

# Estudiando atmósferas de planetas extrasolares

MANUEL MONTES PALACIO

La Agencia Espacial Europea ha aprobado una nueva misión científica, la cuarta, en la categoría intermedia de su conocido programa de exploración del espacio. Con un despegue previsto para dentro de una década, el proyecto acaba de iniciar su recorrido, que culminará con la colocación en una órbita de libración (Lagrange 2) de un observatorio capaz de visualizar y analizar directamente las atmósferas de planetas situados en otros sistemas estelares.

No cabe duda de que nos hallamos en medio de una auténtica edad de oro del estudio y localización de otros mundos ajenos a nuestro sistema solar. Nunca jamás como ahora habíamos hecho tantos y tan interesantes hallazgos al respecto. Tras los miles de planetas detectados por la misión Kepler de la NASA, esta agencia acaba de lanzar una nueva llamada TESS, que promete proporcionar un nuevo botín que mantenga ocupados a los científicos durante varias décadas. El descubrimiento de planetas extrasolares ha dejado de ser pues una novedad, y los investigadores ya han entrado en la fascinante fase de obtener datos cada vez más detallados de algunos de ellos, más allá del simple conocimiento de su posición y masa. Gracias a los nuevos y sofisticados medios a nuestra disposición, empezamos a descubrir planetas tan pequeños como la Tierra e incluso más, y a encontrar aquellos que se hallan, respecto a sus estrellas, en posiciones que consideramos aptas para la presencia de agua líquida en su superficie. La hipótesis de que alguno de ellos sea habitable ya no parece tan descabellada, abriendo las puertas a la posibilidad de que pueda llegar a tener vida propia en su ecosfera. Con qué frecuencia eso es posible, aún no lo sabemos, pero lo cierto es que ya no estamos tan lejos de encontrar por fin un mundo gemelo en todo al nuestro y, quizá, igualmente apto para una vida como la que se desarrolla en la Tierra desde hace miles de millones de años.





Una forma de saber si un planeta extrasolar es adecuado para la vida es detectar síntomas de que, en efecto, esta está presente, influyendo y transformando su entorno. La vida en la Tierra hace precisamente esto, y cualquier civilización extraterrestre podría llegar a saber que existen seres vivos en nuestro planeta estudiando la composición de nuestra atmósfera, donde además de oxígeno (generado sobre todo por la actividad biológica), están presentes otros subproductos que delatan su existencia, como el metano. Así pues, si ya tenemos misiones capaces de localizar planetas de tipo terrestre en configuraciones aptas para la vida, el próximo paso debería ser observar sus atmósferas en busca de esos rasgos químicos que nos permitan lanzar hipótesis sobre su posible existencia.

La primera misión espacial claramente dedicada a esta tarea se llama ARIEL (Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey), y fue aprobada por la Agencia Espacial Europea en marzo de 2018. Su desarrollo, en el marco de su plan a largo plazo Cosmic Vision, empieza apenas ahora, con el objetivo de enviarla al espacio a mediados de 2028. Seguiría así los pasos de sus tres predecesores en el programa de misiones intermedias (M) de la agencia, los programas Solar Orbiter, Euclid y Plato. Como estos, su potencial de transformación y revolución científica es muy alto, de aquí su importancia.

El ARIEL tendrá la capacidad de analizar cualquier atmósfera planetaria extrasolar que se halle a su alcance, pero su principal tarea será averiguar qué condiciones son las adecuadas para la formación de planetas que posteriormente permitan la aparición de la vida, por lo que se centrará sobre todo en una muestra limitada de objetivos situados alrededor de unos tipos muy concretos de estrellas.

## PONIENDO ORDEN EN EL ROMPECABEZAS

Teniendo en cuenta que hasta ahora solo tenemos constancia de un planeta en el que exista vida, el nuestro, y que conocemos las características de la estrella que lo ha permitido, el Sol, es lógico pensar que aquellos planetas extrasolares que se encuentren en la zona

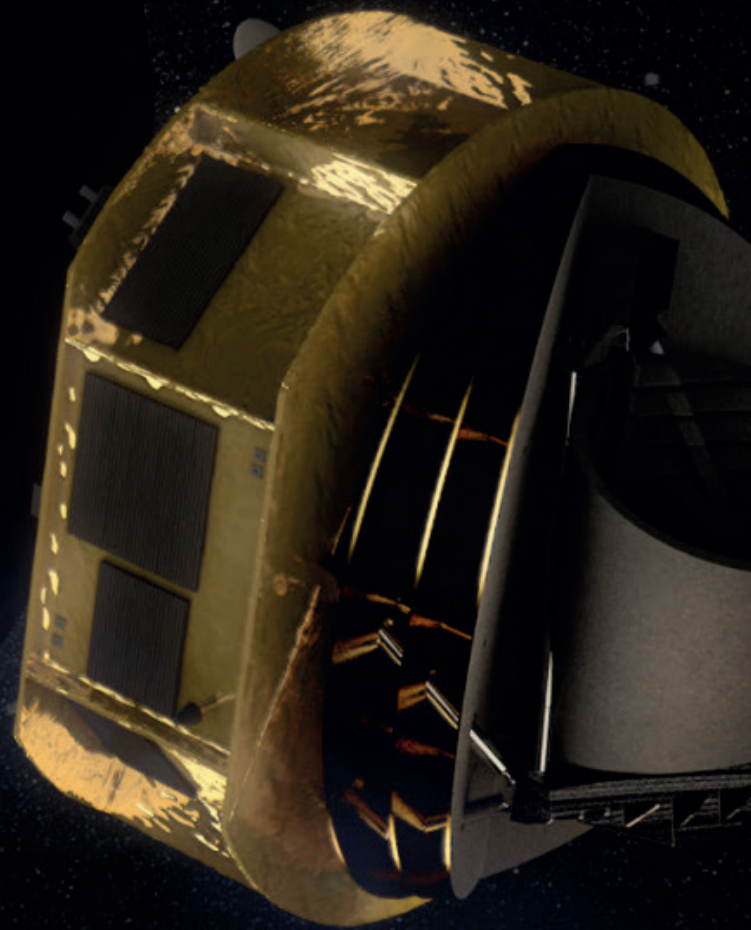
apropiada alrededor de soles como el nuestro deberían ser firmes candidatos a haber también albergado algún tipo de actividad biológica, pasada o actual. La experiencia, sin embargo, no asegura esta relación tan directa. Hemos descubierto exoplanetas de muchos tipos y alrededor de toda clase de estrellas, y es difícil negar la posible existencia de vida en aquellos cuyos cuerpos estelares se diferencian mucho del nuestro, simplemente porque hay muchos factores que influirían en ello. Debido a esto, ARIEL prestará atención a un rango relativamente amplio de clases de sistemas estelares.

Para aclarar este asunto, los investigadores necesitan encontrar pautas claras sobre si la estrella y su tipo afectan decisivamente a la evolución química y física de sus planetas, y si las sustancias que estos últimos contienen dependen mucho del entorno en el que se formaron. En otras palabras, tenemos que estudiar los entornos de formación planetaria, la composición de los propios planetas y la de sus atmósferas si las poseen, porque esto nos dará pistas sobre si efectivamente existe un patrón que desemboca en los ingredientes correctos para el desarrollo de la vida, o al menos de la vida tal como la conocemos, que es la que sabemos cómo detectar en la actualidad.

Así, entre otros objetivos, la principal misión de ARIEL consistirá en estudiar las atmósferas de cientos de planetas, planetas que estarían girando alrededor de muchas clases de estrellas diferentes y en entornos que pueden ser parecidos o algo distintos al

nuestro. Se trata de identificar y agrupar las propiedades físicas y químicas de los planetas extrasolares observados, para valorar la existencia de poblaciones concretas y bien definidas, más o menos aptas para la vida. Solo así podremos averiguar si nuestro propio sistema solar encaja en alguna de las categorías que trasciendan de las investigaciones, y ayudar de este modo a investigar aquellos sistemas extrasolares más prometedores en este ámbito. Con un catálogo suficientemente amplio, podríamos en el futuro otorgar mayores probabilidades de habitabilidad a nuevos planetas extrasolares que se vayan descubriendo, incluso de forma preliminar.

## INSTRUMENTAL





Este es el aspecto que tendrá el cohete Ariane que se utilizará para lanzar a la ARIEL. (Imagen: ESA–David Ducros, 2017)

Las características técnicas del vehículo que está siendo diseñado ahora mismo favorecerán el análisis de un amplio pero concreto rango de planetas extrasolares que podríamos clasificar por su masa: desde las supertierras (algo mayores que nuestro mundo, pero siempre de aspecto rocoso) hasta los gigantes gaseosos (parecidos a Júpiter o Saturno). Todos ellos estarán relativamente próximos a sus estrellas y por tanto se encontrarán bastante calientes (algunos a más de 600 K). Estos cuerpos serán suficientemente grandes como para tener atmósferas abundantes y bien mezcladas, presentando un mínimo de condensación, y por tanto estarán muy al alcance de los instrumentos del observatorio ARIEL, los cuales podrán distinguir entre sus componentes químicos. Se espera trabajar con una muestra de unos mil planetas, de manera simultánea en el visible y en el infrarrojo, aunque no se descarta observar otros nuevos que vayan siendo descubiertos durante la fase de operaciones, y en función del interés que puedan despertar entre los científicos.

Como otros satélites lanzados con anterioridad dedicados al estudio de planetas extrasolares, el nuevo ARIEL contemplará aquellos que, desde nuestra perspectiva, pasen por delante de su estrella, de modo que la luz de esta atravesará su atmósfera y llegará hasta el telescopio con información sobre su composición, gracias a las longitudes de

onda absorbidas por los elementos químicos presentes en ella. El observatorio verá disminuir ligeramente la luz de la estrella cuando el planeta la eclipse al pasar por delante de ella, y ello permitirá calcular algunas de sus características, como su órbita y dimensiones. ARIEL podrá medir esa disminución de la luminosidad con una precisión de entre 10 y 100 partes por millón. Los instrumentos permitirán además hacer fotometría y espectroscopía en las longitudes de onda del visible y el infrarrojo, así como vigilar la actividad estelar de las estrellas anfitrionas, que serán en su mayoría de tipo F a M, especialmente aptas para sistemas planetarios de larga duración y por tanto propiciatorios de fenómenos de desarrollo longevos, como lo es la vida.

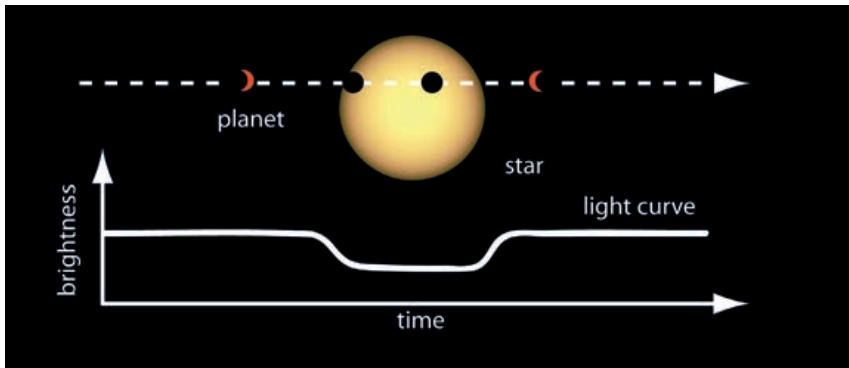
Más en concreto, los estudios fotométricos en el visible y en el infrarrojo cubrirían las longitudes de onda de 0,50 a 0,55  $\mu\text{m}$ , de 0,8 a 1,0  $\mu\text{m}$  y de 1,0 a 1,2  $\mu\text{m}$ . En cuanto a la espectroscopía, se usarán dos canales de resolución media (1,95-3,9  $\mu\text{m}$  y 3,9-7,8  $\mu\text{m}$ ) y uno de baja resolución (1,25-1,95  $\mu\text{m}$ ). La simultaneidad de las observaciones y la amplitud del rango espectrométrico prometen una buena calidad y mayor seguridad en los resultados.

Los instrumentos que se embarcarán en el nuevo observatorio serán los siguientes: en primer lugar el ARIEL medium-resolution InfraRed Spectrometer (AIRS) (que cubrirá un rango de 1,95 a 7,80  $\mu\text{m}$ ) y en segundo lugar el Fine



Diseño preliminar del vehículo ARIEL. (Imagen: ESA)





La luz de la estrella se reduce ligeramente cuando un planeta pasa delante de ella. (Imagen: NASA Ames)

Guidance System (FGS) (con tres canales fotométricos en el visible y el infrarrojo cercano, dos de los cuales se emplearán también como sensores de guía, y un espectrómetro de baja resolución en el infrarrojo cercano). La carga útil, incluyendo el telescopio y los instrumentos, será proporcionada por varios países participantes en el proyecto, como suele ser habitual en toda misión de carácter científico.

Como se ha dicho, con este instrumental, los científicos esperan no solo detectar las atmósferas planetarias, sino también evaluar su composición y estructura. Entre las sustancias que podremos identificar está el metano, el vapor de agua y el dióxido de carbono. Todos ellos están relacionados, aunque no siempre, con la vida, por lo que será especialmente interesante discernir su presencia, cantidad y origen. Podrán, asimismo, medirse las abundancias de amoníaco, cianuro de hidrógeno y sulfuro de hidrógeno, componentes cruciales, aunque a menor escala, en un ámbito prebiótico o biótico. Además, podremos detectar otros compuestos más exóticos, como aquellos metálicos (óxido de titanio, óxido de vanadio y especies condensadas) que nos dirán mucho sobre la región en la que se formó originalmente el planeta estudiado, lo cual depende de la nebulosa protosolar que sirvió

como punto de partida para el sistema estelar y planetario.

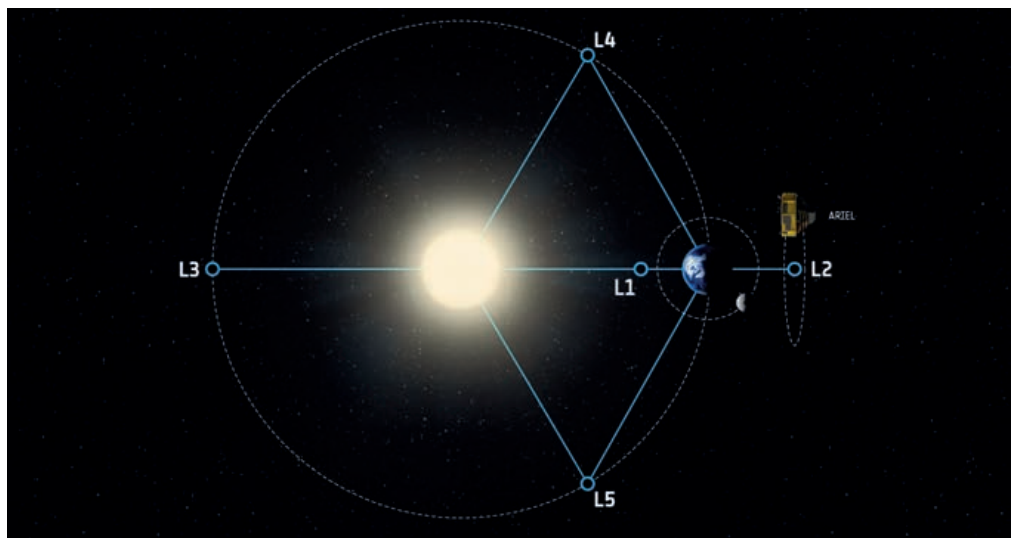
El ARIEL será lo bastante sensible como para analizar la meteorología de algunas atmósferas, en particular las de aquellos planetas extrasolares lo bastante próximos, en las que podremos llegar a detectar formaciones nubosas y la evolución climática del objeto a lo largo de los días, todo ello en base a pequeñísimas variaciones en la fotometría. Observando las nubes, su temperatura y su abundancia podemos obtener información sobre los cambios estacionales. Por otro lado, se intentará identificar qué procesos de termoquímica, fotoquímica, etc., estarán interviniendo, y que pueden influir en la disponibilidad de ingredientes apropiados para la aparición de vida.

Los estudios medirán el albedo de los planetas (la cantidad de luz reflejada por sus atmósferas de regreso al espacio) y la relación o balance entre la energía recibida desde la estrella y la emitida hacia el

exterior. Además, se trabajará sobre posibles modelos de evolución planetaria en busca de pistas que señalen posibilidades de migración primitiva (los planetas a veces se forman a una distancia determinada de su estrella, pero acaban trasladándose hacia órbitas más lejanas o más próximas debido a la propia dinámica de los sistemas planetarios y a influencias exteriores). Esta evolución también puede traducirse en la presencia de atmósferas secundarias.

## DE CAMINO HASTA EL LANZAMIENTO

Las misiones astrofísicas de la ESA tienen una gran complejidad y su desarrollo necesita de varios años de trabajos previos. De hecho, ARIEL compitió previamente con otros dos candidatos para convertirse en la cuarta misión de clase intermedia de la agencia. Sus contrincantes fueron, en concreto, el llamado Thor (Turbulence Heating Observer) y el Xipe (x-ray Imaging Polarimetry Explorer). Una vez seleccionada, ARIEL aún deberá pasar por varias etapas preliminares antes de recibir la luz verde definitiva para el inicio de su construcción. Si la tecnología necesaria para ella presentara dudas, podría posponerse indefinidamente e incluso cancelarse. Se espera que estos trabajos preliminares concluyan en 2020, cuando los expertos de la ESA recomendarán o no su definitiva adopción. Si todo va bien, como



ARIEL será colocada alrededor del punto de libración L2. (Imagen: ESA/IAC)

de trabajo que darán forma al observatorio. Así pues, es aún prematuro dar detalles muy concretos sobre sus características técnicas, que todavía podrían cambiar notablemente en función de los resultados de las actuales investigaciones, que confirmarán si la configuración ahora propuesta es viable, tanto desde el punto de vista del vehículo como del instrumental que lo acompañará a bordo.

La propuesta actual nos habla de un observatorio dotado de un telescopio de un metro de diámetro, aproximadamente, que centrará su sensibilidad en las longitudes de onda del visible y el infrarrojo. Más específicamente, consistirá en un telescopio Cassegrain con un espejo primario elíptico, de 1,1 por 0,7 metros, cuya área efectiva de captación de luz alcanzará unos 0,64 metros cuadrados. La luz que podrá recoger y la sensibilidad de sus cámaras lo harán apto para la tarea que tendrá encomendada, pero también para estudios relacionados.

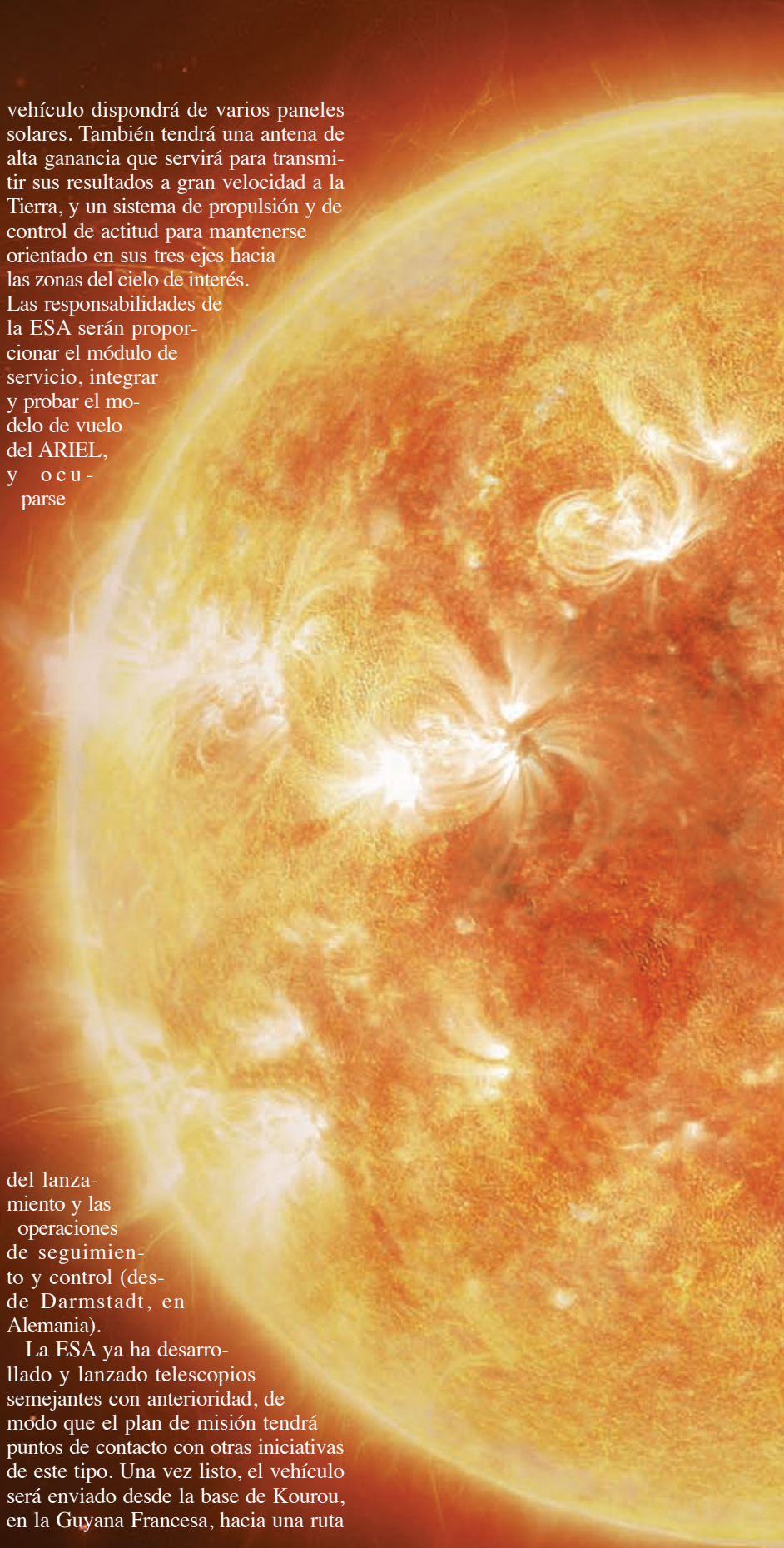
El diseño preliminar que ha servido para su aprobación inicial aprovecha parte del trabajo realizado durante la propuesta EChO (Exoplanet Characterization Observatory), otra misión que finalmente no fue elegida en una oportunidad anterior. La estructura básica del EChO ha sido esta vez simplificada y su masa disminuida hasta alcanzar unos 1.300 kg. ARIEL se centrará ahora solo en los planetas calientes, así que su instrumental no necesita ser sensible a objetos fríos, siempre más difíciles de estudiar. Como es habitual, su estructura estará definida por dos partes bien diferenciadas: el módulo de servicio (SVM) y el módulo de carga útil (PLM). Dado que se trabajará en el infrarrojo, ambas partes se mantendrán térmicamente aisladas entre sí para evitar que el calor del módulo de servicio enmascare los resultados del PLM. Este último se mantendrá así a una temperatura de unos 55 K, si bien se incluirá un sistema de refrigeración criogénico adicional para que el instrumento AIRS no supere nunca los 42 K (la normal evaporación del refrigerante también es la razón por la cual el AIRS irá perdiendo sensibilidad a partir de un cierto momento, limitando su vida útil, al menos en el infrarrojo). Para alimentar sus sistemas con electricidad, el

vehículo dispondrá de varios paneles solares. También tendrá una antena de alta ganancia que servirá para transmitir sus resultados a gran velocidad a la Tierra, y un sistema de propulsión y de control de actitud para mantenerse orientado en sus tres ejes hacia las zonas del cielo de interés.

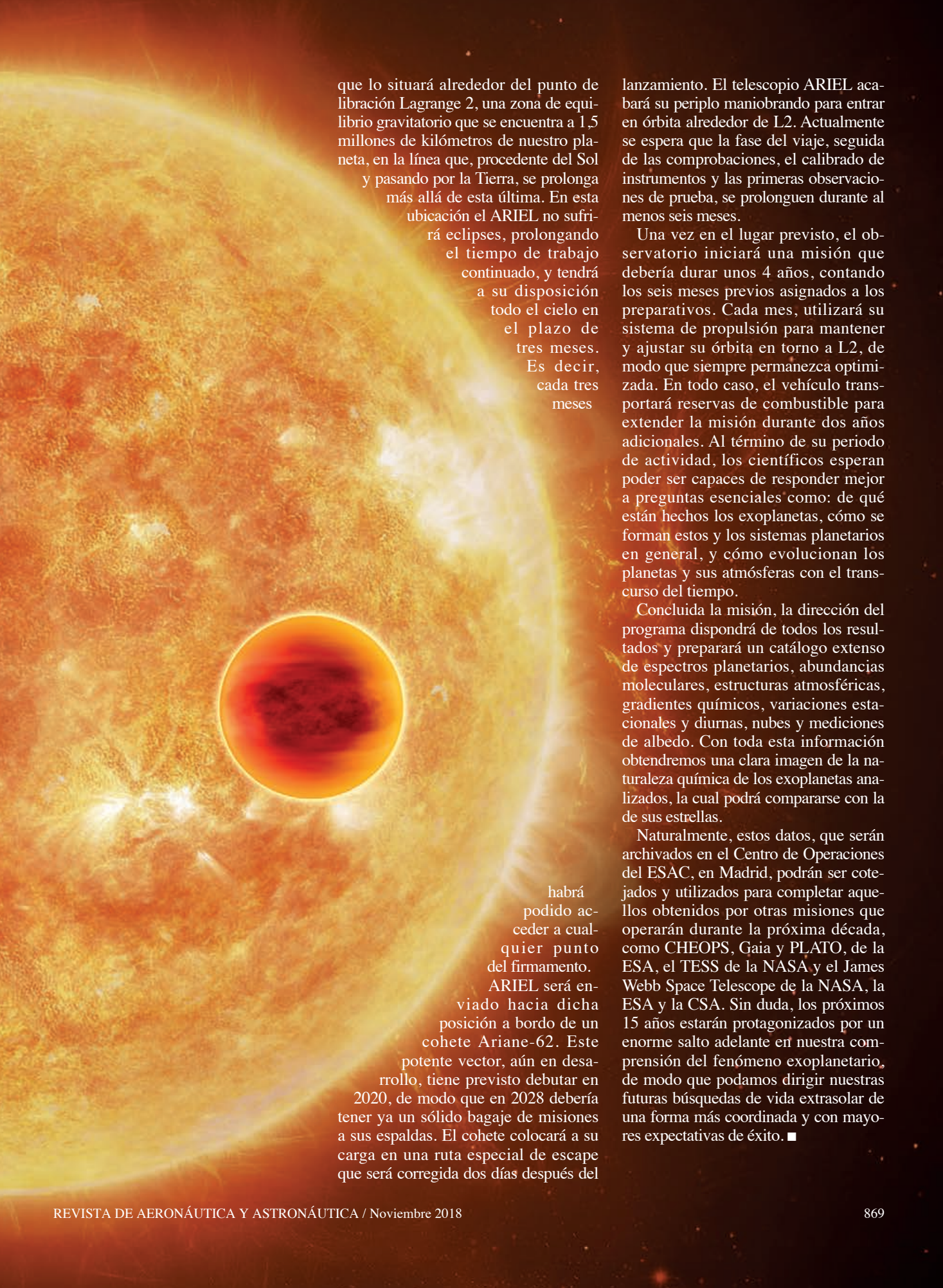
Las responsabilidades de la ESA serán proporcionar el módulo de servicio, integrar y probar el modelo de vuelo del ARIEL, y ocuparse

del lanzamiento y las operaciones de seguimiento y control (desde Darmstadt, en Alemania).

La ESA ya ha desarrollado y lanzado telescopios semejantes con anterioridad, de modo que el plan de misión tendrá puntos de contacto con otras iniciativas de este tipo. Una vez listo, el vehículo será enviado desde la base de Kourou, en la Guyana Francesa, hacia una ruta







que lo situará alrededor del punto de libración Lagrange 2, una zona de equilibrio gravitatorio que se encuentra a 1,5 millones de kilómetros de nuestro planeta, en la línea que, procedente del Sol y pasando por la Tierra, se prolonga más allá de esta última. En esta ubicación el ARIEL no sufrirá eclipses, prolongando el tiempo de trabajo continuado, y tendrá a su disposición todo el cielo en el plazo de tres meses. Es decir, cada tres meses

habrá podido acceder a cualquier punto del firmamento.

ARIEL será enviado hacia dicha posición a bordo de un cohete Ariane-62. Este potente vector, aún en desarrollo, tiene previsto debutar en 2020, de modo que en 2028 debería tener ya un sólido bagaje de misiones a sus espaldas. El cohete colocará a su carga en una ruta especial de escape que será corregida dos días después del

lanzamiento. El telescopio ARIEL acabará su periplo maniobrando para entrar en órbita alrededor de L2. Actualmente se espera que la fase del viaje, seguida de las comprobaciones, el calibrado de instrumentos y las primeras observaciones de prueba, se prolonguen durante al menos seis meses.

Una vez en el lugar previsto, el observatorio iniciará una misión que debería durar unos 4 años, contando los seis meses previos asignados a los preparativos. Cada mes, utilizará su sistema de propulsión para mantener y ajustar su órbita en torno a L2, de modo que siempre permanezca optimizada. En todo caso, el vehículo transportará reservas de combustible para extender la misión durante dos años adicionales. Al término de su periodo de actividad, los científicos esperan poder ser capaces de responder mejor a preguntas esenciales como: de qué están hechos los exoplanetas, cómo se forman estos y los sistemas planetarios en general, y cómo evolucionan los planetas y sus atmósferas con el transcurso del tiempo.

Concluida la misión, la dirección del programa dispondrá de todos los resultados y preparará un catálogo extenso de espectros planetarios, abundancias moleculares, estructuras atmosféricas, gradientes químicos, variaciones estacionales y diurnas, nubes y mediciones de albedo. Con toda esta información obtendremos una clara imagen de la naturaleza química de los exoplanetas analizados, la cual podrá compararse con la de sus estrellas.

Naturalmente, estos datos, que serán archivados en el Centro de Operaciones del ESAC, en Madrid, podrán ser cotejados y utilizados para completar aquellos obtenidos por otras misiones que operarán durante la próxima década, como CHEOPS, Gaia y PLATO, de la ESA, el TESS de la NASA y el James Webb Space Telescope de la NASA, la ESA y la CSA. Sin duda, los próximos 15 años estarán protagonizados por un enorme salto adelante en nuestra comprensión del fenómeno exoplanetario, de modo que podamos dirigir nuestras futuras búsquedas de vida extrasolar de una forma más coordinada y con mayores expectativas de éxito. ■