapsará en un núcleo muy pequeño y muy denso de neutrones llamado estrella de neutrones, pero si el remanente es más de tres veces más masivo que el Sol, la gravedad llevará a la estrella a colapsar completamente en un agujero negro (llamado así porque la materia en su interior está tan comprimida y la atracción de la gravedad es tan intensa que su velocidad de escape es superior a los 300 000 km/s, de modo que nada, ni siquiera la luz, puede salir del objeto) (Figura 28).

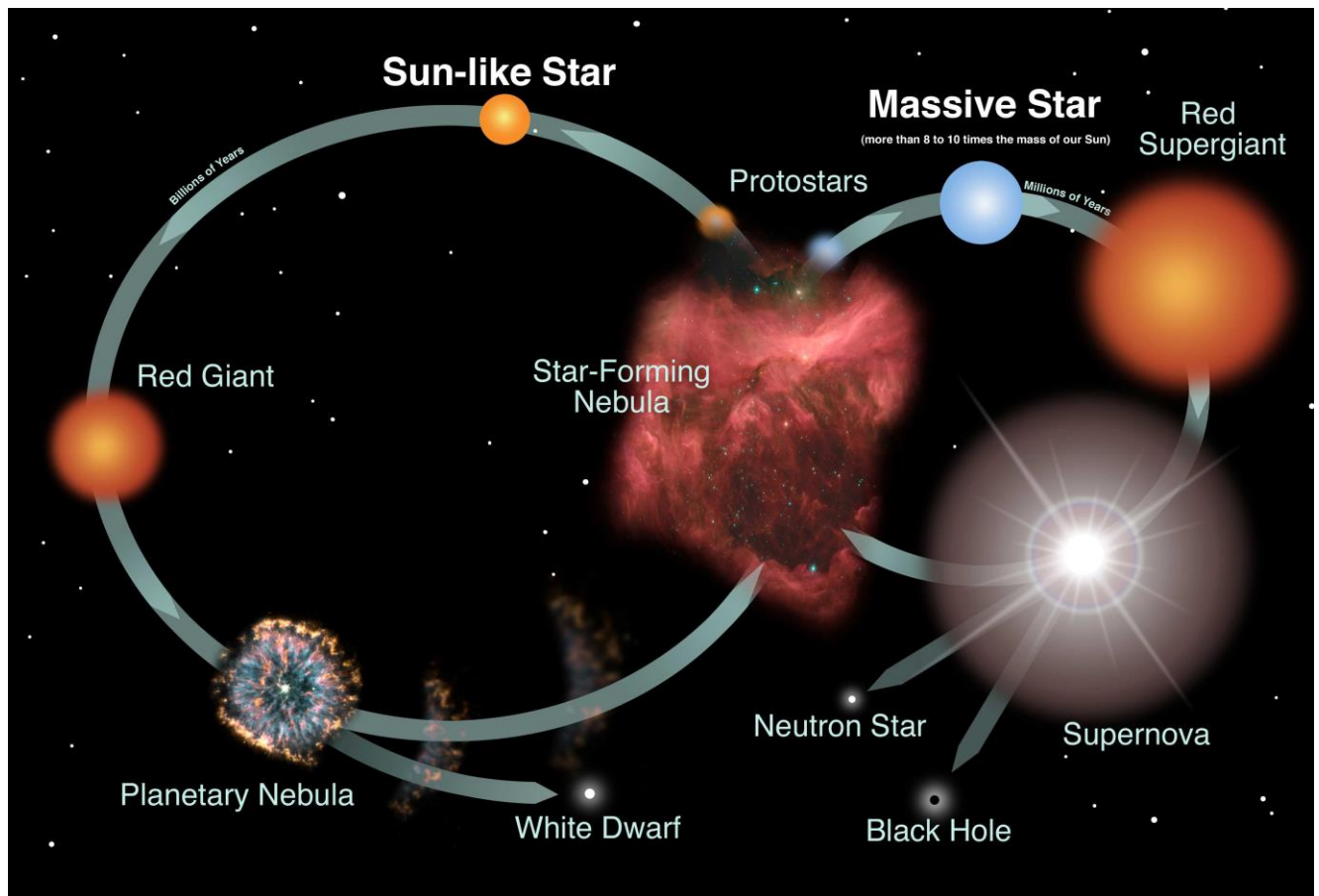


Figura 28: Diagrama que muestra los ciclos de vida de las estrellas masivas (a la derecha) y de las estrellas medianas (como El Sol, izquierda) (Credito: NASA y Night Sky Network)

El Telescopio Espacial James Webb mostrará a la comunidad científica las estrellas de primera generación, las primeras estrellas, que se estiman eran mucho más grandes que las actuales y carentes de metales (así denominan los astrofísicos a todos los elementos químicos más pesados que el H y el He). Se cree que las primeras estrellas tenían un tamaño entre 30 y 300 veces el solar, y con esa masa su vida debería ser muy corta, consumiendo el Hidrógeno rápidamente (en unos pocos millones de años) y dando lugar a violentas explosiones de supernovas. Por comparación, una estrella media como el Sol tiene una vida media de unos 10 000 millones de años.

PLANETAS Y EXOPLANETAS

Hasta la década de los años 90 del pasado siglo, los únicos planetas conocidos orbitaban alrededor del Sol. Desde entonces nuestros horizontes se han ampliado, quedando en evidencia el hecho de que los planetas extrasolares son algo común en el Universo, en otras palabras, la mayoría de estrellas y sistemas estelares tienen planetas, algunos de ellos con satélites.

Los estudios realizados hasta ahora, a los que se unirán los del Telescopio Espacial James Webb que se espera den un gran espaldarazo a la investigación científica en esta materia, apuntan a una diversidad inimaginable, planetas rocosos, gaseosos, gigantes, anillados, con superficies ardientes, o helados, o las dos cosas, con atmósferas o sin ellas, girando alrededor de estrellas enanas rojas, o medianas como nuestro Sol. La imaginación no tiene límites, y la naturaleza menos. Los instrumentos espectroscópicos del JWST estudiarán las atmósferas de los exoplanetas, determinando qué elementos hay y qué indican sobre cada uno, incluido su potencial para albergar vida. Su capacidad para observar hasta el infrarrojo medio, permitirá a los astrónomos estudiar la formación de planetas en sus etapas más tempranas, prácticamente desde que los discos protoplanetarios de polvo y gas empiezan a contraerse, generando 'grumos' que terminarán formando dichos planetas, satélites, asteroides y cometas.

También el JWST apuntará hacia nuestro propio Sistema Solar y sus 'inquilinos', aportando valiosa información sobre los planetas y satélites que aún no han podido ser estudiados con sondas y naves automáticas.

Aunque cada cuerpo de nuestro Sistema Solar es único y muy diferente de la Tierra, todos constituyen un patrón que el telescopio espacial nos ayudará a comprender si es algo común, o tan sólo una configuración más de las innumerables que pueden darse en el Cosmos: una única estrella amarilla, de mediana edad, orbitada por planetas rocosos (Mercurio, Venus, Tierra, Marte) en sus proximidades, con planetas gigantes más alejados (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno), además de amplios campos de cuerpos más pequeños: el Cinturón de Asteroides entre Marte y Júpiter, y el Cinturón de Kuiper helado, material sobrante del proceso de formación de los planetas. La Tierra, el único mundo conocido con vida, tiene vastos océanos de agua líquida y una atmósfera considerable.

Las misiones de las naves espaciales nos han mostrado que las lunas de nuestro sistema solar también son mundos muy variados. Europa, satélite de Júpiter, tiene una corteza helada con fisuras que liberan vapor de agua, mientras que Io, otra de sus lunas, es el mundo más activo desde el punto de vista volcánico del Sistema Solar. La luna de Saturno, Titán, tiene grandes lagos de metano en su superficie, una atmósfera densa, nubes y algo similar al ciclo del agua en la Tierra, pero basado en el Metano.

La formación de las enanas marrones (objetos a medio camino entre estrella y planeta) es un misterio específico que los científicos esperan investigar con el nuevo telescopio espacial, ¿nacem como una estrella, por la contracción del gas, o como un planeta, por acreción de material en un disco protoplanetario? Las respuestas arrojarán luz no sólo sobre la ambigua naturaleza de las enanas marrones, sino también sobre la formación de estrellas y planetas.

Los instrumentos científicos del telescopio espacial utilizarán dos técnicas distintas en su búsqueda de exoplanetas, el método del tránsito, que busca un patrón regular de oscurecimiento de la luz que llega de la estrella, conforme el planeta pasa por delante del disco estelar (tránsito), cuyo análisis espectroscópico puede decir a los astrofísicos mucho sobre las características del exoplaneta, como su tamaño, distancia a la estrella, composición de su atmósfera si la tiene, etc... el segundo método es la observación directa, para lo que es necesario el uso de un coronógrafo pa-

ra ocultar el exceso de luz proveniente de la estrella, que imposibilitaría ver la débil luz del exoplaneta directamente.

Entre las investigaciones previstas para el primer año de trabajos de investigación (Ciclo 1), se encuentran los estudios de dos exoplanetas calientes, clasificados como "supertierras" por su tamaño y composición rocosa: el "55 Cancri e", cubierto de lava, y el "LHS 3844 b", sin atmósfera. Los investigadores entrenarán los espectrógrafos de alta precisión del JWST en estos exoplanetas con el fin de comprender la diversidad geológica de los planetas en toda la galaxia y la evolución de los planetas rocosos como la Tierra.

"55 Cancri e" orbita a su estrella, que es similar al Sol, a muy poca distancia, nada menos que a una vigésima parte de la que separa a Mercurio del Sol, haciéndolo en menos de 18 horas. Las observaciones de "55 Cancri e" realizadas por el telescopio espacial Spitzer de la NASA sugieren que la región más caliente está desplazada de la parte que se enfrenta a la estrella más directamente, y la cantidad total de calor detectada desde el lado diurno varía. Así y todo, en su lado iluminado, alcanzaría temperaturas superficiales muy superiores al punto de fusión de los minerales típicos que forman las rocas (por encima de 2000 K), por lo que podría estar cubierto de océanos de lava.

El equipo de científicos del JPL (Jet Propulsion Laboratory) de la NASA están trabajando bajo dos principales hipótesis, que se tendrán que verificar o descartar con las observaciones del JWST. Una de ellas es que el planeta tenga una atmósfera dinámica de oxígeno o nitrógeno que desplaza el calor de la zona más cálida a la más fría. Este supuesto se corroborará con los instrumentos NIRCам y MIRI que capturarán el espectro de emisión térmica del lado cálido del planeta, y determinarán si "55 Cancri e" tiene atmósfera y, en caso afirmativo, de qué elementos está compuesta. La otra es que el planeta no tenga una rotación capturada, aunque sí resonante (como en el caso de Mercurio, que rota con una resonancia 3:2 respecto a su periodo de traslación), dando como resultado ciclos día-noche que explicarían el desplazamiento de la zona más caliente del planeta respecto al hemisferio soleado. Si se utiliza el instrumento NIRCам del telescopio espacial para medir el calor emitido por la cara iluminada del planeta durante cuatro órbitas diferentes, en el caso de rotar con resonancia 3:2 se podrá observar cada hemisferio dos veces, para poder detectar cualquier diferencia entre ellos. En este supuesto la superficie se calentaría, fundiría, e incluso se vaporizaría durante el día, formando una atmósfera muy fina que JWST podría detectar. Por la tarde, el vapor se enfriaría y se condensaría para formar gotas de lava que volverían a llover a la superficie, volviéndose sólidas de nuevo al caer la noche. Con el estudio de "55 Cancri e" podremos conocer la exótica geología de un mundo cubierto de lava.

"LHS 3844 b" también orbita a su estrella a una distancia muy corta, completando una revolución en 11 horas. No obstante, debido a que su estrella es una enana roja (pequeña y fría), el planeta no está lo suficientemente caliente como para que la superficie esté fundida. Además, las observaciones de Spitzer indican que es muy poco probable que el planeta tenga una atmósfera apreciable (Figura 29).

El Telescopio Espacial James Webb no podrá obtener imágenes de la superficie de "LHS 3844 b" directamente, pero la ausencia de una atmósfera permitirá estudiar con espectroscopia la superficie de un exoplaneta por primera vez. A través del instrumento MIRI se podrá analizar el espectro de emisión del lado diurno del exoplaneta, que se comparará posteriormente con los espectros de rocas conocidas, como el basalto y el granito, para determinar su composición. Si existe actividad volcánica, el espectro también podría revelar la presencia de gases de origen volcánico típicos.

Estas observaciones nos ofrecerán nuevas y fantásticas perspectivas sobre los planetas de tipo terrestre, ayudándonos a comprender cómo pudo ser la Tierra primitiva.

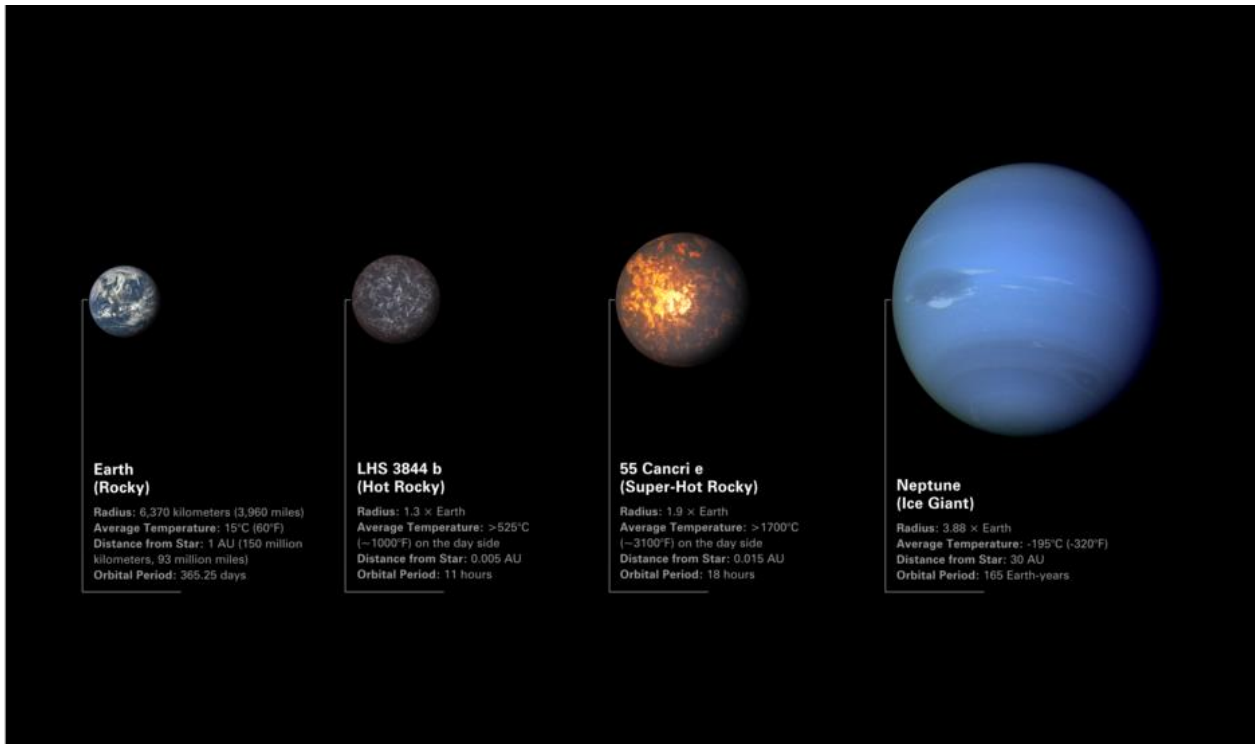


Figura 29: Tamaños comparados de los exoplanetas de tipo terrestre "LHS 3844 b", "55 Cancri e", la Tierra y Neptuno. Los exoplanetas de la ilustración son más similares a la Tierra que a Neptuno en términos de composición (Crédito: NASA, ESA, CSA, Dani Player -STScI)

CONCLUSIONES

"Somos el medio para que el Cosmos se conozca a sí mismo"
Carl Sagan (1934-1996)

Cuando el lector esté terminando de leer este artículo, seguramente, y si todo ha salido bien, estarán disponibles las primeras imágenes y los primeros datos oficiales tomados por el Telescopio Espacial James Webb. Habrá dado comienzo su misión científica.

A medida que se acerca el final de la puesta a punto del Observatorio Espacial, y el comienzo de su periodo operativo, nos encontramos en el umbral de un periodo increíblemente emocionante de descubrimientos sobre nuestro Universo. La revelación de las primeras imágenes a todo color obtenidas por el JWST ofrecerá un momento único para que todos nos detengamos y nos maravillamos con unos escenarios que la Humanidad nunca antes había contemplado.

Después de capturar sus primeras imágenes, darán comienzo las observaciones científicas. 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.

La posición definitiva del Observatorio Espacial, orbitando el punto de Lagrange L2 del sistema Sol-Tierra, 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. El único gran problema es que ese lugar no es accesible para enviar astronautas para el reabastecimiento de combustible, reparaciones, mantenimiento, implementación de 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 diseñaron 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 (Figura 30).

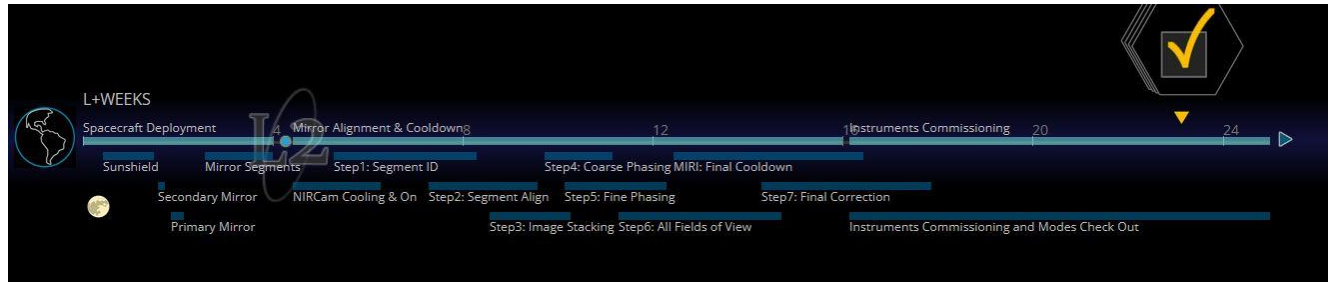


Figura 30: Telescopio Espacial James Webb a punto de terminar su periodo de puesta en órbita, despliegue de componentes, pruebas, calibraciones, chequeos y comprobaciones operativas previas a su puesta en servicio (<https://www.jwst.nasa.gov/content/webbLaunch/whereIsWebb.html>)

Poco antes de completar su puesta en operación, ya hemos podido experimentar una incidencia grave que ha podido comprometer la operatividad del Telescopio Espacial. Aunque el JWST ha sido golpeado anteriormente por micrometeoritos hasta en cuatro ocasiones, entre los días 23 y 25 de mayo ha sufrido un fuerte impacto en el panel C3 del espejo primario. El equipo científico ha comprobado que el daño infligido por el micrometeorito, del tamaño de un grano de arena fina, está produciendo un efecto perceptible, aunque no se espera que limite el rendimiento general de la misión.

El impacto de micrometeoritos era algo esperable, y el telescopio espacial ha sido diseñado para soportar sus efectos, sin embargo siempre puede suceder algo inesperado, como ha sido el impacto particularmente fuerte del 23-25 de mayo. El entorno de trabajo del JWST no es muy amigable precisamente, ha de soportar una fuerte incidencia de luz ultravioleta, rayos cósmicos y ocasionales impactos de micrometeoritos, lo que va degradando los elementos del telescopio y reduciendo su rendimiento con el tiempo. Los ingenieros de la misión han tenido en cuenta todas estas circunstancias para la construcción del Observatorio, tratando de garantizar su máximo rendimiento óptico, térmico, eléctrico y mecánico incluso después de muchos años en órbita, permitiendo la realización de sus ambiciosas misiones científicas con la mayor calidad posible, de acuerdo con lo previsto.

En el caso de impactos sobre los segmentos del espejo primario, los ingenieros pueden anular una parte de la distorsión mediante el ajuste de la posición del panel afectado, lo que minimiza el efecto de cualquier impacto, aunque no lo elimina del todo. Los ingenieros de la misión ya han realizado un primer ajuste de este tipo para el segmento C3, que se completará con ajustes adicionales de los espejos afectados (Figura 31).

Para proteger los elementos más sensibles del telescopio, los equipos de vuelo pueden utilizar maniobras de protección que orienten temporalmente la nave, de tal manera que la óptica quede a salvo de las lluvias de meteoros conocidas con antelación. El impacto del 23-25 de mayo no fue

el resultado de una lluvia de meteoritos, considerándose un evento casual inevitable. Como resultado de este gran impacto, se ha constituido un equipo especializado de ingenieros para buscar formas de mitigar los efectos de otros impactos de micrometeoritos de esta magnitud, teniendo en cuenta que, con todo, el rendimiento inicial del telescopio está siendo mejor de lo esperado.

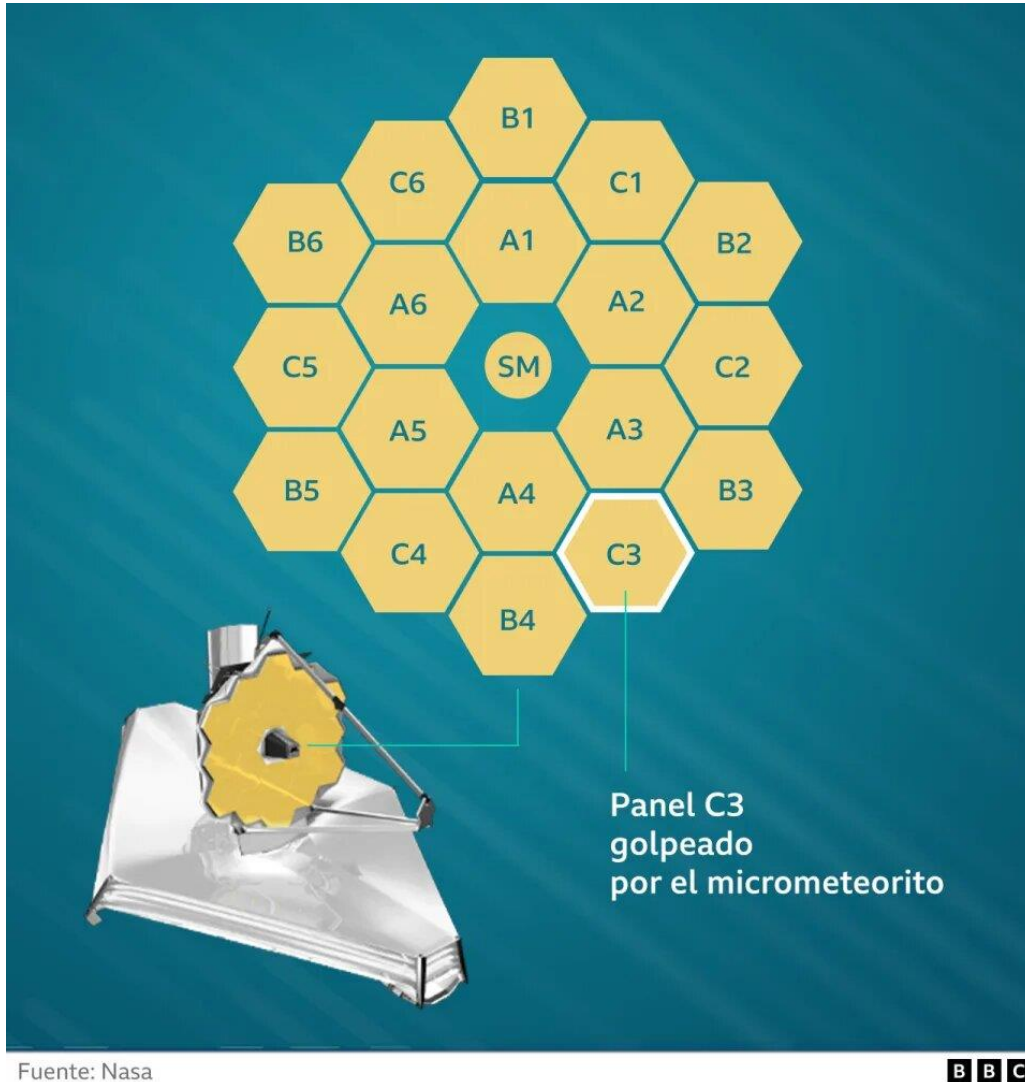


Figura 31: Panel C3 del espejo principal del Telescopio Espacial James Webb que sufrió un fuerte impacto por un micrometeorito, entre los pasados días 23 a 25 de mayo (NASA)

REFERENCIAS Y CONSULTAS

- <https://www.investigacionyciencia.es/noticias/cmo-ser-el-primer-ao-de-observaciones-del-telescopio-espacial-james-webb-19750>
- <https://webb.nasa.gov/>
- <https://www.jpl.nasa.gov/edu/news/2021/9/30/learn-about-the-universe-with-the-james-webb-space-telescope/#jwst-what>
- <https://stsci-opo.org/STScI-01EVSQPV6QXRWDQDMH2XHGDJP.pdf>
- <https://www.stsci.edu/jwst>
- https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Webb
- <https://cab.inta-csic.es/proyectos/telescopio-espacial-james-webb-jwst/>
- <https://spaceplace.nasa.gov/james-webb-space-telescope/en/>
- <https://webbtelescope.org/>
- <https://www.mdscn.nasa.gov/>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/>
- <http://www.astronoo.com/es/articulos/puntos-de-lagrange.html>
- <https://www.sutelco.com/blog/las-5-%C3%B3rbitas-de-los-sat%C3%A9lites>
- <https://blogs.nasa.gov/webb/>
- <https://www.jwst.nasa.gov/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=v5DQytBadgM>
- *La observación de la Tierra desde el espacio (una ventana para conocer el mundo en el que vivimos) - Oscar Augusto Rodríguez Baquero - RBA Contenidos Editoriales y Audiovisuales, S.A.U. 2017*
- *Grandes Telescopios Ópticos (Del catalejo al Telescopio Espacial James Webb)*
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/110001.pdf
- *Planetas extrasolares*
https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/043001.pdf

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