

# WEBB: EL FUTURO DE LA ASTRONOMÍA

Tras décadas de diseño, integración y numerosas campañas de pruebas, el Telescopio Espacial James Webb (JWST, de aquí en adelante Webb), una colaboración entre NASA, ESA y la Agencia Espacial Canadiense, fue lanzado desde el Centro Espacial Europeo, en la Guayana Francesa, el 25 de diciembre del 2021. Desde entonces, Webb se ha desplegado con éxito, ha llegado a su órbita de destino, alineado el espejo primario segmentado, y continúa el proceso de puesta a punto y verificación de los instrumentos.



**Macarena García Marín**  
Agencia Espacial Europea  
[Macarena.Garcia.Marin@esa.int](mailto:Macarena.Garcia.Marin@esa.int)

**Santiago Arribas Mocoroa**  
Centro de Astrobiología (CSIC/INTA)  
[arribas@cab.inta-csic.es](mailto:arribas@cab.inta-csic.es)

**Luis Colina Robledo**  
Centro de Astrobiología (CSIC/INTA)  
[colina@cab.inta-csic.es](mailto:colina@cab.inta-csic.es)

Las primeras imágenes enviadas a tierra, de una nitidez extraordinaria, confirman la promesa de Webb de proporcionar una visión única del universo en el infrarrojo. Los programas científicos del primer año de observaciones fueron seleccionados en 2021 y cubren una gran variedad de áreas: desde observaciones de galaxias primigenias hasta objetos del Sistema Solar, pasando por cúmulos de galaxias, galaxias con núcleos activos, exoplanetas, estrellas pulsantes de neutrones, kilonovas, y discos protoplanetarios, entre otros. El futuro de la astronomía infrarroja está aquí, y promete grandes avances en nuestro conocimiento del cosmos.

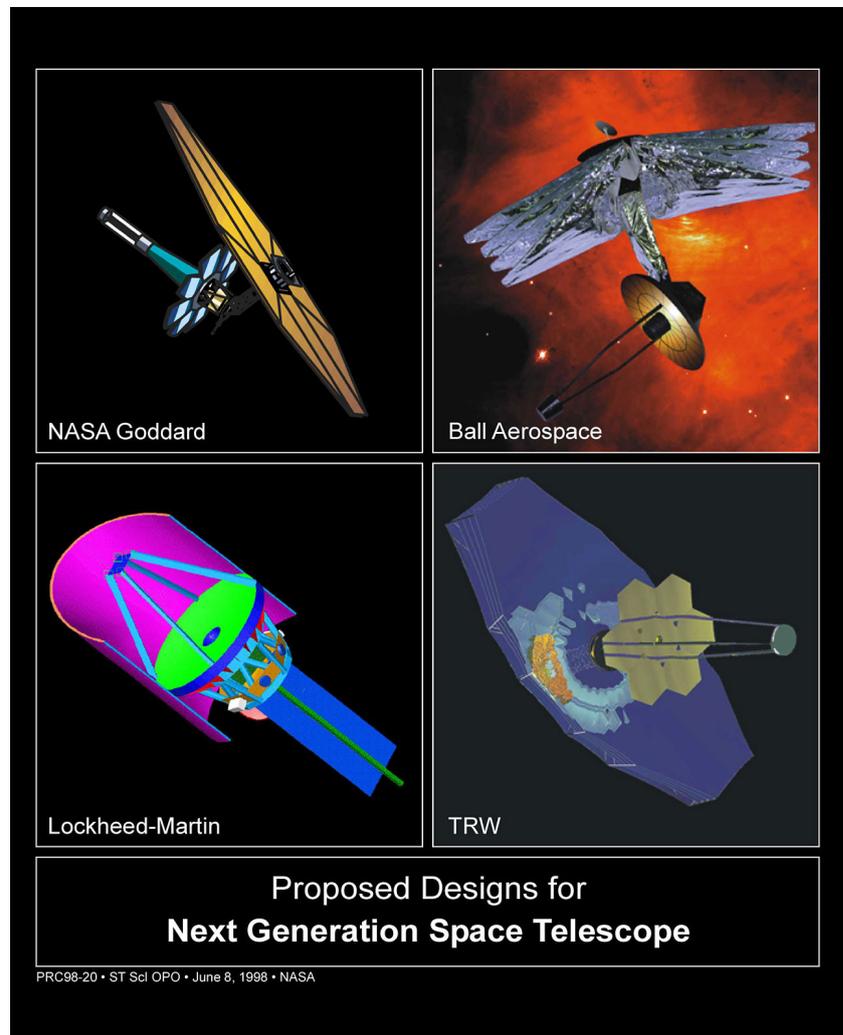
## CONTEXTO HISTÓRICO

En 1989, aproximadamente un año antes del lanzamiento del Telescopio Espacial Hubble, se iniciaron las discusiones sobre cuál debería ser su sucesor. En el primer taller organizado al respecto, “*The Next Generation Space Telescope: A 10 m Class UV-Visible-IR Successor to Hubble*”, se propuso la idea de construir un telescopio de gran tamaño, de 10 a 16 metros, enfriado pasivamente hasta 100 K para reducir el impacto de su emisión térmica, y que ofreciera imagen y espectroscopia limitada por difracción desde 0.3  $\mu\text{m}$  hasta longitudes de onda de al menos 10  $\mu\text{m}$ . Como veremos más adelante, el diseño final no se ajusta exactamente a estas especificaciones, pero es fiel a las ideas básicas enunciadas hace más de 30 años.

En 1996 NASA solicita un estudio de viabilidad del proyecto al Goddard Space Flight Center (GSFC) y al Space Telescope and Science Institute (STScI). El proyecto comienza a tomar forma, y varias empresas y entidades son elegidas para proponer el diseño y evaluar los costes del proyecto (Figura 1). Finalmente, en 1999 NASA selecciona Ball Aerospace y TRW (posteriormente Northrop Grumman), que trabajan conjuntamente en el diseño final del observatorio. Ese mismo año ESA y la Agencia Espacial Canadiense son invitadas a participar en estudios de viabilidad de los instrumentos.

En 2002 el telescopio recibe su nombre definitivo, James Webb Space Telescope, se ultiman los acuerdos entre las diferentes agencias y entidades internacionales e industria, y se finaliza la distribución de responsabilidades. En 2005, el vehículo de lanzamiento Ariane 5 es aprobado.

Figura 1. Diseños originales de Webb (entonces conocido como el "Next Generation Space Telescope") presentados en el concurso convocado por NASA en 1998. Crédito: NASA/ESA.



La contribución europea a Webb incluye el segmento de lanzamiento desde el Centro Espacial Europeo con un cohete Ariane 5, dos instrumentos, NIRSpec (Near Infrared Spectrograph) y MIRI (Mid Infrared Instrument), y personal de apoyo en STScI. La contribución española a Webb es significativa y abarca desde etapas muy tempranas, con contribuciones en los estudios para definir la participación europea en el proyecto, hasta la actual fase de verificación en órbita de los instrumentos NIRSpec y MIRI. Incluye el diseño y construcción del Simulador del Telescopio para MIRI (MTS, MIRI Telescope Simulator), liderado por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y pieza clave en el proceso de calibración de MIRI en tierra. Asimismo,

varias empresas nacionales del sector aeroespacial han contribuido al desarrollo de varios componentes para estos instrumentos. Además, España es miembro del Consorcio Europeo de MIRI, e investigadores españoles son miembros de los equipos científicos de los instrumentos MIRI y NIRSpec, y son responsables de varios programas científicos que se llevarán a cabo durante el primer año de observaciones.

La construcción del telescopio comienza en 2002, e incluye numerosas fases de construcción, integración y campañas de test de todos los elementos de Webb. El diseño final del telescopio es abierto, con un espejo primario de 6.5 metros compuesto por 18 segmentos



Figura 2. El telescopio Webb en Northrop Grumman, Redondo Beach, California. En esta imagen el parasol de 5 capas está completamente desplegado. Los espejos primario (18 segmentos hexagonales, 6.5 m) y secundario (espejo circular, 0.74 m) se muestran plegados y en la configuración de lanzamiento. Crédito: Northrop Grumman.

de berilio recubiertos de una capa extremadamente fina de oro (Figura 2). Un parasol de 21 m x 14 m, formado por 5 capas de kaptón, protege al telescopio y sus instrumentos de la radiación solar, y proporciona enfriamiento pasivo hasta temperaturas inferiores a 40 K. Esto es vital para reducir la radiación térmica producida por el observatorio, y conseguir que sea la luz zodiacal la que limite el fondo de los instrumentos que operan en el infrarrojo cercano entre  $\sim 0.6$  y  $5 \mu\text{m}$ : NIRSpec, NIRCам (Near Infrared Camera) y NIRISS (Near Infrared Imager and Slitless Spectrometer). El parasol divide Webb en dos zonas térmicas claramente delimitadas, que presentan un gradiente de

temperatura de más de 300 K. Las observaciones en el infrarrojo medio son posibles gracias a un sistema de refrigeración criogénica que permite que el instrumento MIRI ( $\sim 5$  a  $28 \mu\text{m}$ ) opere a temperaturas inferiores a 7 K. Estas temperaturas tan bajas, solo unos pocos grados por encima del cero absoluto, son necesarias para combatir la emisión térmica del telescopio. Finalmente, se requiere que Webb esté limitado por difracción a partir de  $2 \mu\text{m}$ , con una calidad óptica excelente en todo el rango de longitud de onda ( $\sim 0.6$  a  $28 \mu\text{m}$ ). El resultado final es un telescopio tan grande que tiene que plegarse para poder encapsularlo en el carenado del cohete Ariane 5.

Pasemos ahora a hablar algo más en detalle de los instrumentos a bordo de Webb. Se trata de cuatro instrumentos científicos y un instrumento de guiado, agrupados en el módulo de los instrumentos (ISIM, Integrated Science Instruments Module, Figura 3) situado detrás del espejo primario.

Operando a longitudes de onda entre 0.6 y 5  $\mu\text{m}$ , los instrumentos del infrarrojo cercano son NIRC*am*, NIRSpec y NIRISS. NIRC*am*, construido por la Universidad de Arizona, ofrece imagen, coronografía y espectroscopia sin rendija, y ha sido crucial para alinear el espejo primario durante los primeros meses después del lanzamiento. NIRSpec, proporcionado por ESA, ofrece varios modos espectroscópicos: rendija, unidad de campo integral, y una matriz

configurable de en torno a un cuarto de millón de rendijas que permite obtener espectros de 100 o más objetos simultáneamente. NIRISS, construido por la Agencia Espacial Canadiense, proporciona imagen y espectroscopia sin rendija. El instrumento del infrarrojo medio, MIRI, opera entre 5 y 28  $\mu\text{m}$ . El módulo óptico de MIRI fue proporcionado por el Consorcio Europeo de MIRI y ESA. El sistema criogénico y los detectores son contribución del NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL). MIRI ofrece imagen, coronografía, espectroscopia con y sin rendija y una unidad de campo integral con cuatro canales. Finalmente, el instrumento de guiado FGS (Fine Guidance Sensor), construido por la Agencia Espacial Canadiense, garantiza la precisión del apuntado del telescopio.

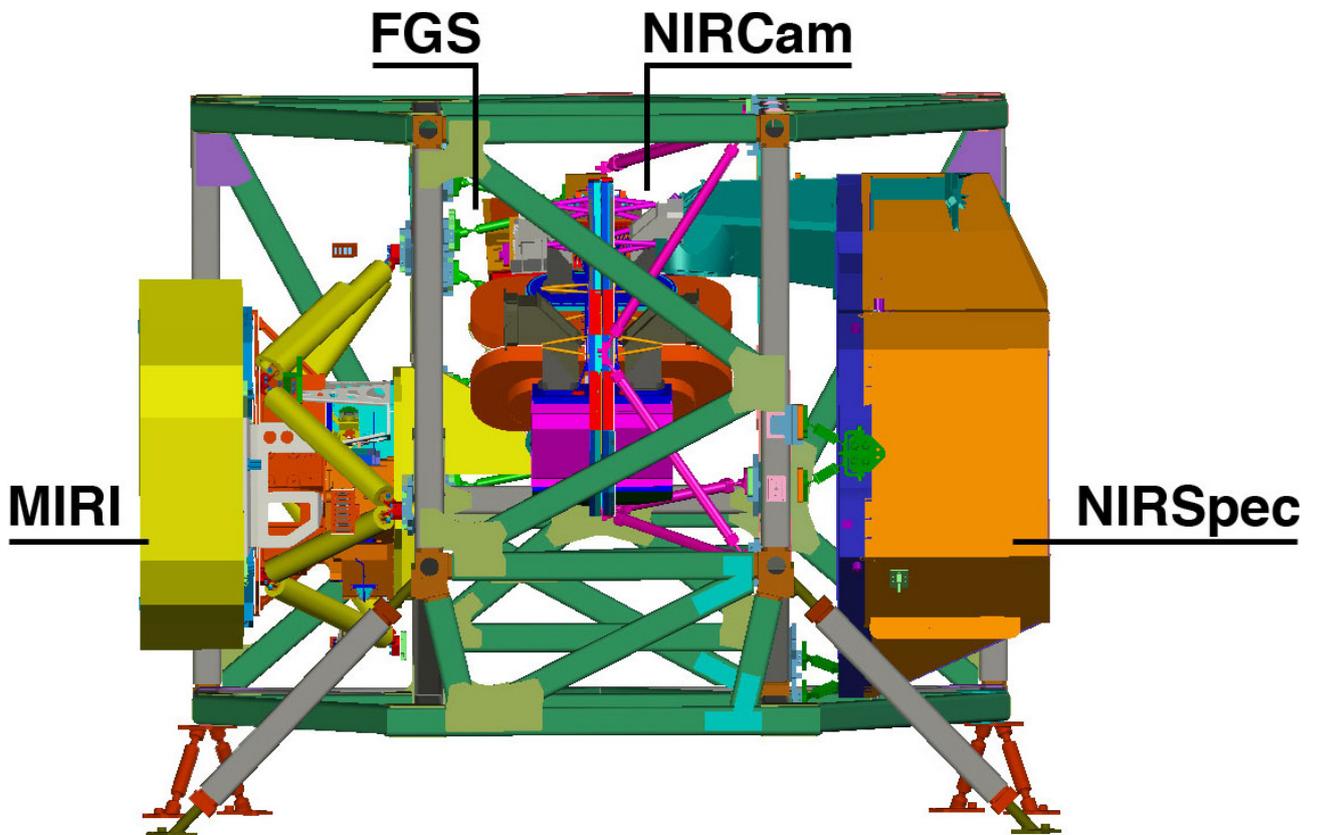


Figura 3. Esquema del módulo de los instrumentos de Webb o ISIM (Integrated Science Instruments Module). La etiqueta FGS indica la posición del instrumento de guiado FGS y del instrumento científico NIRISS. Crédito: NASA.

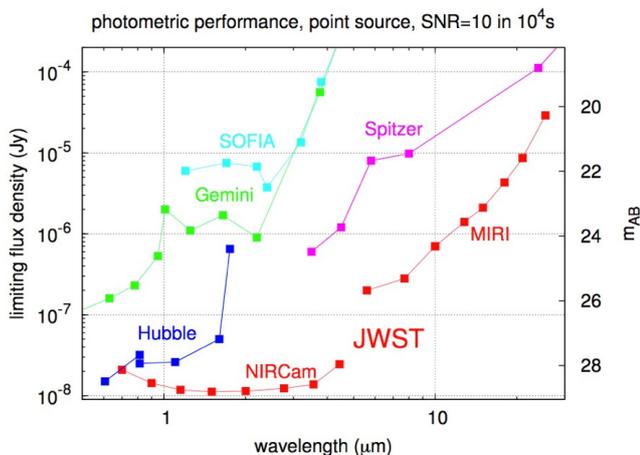


Figura 4. Sensibilidad en imagen comparada con otros observatorios. Crédito: STScI

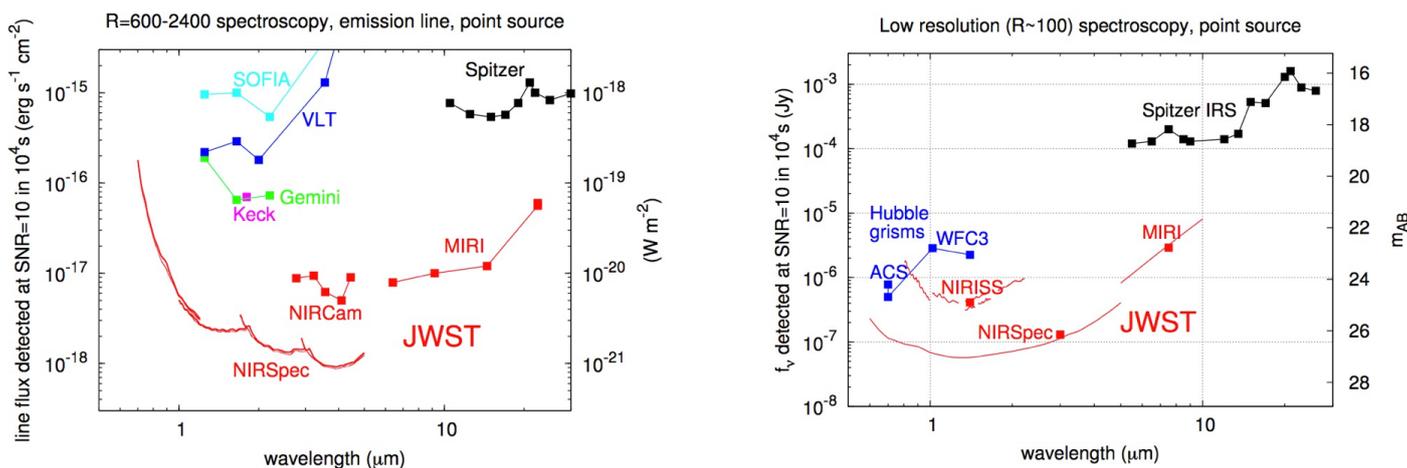


Figura 5. Sensibilidad en espectroscopia comparada con otros observatorios. Crédito: STScI.

La batería de instrumentos de Webb ofrece un total de 17 modos de observación que serán utilizados durante el primer año de operaciones científicas. Dado el tamaño del espejo primario y la exquisita calidad de los instrumentos y sus detectores, los datos de Webb ofrecerán una ganancia en sensibilidad (ver figuras 4 y 5) y resolución espacial de varios órdenes de magnitud superiores a las de telescopios previos.

**LA PROMESA CIENTÍFICA DE WEBB**

Uno de los momentos claves en la historia y desarrollo del telescopio Webb fue la definición

de sus objetivos científicos, que a su vez cimentaron los requerimientos en el telescopio y sus instrumentos. Los objetivos científicos se agrupan en cuatro grandes temas: el estudio del universo primigenio, entender cómo se forman y evolucionan las galaxias y sus agujeros negros, estudiar el ciclo vital de las estrellas e investigar la formación y evolución de sistemas planetarios, incluyendo nuestro sistema solar. A estas áreas de investigación hay que añadir el estudio de exoplanetas, en concreto de sus atmósferas, por medio de observaciones de se-

ries temporales de tránsitos planetarios. Una disciplina relativamente joven pero que ocupará un porcentaje significativo del tiempo de observación de Webb.

Todas estas áreas de investigación se benefician de las ventajas que tiene observar en el infrarrojo, que nos permitirá: detectar características espectrales del rango ultravioleta y visible en las primeras estrellas y galaxias que se formaron en el universo, penetrar las densas capas de polvo para observar los objetos ocultos tras ellas, y observar objetos fríos, como los exoplanetas.

A pesar de la existencia de estos temas generales, la flexibilidad, resolución, y sensibilidad de los instrumentos hacen posible observar cualquier tipo de programa innovador. El ciclo anual de llamadas de propuestas, y la posibilidad de pedir [tiempo del Director](#) o [Fuentes de Oportunidad](#), hacen posible observaciones científicas novedosas o imprevistas.

## LANZAMIENTO Y PRIMEROS MESES

Los primeros seis meses después del lanzamiento se dedican a la fase de verificación en órbita. En el momento de escribir este artículo han pasado casi cinco meses desde el lanzamiento de Webb. En esta sección revisaremos las actividades claves que han tenido lugar en este periodo de tiempo, y hablaremos de las que todavía faltan por ejecutar.

El lanzamiento del Webb fue una de las áreas de responsabilidad de la ESA. Entre otros motivos, esta decisión fue tomada porque el Puerto Espacial Europeo, en la Guayana Francesa, es una localización geográfica óptima. Al estar tan cerca del ecuador la velocidad de rotación de la Tierra proporciona un impulso extra al cohete durante el lanzamiento. Además, Ariane acumula más de 250 lanzamientos completados con éxito, y el cohete Ariane 5 tenía las dimensiones adecuadas para, tras una serie de ajustes y optimizaciones, poder albergar a Webb en su carenado (Figura 6).



Figura 6. Esta fotografía captura el momento en el que Webb, en su configuración plegada en la parte inferior de la fotografía, es encapsulado en el carenado del cohete Ariane 5. Crédito: ESA/CNES/Arianespace

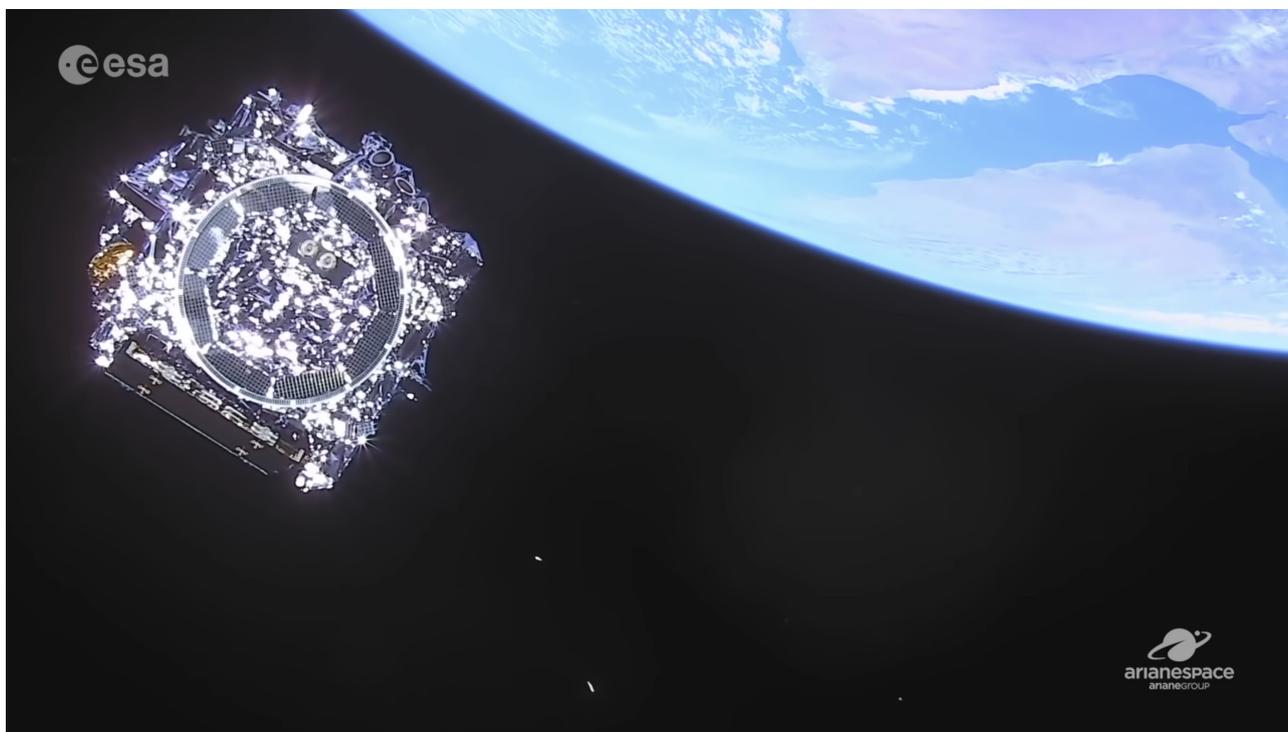
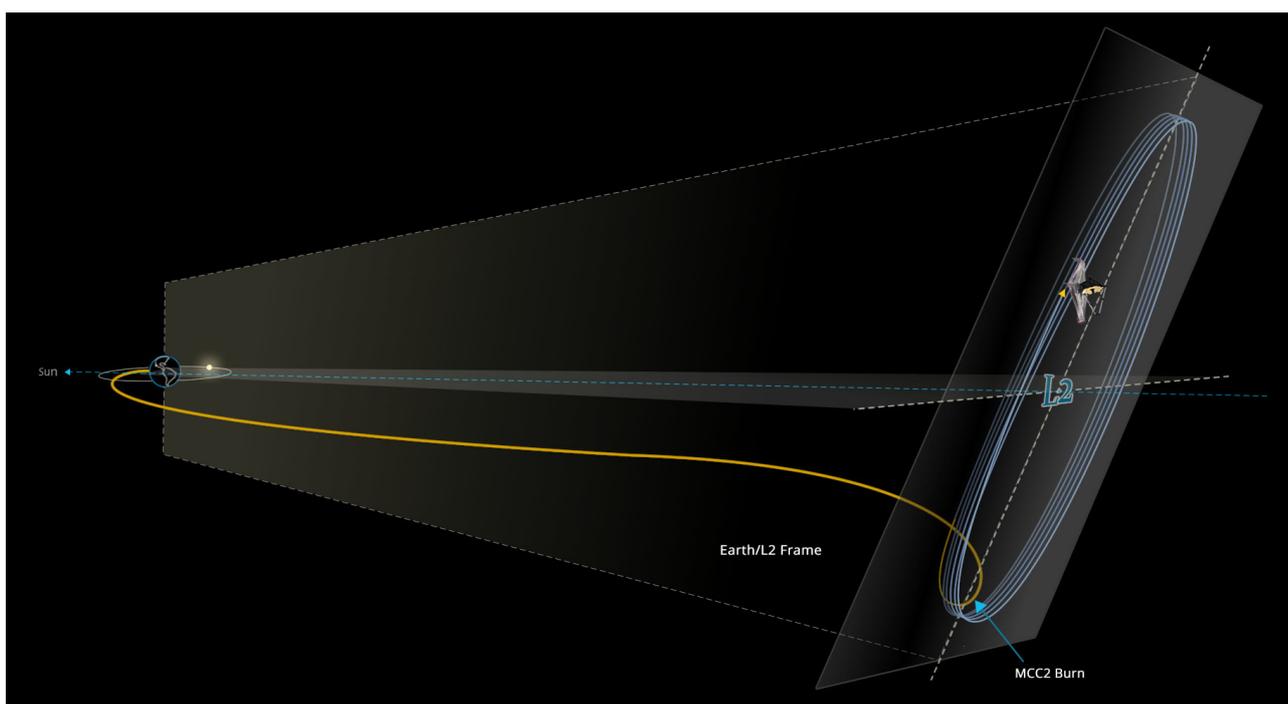


Figura 7. Separación final del telescopio Webb, vista desde el módulo de la nave del cohete Ariane 5. Crédito: Arianespace.

Figura 8. Trayectoria seguida por Webb desde su lanzamiento hasta la inserción en la órbita alrededor de L2. Como vemos en este esquema el parasol siempre protege el telescopio de la radiación solar. Crédito: Steve Sabia/NASA Goddard



El lanzamiento tuvo lugar el 25 de diciembre del 2021. Como siempre ocurre en estos casos, la primera media hora es crítica. Inicialmente los propulsores del cohete proporcionan el 90% de la energía necesaria para completar el lanzamiento, utilizando 2 toneladas de combustible por segundo. Tras 1 minuto, Ariane 5 rompe la barrera del sonido, y las diferentes etapas o secciones del cohete se van desprendiendo sucesivamente. A los 27 minutos, después de recibir un impulso final, el telescopio se separó completamente del módulo de la nave (Figura 7). Varios segundos después el panel solar se desplegó, y Webb comenzó su viaje de un mes con destino hacia su órbita final alrededor del punto de Lagrange 2, L2, situado a 1.5 millones de kilómetros de la Tierra. El lanzamiento resultó en un significativo ahorro de combustible, que se utilizará para mantener a Webb en su órbita durante mucho más de 10 años, alargando así significativamente la vida útil de la misión.

En su viaje de un mes a L2 el telescopio tenía que pasar de su compacta configuración de lanzamiento a su configuración nominal, completamente desplegado. Este proceso fue arriesgado y complicado; cientos de mecanismos no redundantes tenían que abrirse, liberarse o ponerse en posición en el momento adecuado para que el despliegue tuviera éxito. Durante este tiempo, el equipo de Webb trabajó sin descanso para abrir y tensar el parasol, elevar la torre que lo separa del espejo primario, posicionar el espejo secundario y abrir las alas laterales del espejo primario. El 24 de

enero del 2022, con Webb en su configuración nominal, los propulsores de la nave se utilizaron para proporcionar un impulso extra al telescopio, e insertarlo en su órbita de destino, alrededor de L2 (Figura 8).

En L2 Webb orbita alrededor del eje Sol-Tierra, lo que le permite tener el parasol siempre orientado hacia el Sol, manteniendo así el espejo primario y los instrumentos protegidos de altas temperaturas y en perpetua sombra. Dada la configuración de la órbita, Webb siempre tiene acceso a casi la mitad del cielo, y en el transcurso de un año puede observar cualquier objeto celeste.

El siguiente desafío en el proceso de verificación en órbita de Webb fue la identificación de todos los segmentos del espejo primario, que marca el primer paso en el complejo proceso de alineamiento que duró varios meses. En resumen, tras el lanzamiento, los 18 segmentos operan como 18 telescopios individuales. El objetivo del proceso de alineamiento es que operen como uno solo. Para identificar los espejos se realizó un mosaico muy grande, del tamaño de la Luna llena, de una única estrella. Hicieron falta más de 1500 imágenes en 156 posiciones diferentes alrededor de la estrella, que se eligió por estar relativamente aislada y ser fácil de reconocer. Gracias a estos datos tomados con NIRCcam, el sensor de frente de onda del observatorio, fue posible identificar todos los segmentos de los espejos (Figura 9). En el momento en que se tomaron estos datos NIRCcam estaba por encima de su temperatura operacional.

Figura 9. Fase inicial de alineamiento de los segmentos del espejo primario: identificación. Crédito: NASA.



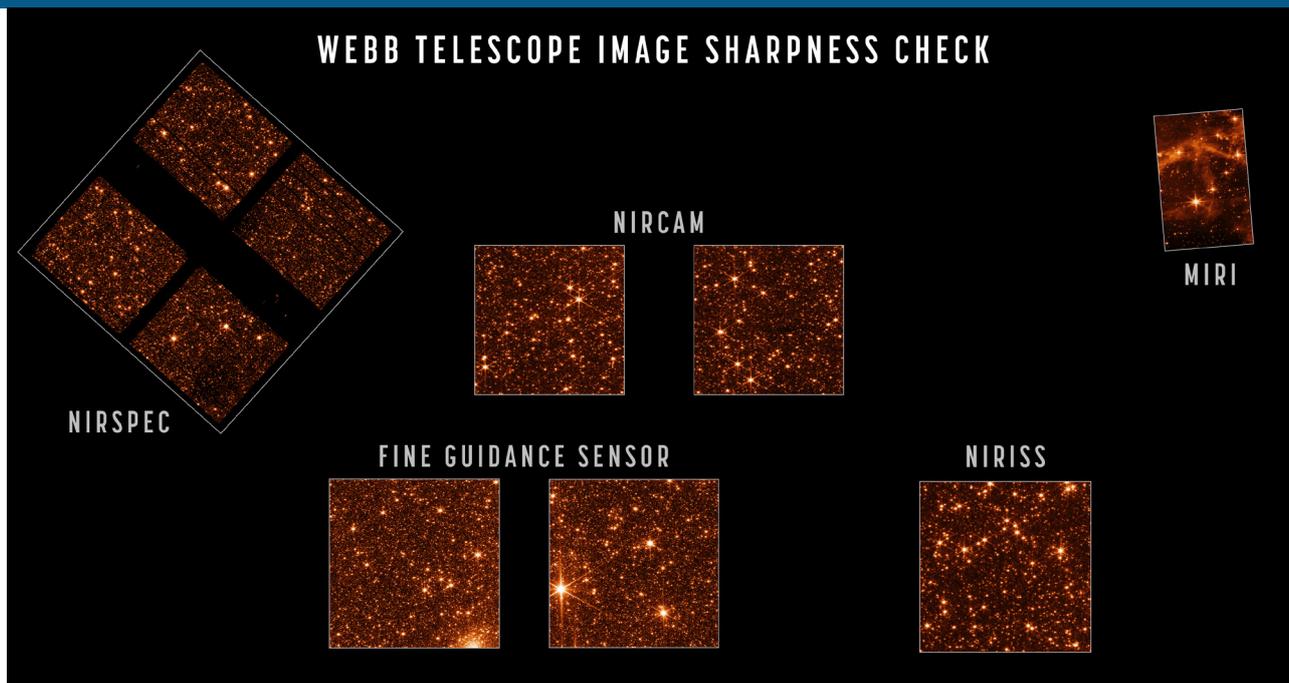


Figura 10. Imagen tomada para evaluar la calidad de imagen de los instrumentos de Webb. La distribución es equivalente al campo de visión del telescopio. Crédito: NASA/STScI.

Esta imagen, todavía borrosa y fuera de foco, marcó el inicio de un proceso iterativo que combina el movimiento de los segmentos con ligeros ajustes en el foco del espejo secundario, hasta conseguir que las 18 imágenes converjan en una sola. Una vez las 18 estrellas están bien alineadas, el siguiente paso es conseguir que los espejos trabajen en fase. El proceso se basa en el análisis de los patrones de interferencia observados en los espectros de 20 pares de segmentos, que varían dependiendo de la diferencia de pistón entre dichos segmentos. Finalmente, los errores residuales en el alineamiento son evaluados y corregidos jugando ligeramente con el enfocado de las imágenes utilizando elementos ópticos de NIRCAM. El resultado de este proceso es un telescopio que está perfectamente alineado con NIRCAM, que se encuentra aproximadamente en el centro del campo de visión.

Finalmente, tras tomar datos con el resto de los instrumentos y realizar ligeros ajustes, el 28 de abril de 2022 el proceso de alineamiento se declaró terminado. Como se muestra en la Figura 10, la calidad óptica de todas las imágenes es excelente, más que suficiente para cumplir los objetivos científicos de la misión. Si comparamos imágenes de MIRI con IRAC/Spitzer, la ganancia en resolución espacial y sensibilidad es indiscutible (Figura 11).

Hace semanas que todos los instrumentos alcanzaron su temperatura operacional y están perfectamente enfocados. El resto del periodo de verificación en órbita estará dedicado a los instrumentos. Es necesario caracterizar el comportamiento de los detectores, y determinar la calibración en flujo y longitud de onda. Además, para garantizar la calidad de las observaciones científicas, es imprescindible verificar los procesos de adquisición de objetos, y testear métodos especiales de observación tales como los de objetos del Sistema Solar, que el telescopio debe ser capaz de trazar pese a las altas velocidades relativas.

La publicación de los EROs (Early Release Observations), un conjunto de observaciones planeadas para demostrar al público y la comunidad científica el potencial científico del telescopio Webb, marcará el final del periodo de verificación y el inicio de las operaciones científicas rutinarias. Toda la comunidad científica tendrá acceso a datos de Webb; los programas de ERS (Early Release Science) son de libre acceso, y muchos datos del periodo de verificación se harán públicos cuando comience el Ciclo 1. Sigue las últimas novedades de Webb en el blog de NASA en la página de la ESA.

**Agradecimientos:** Muchas gracias a Javier Álvarez Márquez, por leer la primera versión de este artículo y proporcionar valiosos comentarios.

Figura 11. Esta imagen compara las diferencias en resolución espacial entre IRAC/Spitzer y Webb/MIRI. Crédito: NASA/JPL-Caltech (izquierda), NASA/ESA/CSA/STScI (derecha).

