

LA CONTRIBUCIÓN ESPAÑOLA EN LA MISIÓN

Después de la Tierra, Marte es sin lugar a dudas, el planeta más estudiado y mejor conocido del sistema solar. Sus semejanzas con el nuestro en el período de rotación (24,6 horas, duración el día marciano conocido como sol), inclinación de su eje en 25,2° respecto del plano orbital (y consiguientemente presencia de estaciones en un año de 687 días terrestres), así como la existencia de una atmósfera, densa en el pasado, con oportunidades para la vida, han hecho de Marte un laboratorio único de investigación de las ciencias planetarias y de la astrobiología.



Agustín Sánchez Lavega
Universidad del País Vasco
agustin.sanchez@ehu.eus

Manuel de la Torre
Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology
mtj@jpl.nasa.gov

José Antonio Rodríguez Manfredi
Centro de Astrobiología (CSIC-INTA)
manfredi@cab.inta-csic.es

Marte es un planeta pequeño (radio 3.389 km, 53% del radio terrestre) y su atmósfera actual, esencialmente de dióxido de carbono, es muy tenue con una presión media en la superficie de apenas 750 Pascales (7,5 milibares). Unido esto a su distancia al Sol (semieje mayor de la órbita elíptica de 228 millones de km) hace que el rango de temperaturas extremas vayan de los -140°C (inviernos polares) a los 19°C (veranos ecuatoriales), con fluctuaciones entre el día y la noche de 40°C a 80°C. Debido a estas variaciones de temperatura, el dióxido de carbono atmosférico condensa en nieve carbónica en los inviernos polares, alcanzando gran extensión, y evaporándose por el contrario, casi completamente, en los veranos. Actualmente, la presencia de agua en forma de vapor es escasa (un 0.02% en volumen en la atmósfera), si bien condensa y forma nubes de cristalitas de hielo de acuerdo con el ciclo estacional. El agua en estado líquido no puede existir en su superficie, pero sí se sabe que se encuentra en depósitos líquidos bajo la superficie en algunas regiones del planeta. En el pasado remoto, hace unos 3.000 a 4.000 millones de años, las características geológicas sugieren que la atmósfera marciana era densa, y las temperaturas alcanzaron el valor suficiente para que el agua fluyese en estado líquido por su superficie. Y ese es uno de los ingredientes necesarios en la receta de la vida tal y como la conocemos en la Tierra.

El desvanecimiento del campo magnético primigenio del planeta, junto con otros factores, favorecieron la pérdida de gran parte de su atmósfera. Marte es hoy en día un planeta seco, polvoriento (el polvo está permanentemente en suspensión en la atmósfera), gélido en casi todos sus rincones la mayor parte del tiempo, y achicharrado por la radiación ultravioleta. No es precisamente el mejor lugar para la vida. Pero si se dio esa oportunidad, hay que buscarla. Además, el debate sobre la presencia o no de gas metano en su atmósfera (potencialmente con posible origen biológico), sigue abierto. Todo esto, junto con una atmósfera rica en fenómenos meteorológicos, semejantes a los terrestres en muchos aspectos, hacen del planeta un laboratorio natural en el que poder estudiar, comprender y mejorar la predictiva de los modelos. Particularmente en lo referente al ciclo del polvo y a la generación de las grandes tormentas, hoy en día impredecibles. Un conocimiento que será esencial para la futura visita de astronautas al planeta.

LA EXPLORACIÓN DE MARTE Y EL ROVER PERSEVERANCE

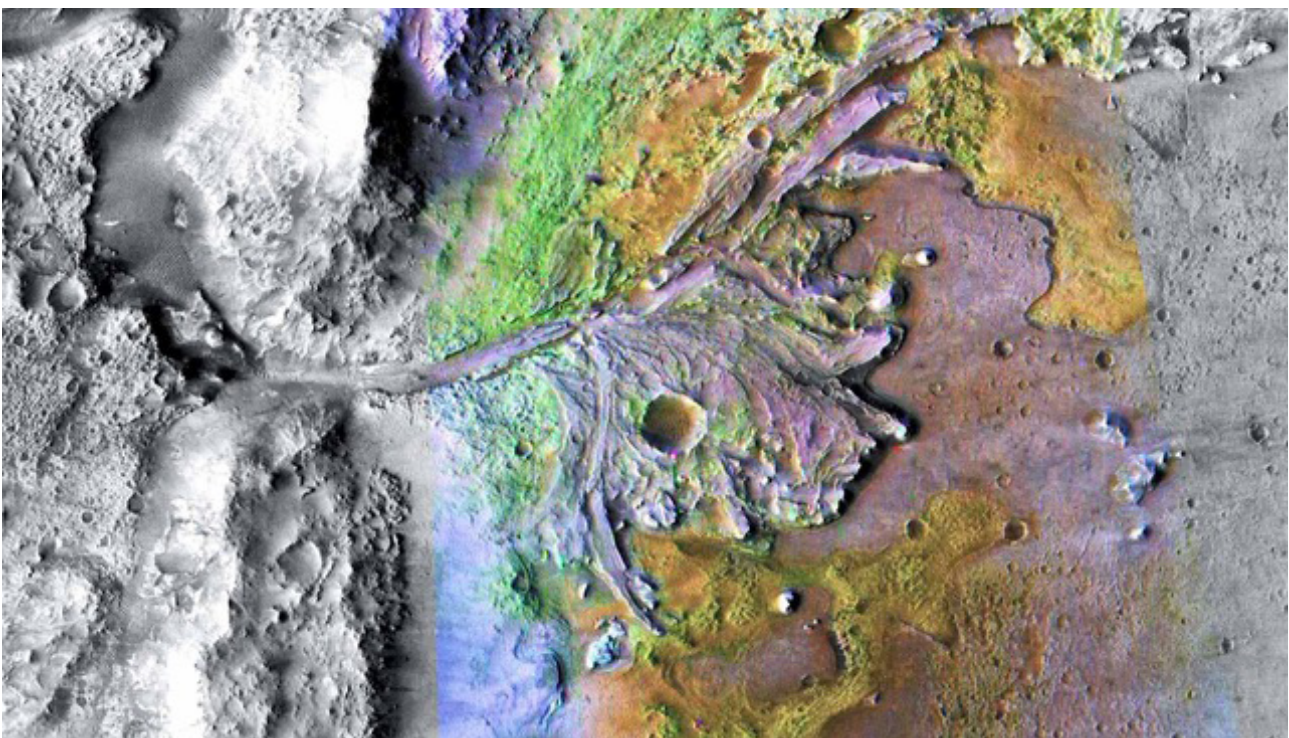
Hasta la fecha se han enviado 48 misiones espaciales a Marte por diferentes agencias, si bien muchas de ellas resultaron en fracaso. A día de hoy hay 8 misiones activas en órbita, una plataforma fija *InSight*, y los rovers *Curiosity* y *Perseverance* (todos ellos de NASA con la participación de varios países), a los que se ha unido el recién llegado rover *Tianwen-1* de la agencia espacial China.

Centrándonos en la misión Mars 2020 su lanzamiento tuvo lugar en Cabo Cañaveral el 30 de julio de 2020, posando al rover *Perseverance* el pasado 18 de febrero de 2021 en el cráter Jezero (Fig. 1), en el delta de un antiguo lago de 45 km de tamaño al norte del ecuador.

Perseverance es sin lugar a dudas el laboratorio móvil más complejo de exploración lanzado hasta la fecha (Farley et al. 2020). Su peso alcanza los 1.025 kg con un tamaño de 3 m de largo por 2,7 m de ancho y 2,2 m de alto, dotado de un brazo robótico

extensible en su parte delantera. Lleva un generador termoeléctrico de radioisótopos que utiliza el calor producido en el proceso de desintegración natural del plutonio-238 para generar electricidad con una potencia de 110 W con la que alimentar sus instrumentos. Los objetivos principales de la misión son el estudio de las características geológicas de Jezero, evaluar las condiciones de habitabilidad en el pasado marciano y la búsqueda de “biofirmas” en rocas capaces de preservarlas y que pudieran delatar la presencia de vida pasada. *Perseverance* reunirá además muestras de rocas y de arenas y polvo de la superficie, que irá depositando en envases apropiados durante su recorrido, para ser potencialmente recogidas posteriormente por otra misión y traerlas a la Tierra con el fin de realizar un análisis detallado. Finalmente se pondrán a prueba en el rover nuevas tecnologías para su uso en futuras exploraciones robóticas y humanas. Una de ellas es el pequeño helicóptero *Ingenuity*, de tan solo 1,8 kg de peso y que ya ha realizado exitosamente varios vuelos.

Figura 1. Delta de entrada del cráter Jezero capturada por el Mars Reconnaissance Orbiter de NASA. Los colores representan la diversidad mineralógica del lugar de aterrizaje de *Perseverance* (Crédito de la imagen: NASA/JPL-Caltech/ASU).



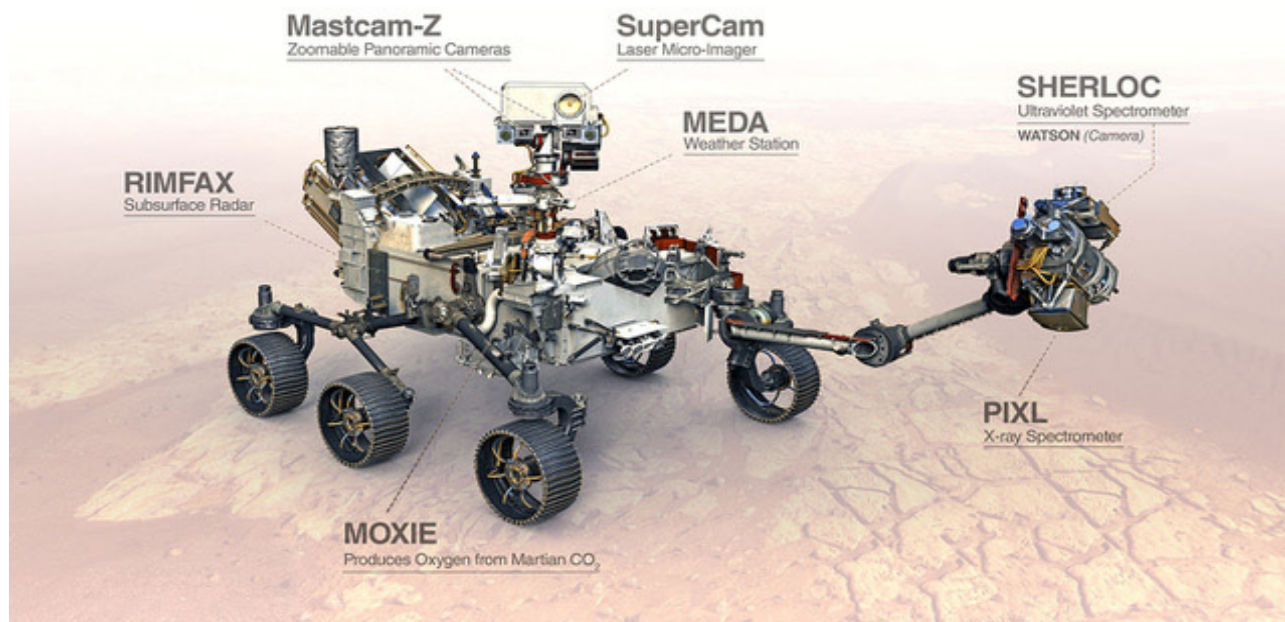


Figura 2. Detalle y ubicación de los 7 instrumentos científicos que lleva el rover Perseverance (Crédito de la imagen: NASA/JPL-Caltech).

Son siete los instrumentos que Perseverance lleva a bordo (Fig. 2):

- (1) **Mastcam-Z**, un sistema avanzado de cámaras con el que toma imágenes panorámicas, estereoscópicas y con capacidad de hacer zoom. Se está empleando para el estudio de la mineralogía de la superficie, captura de fenómenos meteorológicos como los remolinos de polvo (conocidas como “*dust devils*”) y, junto a las cámaras de navegación (Navcams), para el control y manejo del rover.
- (2) **SuperCam**, un instrumento dotado de un láser y con el que se obtienen además imágenes para el análisis de composición química y mineralogía. Lleva también un micrófono con el que se estudian las propiedades acústicas de la atmósfera.
- (3) **PIXL** (*Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry*), situado en el brazo robótico, es otro analizador de la composición química de la superficie marciana mediante el empleo de un espectrómetro fluorescente de rayos-X que captura imágenes de alta resolución.
- (4) **SHERLOC** (*Scanning Habitable Environments with Raman and Luminiscense for Organics and Chemi-*

cals) que, también ubicado en el brazo robótico, persigue la detección de productos orgánicos y químicos mediante técnicas Raman y de luminiscencia empleando un láser ultravioleta. Incluye una cámara de alta resolución para capturar imágenes microscópicas a color de la superficie de Marte, denominado WATSON.

- (5) **MOXIE** (*Mars Oxygen ISRU -In Situ Resource Utilization- Experiment*), es un novedoso experimento con el que se pretende la obtención de oxígeno directamente a partir del dióxido de carbono de la atmósfera. Tecnología que de resultar exitosa sería empleada en futuras visitas humanas a Marte.
- (6) **RIMFAX** (*Radar Imager for Mars’ subsurFAce eXperiment*), se trata de un radar de penetración para el estudio del subsuelo de Jezero con una resolución a la escala del centímetro.
- (7) **MEDA** (*Mars Environmental Dynamics Analyzer*), formado por un conjunto de sensores para el estudio de las condiciones meteorológicas del medio ambiente y de las propiedades del polvo en suspensión en la atmósfera de Marte. En lo que sigue detallaremos las características de este último instrumento, contribuido por España a la misión (Rodríguez-Manfredi et al. 2021).

Desde que aterrizó en el lugar que se ha dado en denominar *Octavia E. Butler* en honor de la escritora de ciencia ficción estadounidense, el vehículo ha estado poniendo a punto sus sistemas y dando apoyo a los vuelos del helicóptero, esencialmente.

A los pocos días tras el aterrizaje, el software del ordenador del *rover* que le había llevado desde nuestro planeta hasta la superficie marciana, fue sustituido por una nueva versión especialmente diseñada para el control de los instrumentos y demás sistemas, quedando preparado para llevar a cabo las diversas investigaciones previstas sobre la superficie.

Así, en los casi 100 soles que lleva operando sobre la superficie marciana, todavía no ha tenido la oportunidad de recorrer una gran distancia (apenas unos pocos centenares de metros), pero ha realizado numerosas actividades de calibración de cada sistema, y comenzado el análisis de la mineralogía del entorno mientras esperaba pacientemente la conclusión de la campaña de vuelos de *Ingenuity*.

LA CONTRIBUCIÓN ESPAÑOLA A LA MISIÓN

La exitosa relación entre la comunidad científica española y NASA se remonta a bastantes décadas a través de varias misiones.

En concreto, nuestro país participa en esta última misión de NASA para la exploración de Marte de una manera muy activa y destacada, tanto de manera científica, como tecnológica:

- (1) con la **antena de alta ganancia** que *Perseverance* emplea para comunicarse con la Tierra, desarrollado por Airbus CASA Espacio - CDTI (como también hace *Curiosity* con un sistema similar desarrollado por la misma compañía);
- (2) con el **sistema de calibración** que el instrumento franco-americano *SuperCam* usa para ajustar las imágenes y los espectros que registra, desarrollado por la Universidad de Valladolid, Universidad del País Vasco, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, la Universidad de Málaga, el Instituto de Geociencias, la Universidad Complutense de Madrid, y la empresa Added-Value-Solutions; y
- (3) con el mencionado instrumento **MEDA**, liderado por el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial – Centro de Astrobiología, y que ha contado con la

participación de un amplio consorcio internacional compuesto por CSIC, la Universidad de Alcalá, la Universidad Politécnica de Cataluña, la Universidad Politécnica de Madrid, la Universidad del País Vasco, la Universidad de Sevilla y el Instituto de Microelectrónica de Sevilla, como socios nacionales, así como el Jet Propulsion Laboratory, Finnish Meteorological Institute, NASA Goddard Space Flight Center, Cornell University, Carnegie Institution, University of Michigan, Space Science Institute, Lunar and Planetary Institute, Aeolis Corporation, Southwest Research Institute, John Hopkins APL, y la Università degli Studi di Padova como centros de investigación internacionales. Además, ha contado con la importante participación de las empresas Airbus-CRISA, Added-Value-Solutions (A-V-S), y ALTER Technology.

Como mencionábamos anteriormente, MEDA es la estación meteorológica más avanzada hasta el momento que estudiará la atmósfera marciana y el polvo que cubre la superficie. Conocer la dinámica atmosférica, y cómo son y se comportan las finas partículas de polvo, resulta de especial interés para NASA y la comunidad científica planetaria, no solo para entender el Marte actual o su evolución en el pasado, sino por las importantes implicaciones que tiene en la planificación y el diseño de las futuras misiones tripuladas.

Estos finos aerosoles juegan un papel más importante en la atmósfera marciana que el que tienen el vapor de agua o las nubes en nuestra Tierra, pudiendo incluso llegar a cubrir Marte enteramente con una macro tormenta planetaria de polvo. Las lecturas de los distintos sensores del instrumento nos permitirán caracterizar las propiedades físicas y ópticas de estas finas partículas, estimar la abundancia de éstas en suspensión en cada instante, entender la distribución de tamaños y su forma, así como las condiciones que deben darse para que sean elevadas y puestas en suspensión con tanta facilidad, y cómo estas propiedades se relacionan con los ciclos meteorológicos que acontecen en el planeta.

Para todo ello, el instrumento está compuesto en realidad por 6 sensores independientes que han sido especialmente diseñados, construidos y ubicados en el vehículo para registrar regular e ininterrumpidamente ciertos parámetros ambientales presentes en el entorno del *rover* (Fig. 3.):

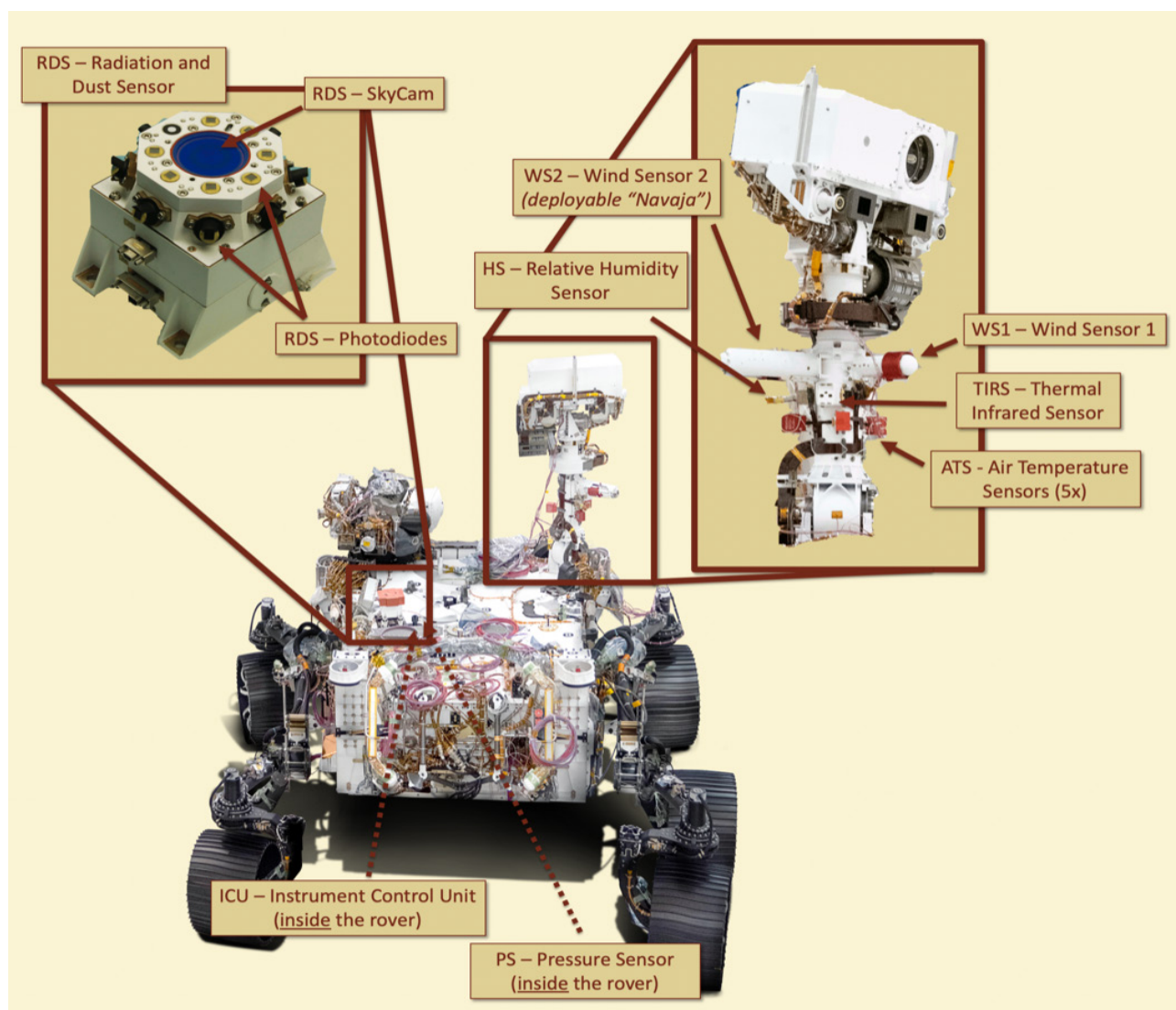


Figura 3. Detalle de los sensores de MEDA, ubicados sobre el rover Perseverance (Crédito de la imagen: NASA/JPL/INTA).

- las propiedades del polvo en suspensión, como comentábamos (mediante el sensor *Radiation and Dust Sensor* y la cámara *SkyCam*, dedicada a la observación exclusiva del cielo marciano -Fig. 4),
- la presión atmosférica (*Pressure Sensor*),
- la humedad relativa (*Humidity Sensor*),
- la temperatura del aire a cuatro alturas (*Air Temperature Sensor*),
- el balance de radiación térmica de la superficie (*Thermal IR Sensor*),

- la velocidad y dirección tridimensional de los vientos (*Wind Sensor*),
- y los ciclos de radiación solar (a través del sensor de radiación).

En suma, los datos que el instrumento MEDA proporcione, conjuntamente con los obtenidos de manera simultánea por los otros instrumentos operados por el INTA-CAB (los instrumentos *REMS -Rover Environmental Monitoring Station-* a bordo del rover *Curiosity*,

en Marte desde 2012 (*Gomez-Elvira et al. 2012*), y *TWINS -Temperature and Winds for InSight-*, en la misión *InSight*, y en Marte desde 2018), nos ayudarán a lograr un mayor y mejor entendimiento de la atmósfera marciana, de su dinámica y balance energético, así como de las posibles implicaciones que la meteorología y el clima local puedan tener sobre las formas de vida que pudieran haber existido (o ¿existan?) en el planeta.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha llevado a cabo en el Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, bajo contrato con National Aeronautics and Space Administration (80NM0018D0004).

REFERENCIAS

- K.A. Farley et al., Mars 2020 Mission Overview. *Space Sci. Rev.* 216:8 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00762-y>
- F.J. Gomez-Elvira et al., REMS: the environmental sensor suite for the Mars Science Laboratory rover. *Space Sci. Rev.* 170, 583–640 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11214-012-9921-1>
- J.A. Rodriguez-Manfredi et al., The Mars Environmental Dynamics Analyzer, MEDA. A Suite of Environmental Sensors for the Mars 2020 Mission. *Space Sci. Rev.* 217:48 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00816-9>

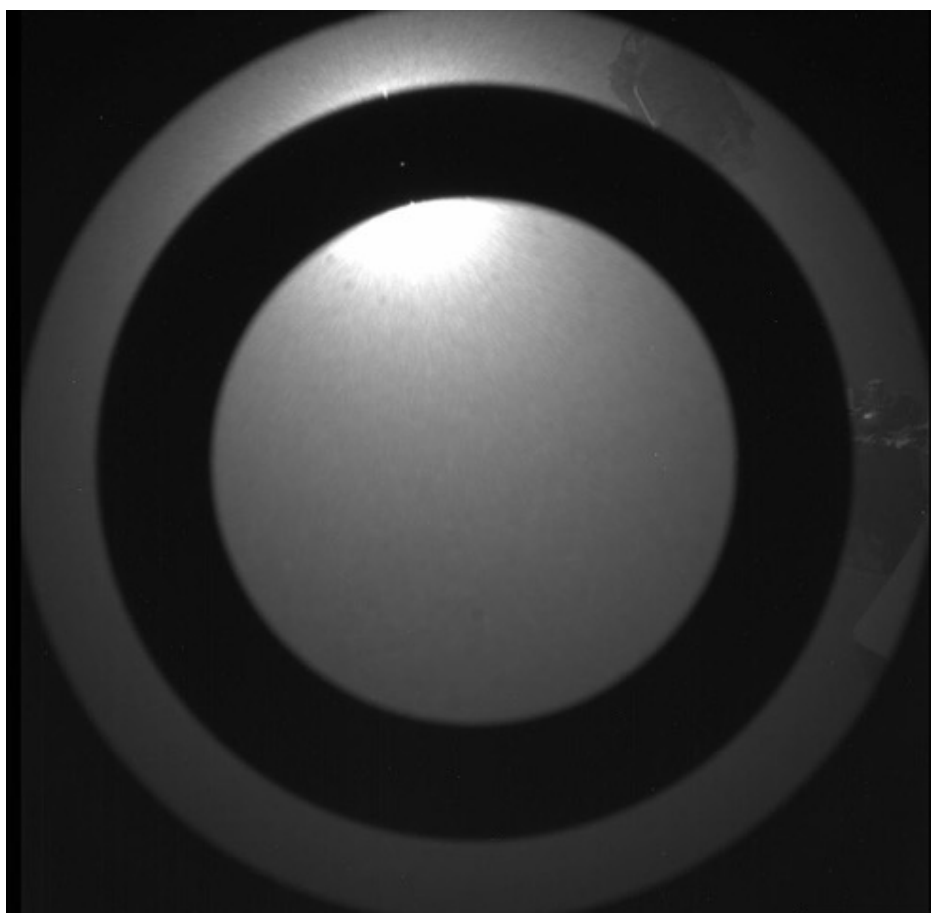


Figura 4. Imagen del cielo marciano tomada por la cámara del instrumento MEDA, en la que el sol queda oculto tras el anillo-máscara de densidad neutra (Crédito de la imagen: NASA/JPL/INTA).