

El telescopio espacial James Webb, con su diversidad de instrumentos y una excelente sensibilidad en el rango infrarrojo, ha abierto una nueva ventana en la observación de exoplanetas. En particular, ha aumentado el contraste para la observación directa hasta un millón de veces por debajo del brillo de la estrella central, y ha permitido la observación de atmósferas exoplanetarias más allá de 1.6  $\mu\text{m}$ .



**Isabel Rebollido Vázquez**  
*irebollido@cab.inta-csic.es*  
Centro de Astrobiología, CSIC-INTA

A pesar de que hoy en día la existencia de planetas fuera del Sistema Solar está firmemente establecida, en la década de 1980, cuando se propuso por primera vez la construcción de un telescopio espacial de gran tamaño, todavía no había ningún exoplaneta confirmado. En ese momento los fascinantes resultados de Hubble sobre la constante cosmológica y la necesidad de explorar el universo temprano, pusieron la necesidad de un gran telescopio infrarrojo en primer plano. En el año 2000, con 30 planetas confirmados y cuando ya era evidente el potencial de técnicas como la búsqueda por velocidad radial, apareció como misión prioritaria en el Astro Decadal un telescopio segmentado que sirviera tanto para investigar galaxias lejanas como las propiedades de los exoplanetas. La rápida evolución del campo influyó significativamente la adaptación del diseño del telescopio y sus instrumentos, incluyendo, por ejemplo, los coronógrafos, fundamentales para la observación directa de exoplanetas.

El diseño final con cuatro instrumentos con múltiples modos, abarcando desde el infrarrojo cercano hasta el medio, resultó en un observatorio extremadamente complejo con grandes capacidades para todos los campos de la astrofísica.

## **EXOPLANETAS EN IMAGEN DIRECTA**

Uno de los modos de observación más importantes del JWST en el estudio de exoplanetas, es su capacidad de obtener imagen directa de planetas gigantes, hasta un límite nunca antes alcanzado de un millón de veces por debajo del brillo de la estrella central. Aunque otros telescopios en tierra (como Keck o VLT) han logrado alcanzar sensibilidades que permiten observar directamente planetas de la masa de Júpiter, JWST permite por primera vez acceder a rangos de masas mucho menores.

NIRCam y MIRI son los dos instrumentos en los que se encuentran instalados distintos coronógrafos (Girard et al. 2024). En los programas de ciencia temprana (o ERS por sus siglas en inglés), fueron estos dos instrumentos los encargados de obtener la primera imagen de un exoplaneta con JWST (Carter et al. 2023). En la Figura 2 se puede ver la imagen en visible como referencia, y las cuatro observaciones con JWST (dos de NIRCam y dos de MIRI) del exoplaneta HIP 65246 b, elegido para probar las capacidades

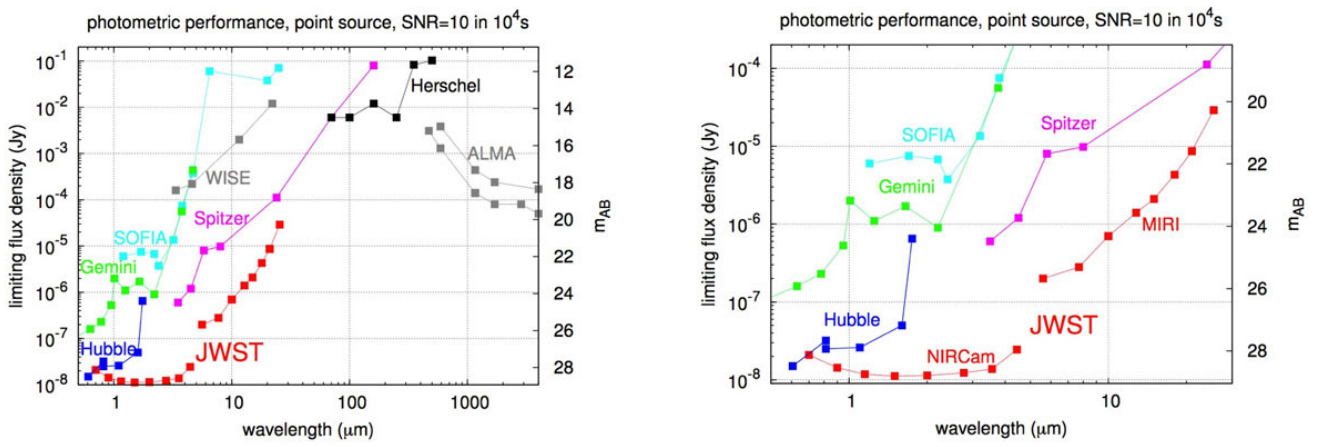
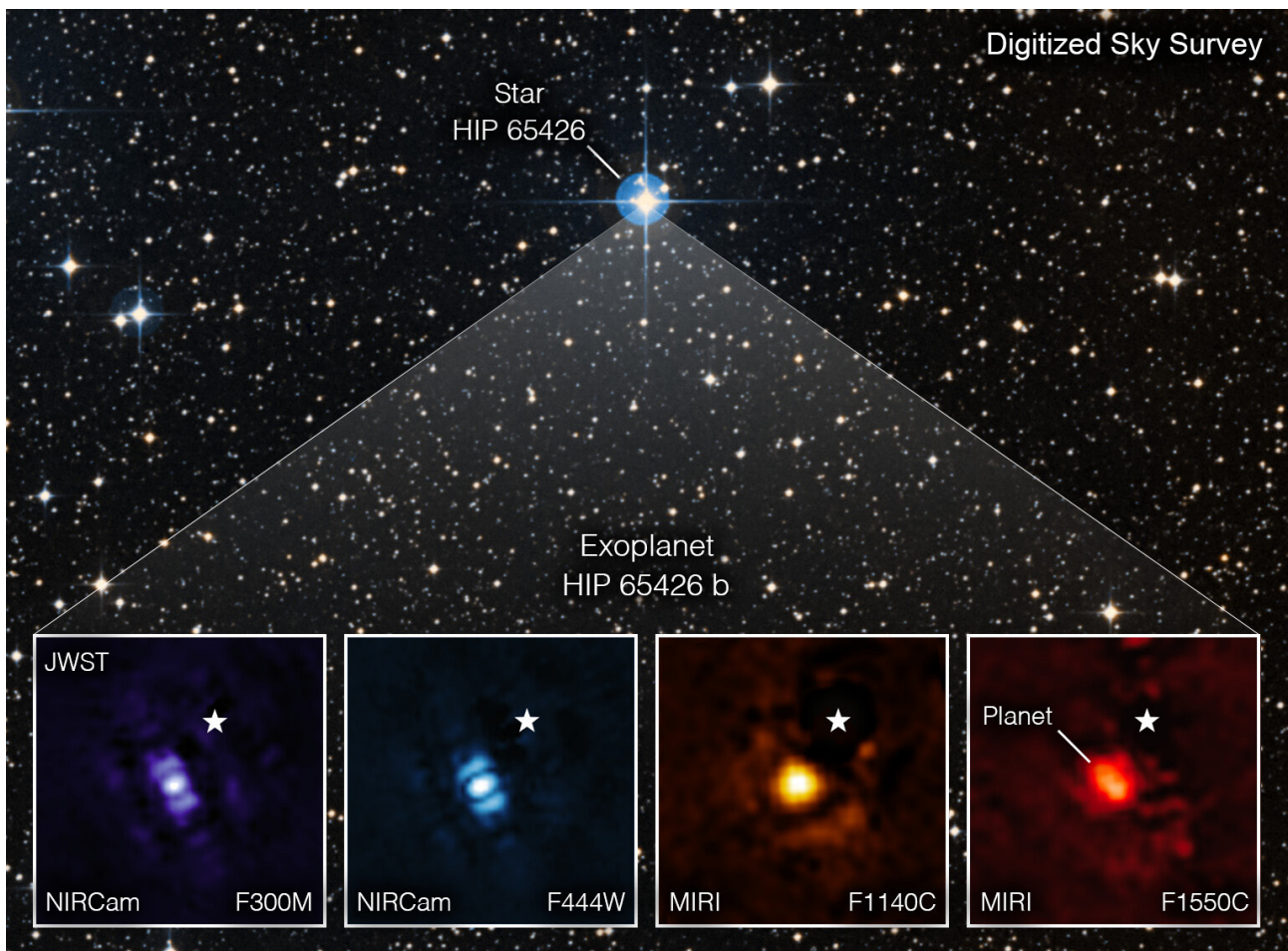


Figura 1. Ejemplo de las capacidades fotométricas de JWST frente a otros telescopios espaciales y en tierra.

Figura 2. Primera imagen de un exoplaneta con JWST. NASA/ESA/CSA, A. Carter (UCSC), the ERS 1386 team, and A. Pagan (STScI).



del telescopio por su interés científico y su contraste esperado, en línea con las expectativas. Fueron estas observaciones iniciales las que demostraron que el contraste que se podía alcanzar tanto con NIRCam como con MIRI excedía los requerimientos iniciales, y que potencialmente podríamos acceder a masas por debajo de la masa de Saturno en las condiciones adecuadas (edad del sistema, distancia a la estrella, etc.). Poco después de las primeras observaciones con JWST, Lagrange et al. 2025 detectaron por primera vez un planeta en torno al sistema TWA 7, TWA 7 b, con una masa estimada en un tercio de la masa de Júpiter, lo que lo hace el planeta más pequeño observado de forma directa.

### **ROMPIENDO LA BARRERA DE LA EDAD: EL EXOPLANETA FOTOGRAFIADO MÁS VIEJO**

Una de las principales características de los exoplanetas (y de los planetas del sistema solar), es que no producen energía en su interior. Esto implica que su brillo procede principalmente de la energía térmica adquirida en el proceso de formación, con lo cual el brillo de los exoplanetas decae significativamente con su edad. El momento indicado para observar exoplanetas con imagen directa se da aproximadamente al alcanzar su estrella la secuencia principal, donde esta es estable y los modelos fotosféricos pueden predecir de forma fiable su radiación. Más allá de este momento (a partir de unos  $\sim 10^2$  Myr) el brillo de los planetas decae rápidamente y solo se pueden detectar de forma indirecta (por ejemplo, mediante velocidades radiales o tránsitos).

Otro de los hitos del JWST fue la observación directa del exoplaneta más viejo (y por tanto más frío) hasta la fecha: Eps Ind A b (Matthews et al., 2024). Este intrigante objeto había sido inferido a partir de estudios de velocidad radial y astrometría, pero no había sido detectado de forma concluyente hasta que se observó con el modo coronográfico del instrumento MIRI. El planeta, de unas  $6 M_{\text{Jup}}$ , tendrá una edad de unos 3.5 Gyr, superando con creces al resto de exoplanetas observados de forma directa, los cuales tienen una edad menor a 500 Myr (casi todos ellos por debajo de 100 Myr). Poder observar este tipo de objetos es fundamental para entender la evolución de los sistemas planetarios, y entender mejor la formación de los planetas.

### **LOS ESPECTRÓGRAFOS A BORDO DEL JWST**

Todos los instrumentos a bordo del JWST tienen al menos un modo espectroscópico. Entre las opciones más atractivas para observar las atmósferas de los exoplanetas, se encuentran los modos de series temporales, disponibles en todos los instrumentos (por ejemplo, el modo de espectroscopía sin rendija de objetos individuales de NIRISS, o el grisma instalado en NIRCam). Estos modos permiten observar tránsitos planetarios, y son óptimos para investigar las atmósferas de planetas con periodos cortos. Durante el tránsito, y conociendo el espectro de la estrella, es posible eliminar la contribución estelar y obtener el espectro de la atmósfera del planeta (Figura 3).

Uno de los primeros resultados en la investigación de atmósferas exoplanetarias, fue la detección de bandas de agua y otras moléculas en el planeta WASP 39 b (Rustamkulov et al. 2023, Figura 4).

Mientras las series temporales permiten caracterizar los espectros de planetas de periodos cortos, los modos con imagen directa, como los espectrógrafos de campo integral de NIRSpec y MIRI permiten investigar los espectros de planetas con periodos largos, o lo que es lo mismo, a grandes distancias de sus estrellas. Aunque este método es más habitual para enanas marrones, se ha utilizado también para observar conocidos planetas gigantes como, por ejemplo, Beta Pic b (Worthen et al. 2024, Figura 5).

### **LAS ATMÓSFERAS DE LOS PLANETAS TERRESTRES**

Uno de los grandes objetivos de esta década en el campo de los exoplanetas es la caracterización atmosférica de planetas tipo terrestre, que nos acerquen un poco más a la detección de condiciones habitables. Tanto en el tiempo garantizado, como en las observaciones generales, múltiples programas se centraron en obtener espectros detallados utilizando la técnica de transmisión espectroscópica. Esta técnica, muy efectiva en planetas gigantes, requiere de una señal a ruido muy alta, y por tanto representa un desafío técnico en planetas pequeños, con una atmósfera mucho menor, tanto en densidad como en radio<sup>1</sup>. Como resultado, no se ha detectado de manera robusta ninguna atmósfera en torno a planetas rocosos.

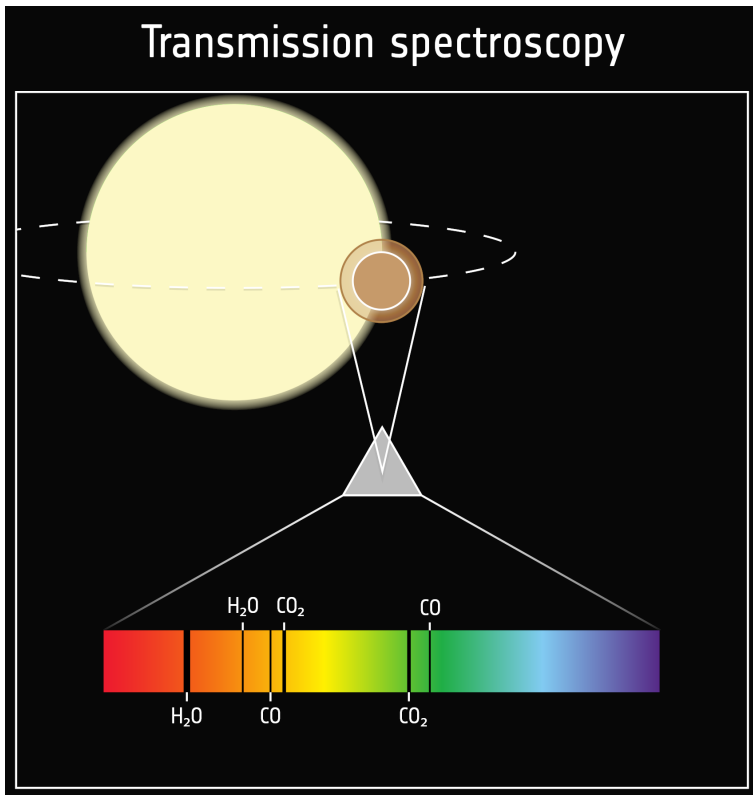


Figura 3. Esquema de transmisión espectroscópica. ESA.

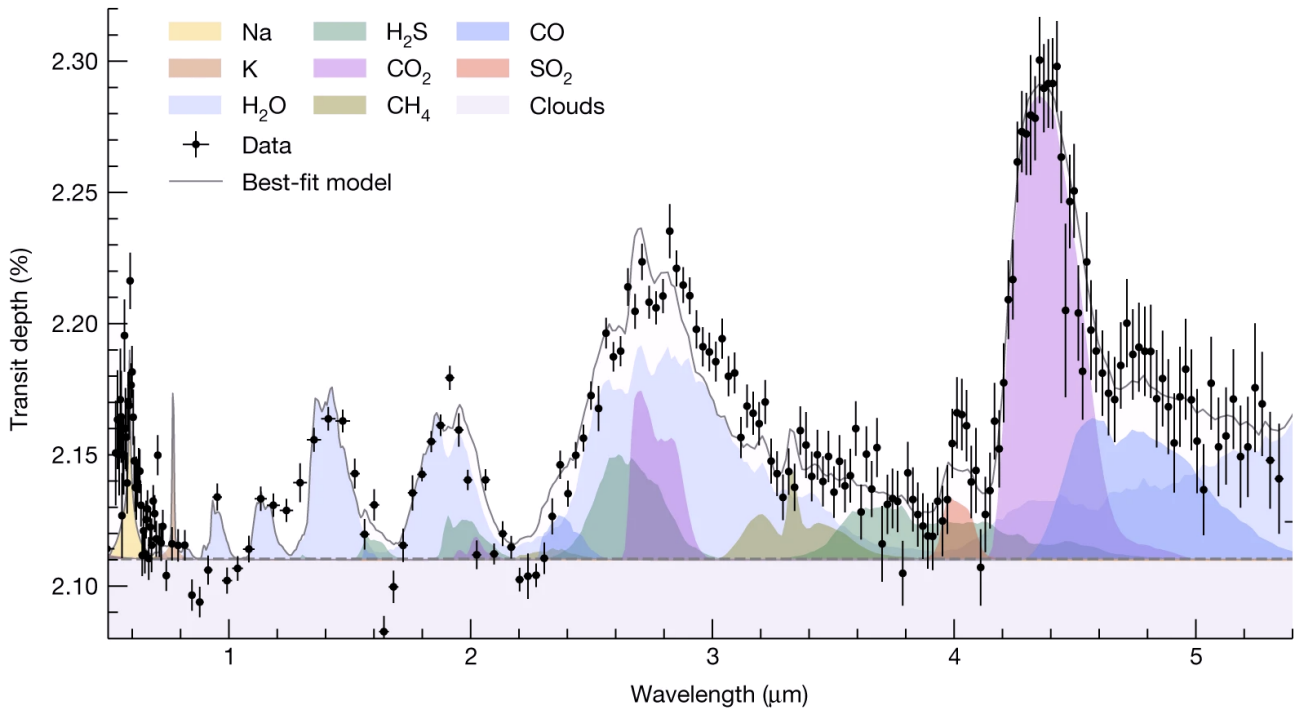


Figura 4. Espectro de transmisión del planeta WASP 39 b. En negro el espectro, en colores las distintas contribuciones según el modelo de atmósfera. Rustamkulov et al. 2023, Nature 614, pages 659–663.

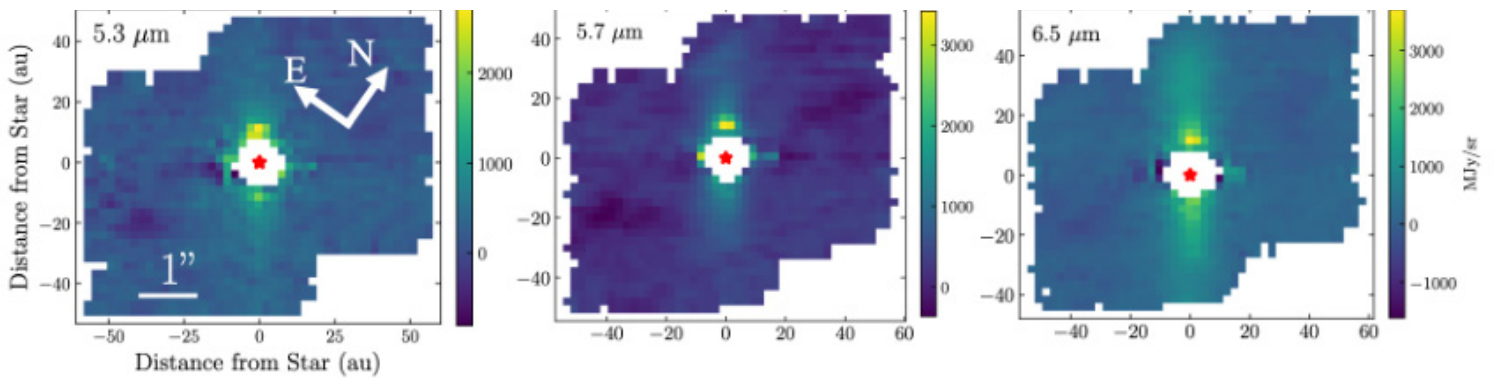
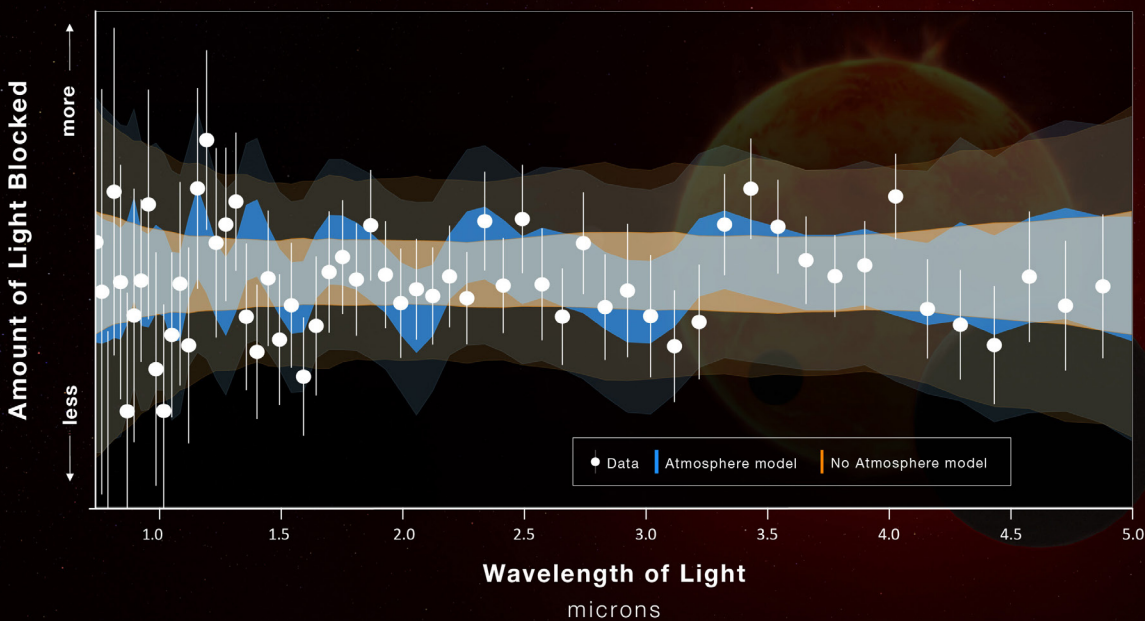


Figura 5. Observación con MIRI MRS del planeta Beta Pic b. Las imágenes muestran las distintas longitudes de onda en las que se extrajeron los datos en la esquina superior izquierda. Worthen et al. 2024 ApJ 964 168W.

Figura 6. Espectro de transmisión del planeta Trappist 1 e. En blanco los datos obtenidos con NIRSpec en su modo de baja resolución espectroscópica. En azul y naranja, los modelos con atmósfera y sin atmósfera. NASA, ESA, CSA, STScI, J. Olmsted (STScI).

## EXOPLANET TRAPPIST-1 e TRANSMISSION SPECTRUM

NIRSpec | PRISM Low-Resolution Spectroscopy



**WEBB**  
SPACE TELESCOPE

Uno de estos casos, muy debatidos en el campo de los exoplanetas, son los resultados de las observaciones del planeta Trappist 1 e (Espinoza et al. 2025, Figura 6). Aunque se obtuvieron datos de calidad en el modo de baja resolución espectroscópica de NIRSpec, la señal a ruido del espectro no permite distinguir entre los modelos con y sin atmósfera para el planeta, llevando a un resultado no conclusivo.

### **ROCKY WORLDS: JWST Y HST UNEN FUERZAS**

Para intentar paliar esta falta de detección de atmósferas en planetas terrestres, el programa Rocky Worlds dispondrá de unas 500 horas de tiempo discrecional del director del Space Telescope Science Institute para observar exoplanetas que orbitan enanas M. El programa se centrará en observar los eclipses secundarios (la ocultación del planeta por parte de la estrella) a  $15 \mu\text{m}$  utilizando el instrumento MIRI en JWST, y las estrellas centrales en ultravioleta con el telescopio espacial Hubble.

La combinación de HST y JWST permitirá caracterizar el flujo ultravioleta de las estrellas, que podría explicar la falta de atmósferas, y además entender la energía en la superficie del planeta, indicando la presencia o no de mecanismos de redistribución térmica, como pueden ser vientos o nubes. Aunque este programa no podrá caracterizar las atmósferas, si proporcionará datos muy valiosos para entender la prevalencia de atmósferas en planetas rocosos, y cómo influye la radiación estelar en este proceso.

### **BUSCANDO NUEVOS MUNDOS: JWST COMO HERRAMIENTA DE DETECCIÓN**

Aunque el tiempo de JWST es preciado (como muestra cada año el creciente número de propuestas<sup>2</sup>), su papel como uno de los mejores observatorios para observar planetas de forma directa lo hace un telescopio excelente para la búsqueda de planetas gigantes con largos períodos. Actualmente varios programas (e.g. GO 4050, GO 5835, Survey 6005) están llevando a cabo búsquedas de exoplanetas, dirigidas fundamentalmente a estrellas jóvenes, en los que los planetas todavía tengan una radiación térmica significativa; pero también a estrellas con masas bajas. Ambas características están enfocadas a maximizar el contraste planeta/estrella, fundamental para asegurar la detección. Sin embargo, por ahora no hay ningún planeta nuevo reportado a través de programas de búsqueda generales.

Mientras tanto, el campo de los exoplanetas sigue siendo uno de los más presentes en los programas de JWST. En los próximos años, se espera que el número de planetas observados en imagen directa aumente considerablemente, especialmente gracias a las sinergias con otras misiones, como por ejemplo el DR4 de Gaia a finales de este año, o la mejora de instrumentos en tierra como exoGravity. En cuanto a las observaciones espectroscópicas, JWST sigue revelando la composición de mundos gaseosos, pero parece que habrá que esperar a telescopios más optimizados, como Ariel, para la observación de atmósferas en planetas rocosos.

### **NOTAS**

- 1 Cabe recordar, que la atmósfera de la Tierra representa aproximadamente el 1.5% de su radio total.
- 2 Resumen de los resultados de la última llamada a propuestas del JWST: [https://www.stsci.edu/files/live/sites/www/files/home/jwst/science-planning/user-committees/jwst-users-committee/\\_documents/jwst-cycle5-peer-review-results.pdf](https://www.stsci.edu/files/live/sites/www/files/home/jwst/science-planning/user-committees/jwst-users-committee/_documents/jwst-cycle5-peer-review-results.pdf)