

## LA MISIÓN MARS 2020. RETOS EN EL PLANETA ROJO

Javier Laserna

Catedrático de Química Analítica, UMA LaserLab. Universidad de Málaga

Marte ha sido objeto de nuestra atención desde tiempos inmemoriales. Su singular color rojizo en el firmamento, su relativa proximidad a nuestro planeta y las observaciones primitivas a partir de la invención del telescopio han creado un mundo irresistible a nuestra imaginación. Con el comienzo de la era espacial, muchos de nuestros esfuerzos se han dirigido a comprender las peculiaridades del Planeta Rojo utilizando nuestros mejores sistemas de observación.

El Planeta Rojo ha sido el objetivo de muchas agencias espaciales no sólo porque es relativamente accesible, sino también por su singular interés científico. De un lado, Marte en la actualidad es un mundo muy activo con muchas similitudes con la Tierra. De otro, su geología muestra que a lo largo de su historia Marte ha visto una era propicia para la existencia de ríos y lagos, glaciaciones e incluso períodos con una atmósfera con gran parecido a la de la Tierra en su momento.

Estas diferentes épocas y sus peculiaridades son la razón por la que Marte sigue siendo el objetivo de muchas agencias espaciales, ya que evocan la posibilidad de una habitabilidad pasada y una sucesión de cambios climáticos espectaculares. En la actualidad, Marte está siendo estudiado por no menos de ocho orbitadores y examinado localmente con cuatro rovers operativos. La figura 1 resume las misiones que han aterrizado en su superficie.

La Tierra y Marte tienen unas condiciones atmosféricas muy diferentes tanto por la presión como por la composición y presentan diferencias significativas en tamaño, gravedad, ciclo orbital y distancia al Sol, entre otros parámetros.

La figura 2 resume las condiciones comparadas de la Tierra y Marte. Como se observa, la Tierra es un planeta sensiblemente más grande, que está situado a una unidad astronómica (UA) del Sol. Las temperaturas medias en la superficie de nuestro planeta son superiores a las de Marte, que está situado a

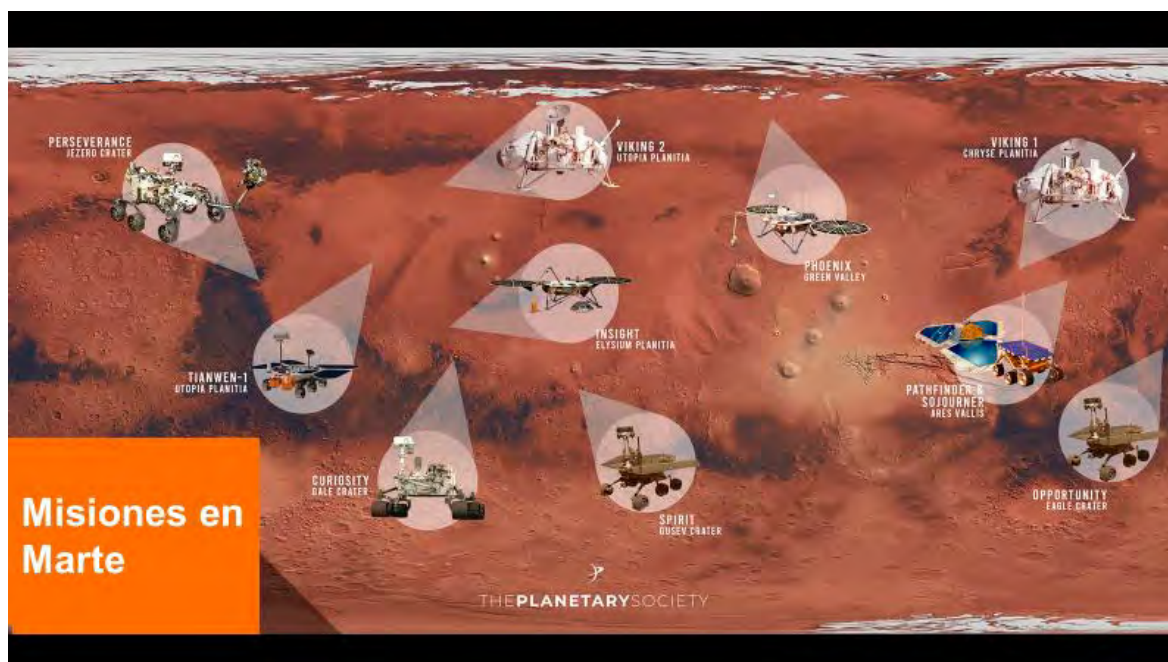


Figura 1. Misiones que han aterrizado en Marte desde el comienzo de la era espacial. Cortesía de The Planetary Society.

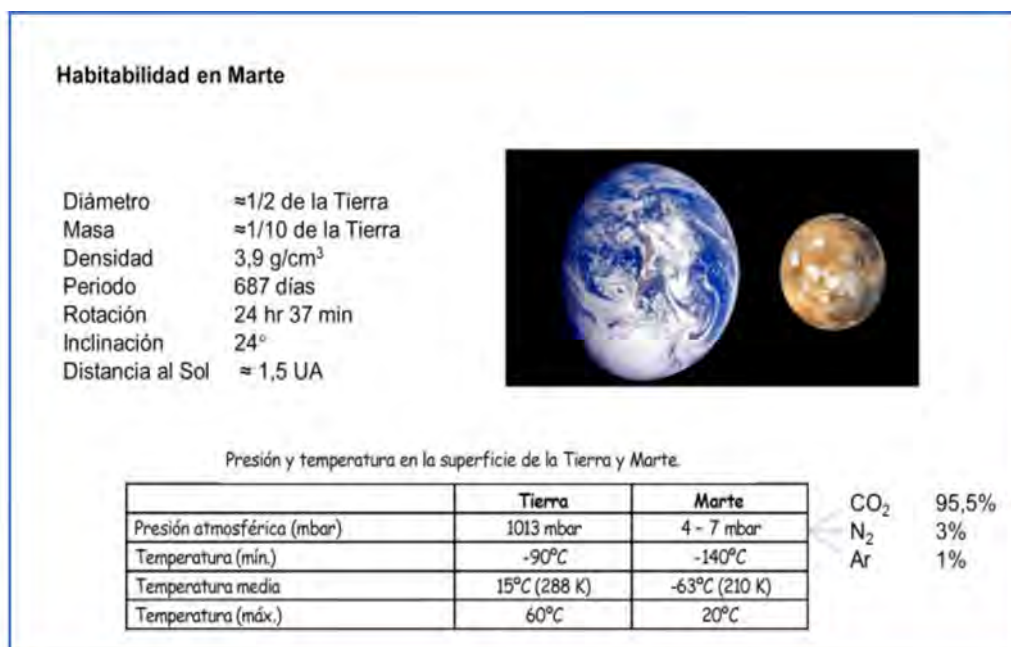


Figura 2. Condiciones de habitabilidad comparadas de la Tierra y Marte. Datos de presión y Temperatura. Cortesía de C. Córdoba, INTA.

1,5 UA del Sol. Un año solar equivale a 687 días y el día -que es conocido en el ámbito de la exploración planetaria como sol- en Marte dura 24 horas y 37 minutos. La presión es aproximadamente 100 veces menor que la presión de la Tierra, en tanto que la composición es dióxido de carbono en un 95,5% y nitrógeno en un 3%.

A pesar de las numerosas observaciones -o más bien a causa de estas- los enigmas referentes al planeta Marte son cada vez más numerosos. ¿Hay evidencia de agua líquida en la actualidad? ¿La hubo en el pasado? ¿Es el metano encontrado en misiones anteriores una biofirma de la actividad actual del subsuelo? ¿Por qué existen tormentas de polvo que cubren todo el planeta? ¿Por qué se forman tormentas algunos años y otros no? ¿Qué pasó en Marte hace 4 mil millones de años? ¿Por qué Marte evolucionó de una forma tan diferente a la Tierra? Y yendo aún más lejos, ¿hubo vida en Marte en algún momento, y si la hubo, ¿cómo surgió y de qué forma evolucionó? ¿Podría el planeta ser visitado por los seres humanos en un plazo de tiempo razonable? Las preguntas son innumerables y muy a menudo paradigmas que solían estar bien asentados en el conocimiento científico se ven desplazados por los hallazgos de las nuevas misiones de exploración y las

observaciones efectuadas sobre el terreno.

En este contexto, la misión más reciente de la NASA a Marte se caracteriza por cuatro grandes objetivos científicos dirigidos a responder algunas de estas preguntas. La figura 3 resume estos objetivos. Se trata de una empresa de enorme complejidad técnica y científica que casi un año y medio después de su comienzo está funcionando tal como se diseñó.

La misión fue lanzada el 30 de julio de 2020 desde Cabo Cañaveral en Florida y la nave aterrizó en la superficie de Marte el 18 de febrero de 2021. El lugar de aterrizaje se eligió después de un minucioso análisis de las distintas opciones con la idea de satisfacer los objetivos de la misión. Muy especialmente, el lugar de aterrizaje debería ofrecer la posibilidad de haber albergado agua en el pasado, cuando Marte era un planeta húmedo y cálido como la Tierra en la que surgió la vida hace cerca de 4000 millones de años.

El lugar de aterrizaje elegido fue finalmente el cráter Jezero, un cráter de impacto de aproximadamente 50 km de diámetro situado en el borde noroccidental de la Isidis Planitia en el hemisferio norte del planeta. En la figura 4 también se ofrece un listado de los criterios empleados para la selección de este



Figura 3. Objetivos científicos de la misión MARS 2020 de la NASA a Marte. Imagen cortesía de JPL/CalTech/NASA.

lugar. Lo más singular del cráter Jezero es que las observaciones orbitales apuntaban a que en algún momento de la historia geológica de Marte el cráter fue un lago según nuestro familiar concepto de este tipo de masa acuática. Este lago se desecó cuando se produjo un cambio climático extensivo en Marte en torno a unos 4000 millones de años atrás. El cráter se

caracteriza por dos valles de entrada de agua y un valle para la salida, y por la existencia de un delta fluvial según se puede observar en la figura 5. En la Tierra, este tipo de formaciones geológicas se asocian a menudo a la existencia de vida, razón fundamental para la elección de este lugar de aterrizaje.

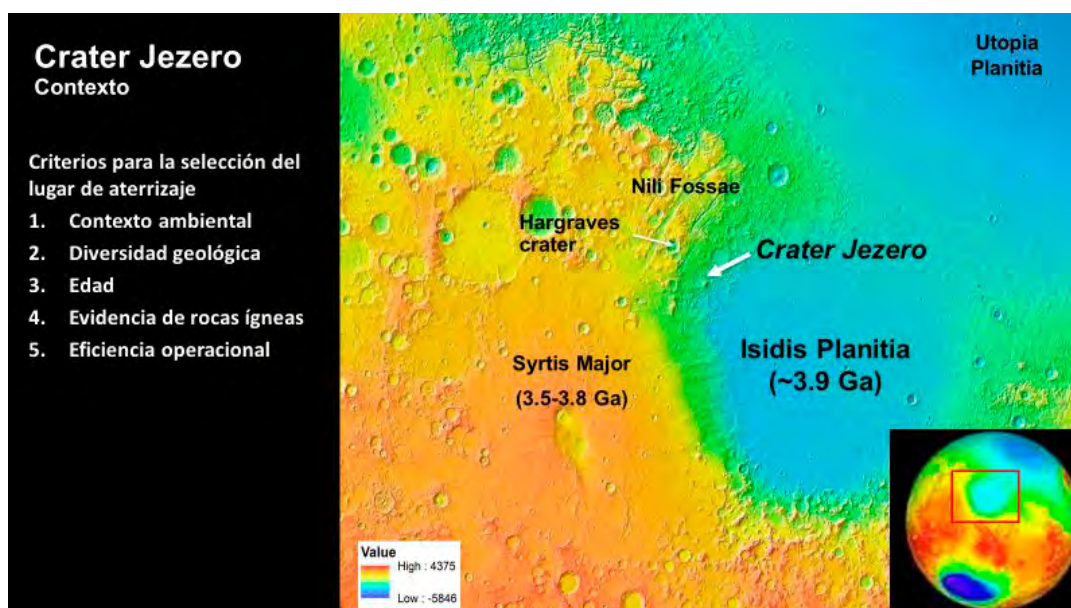


Figura 4. Plano de situación del cráter Jezero, lugar de aterrizaje de la misión Mars 2020. Cortesía de JPL/CalTech/NASA.

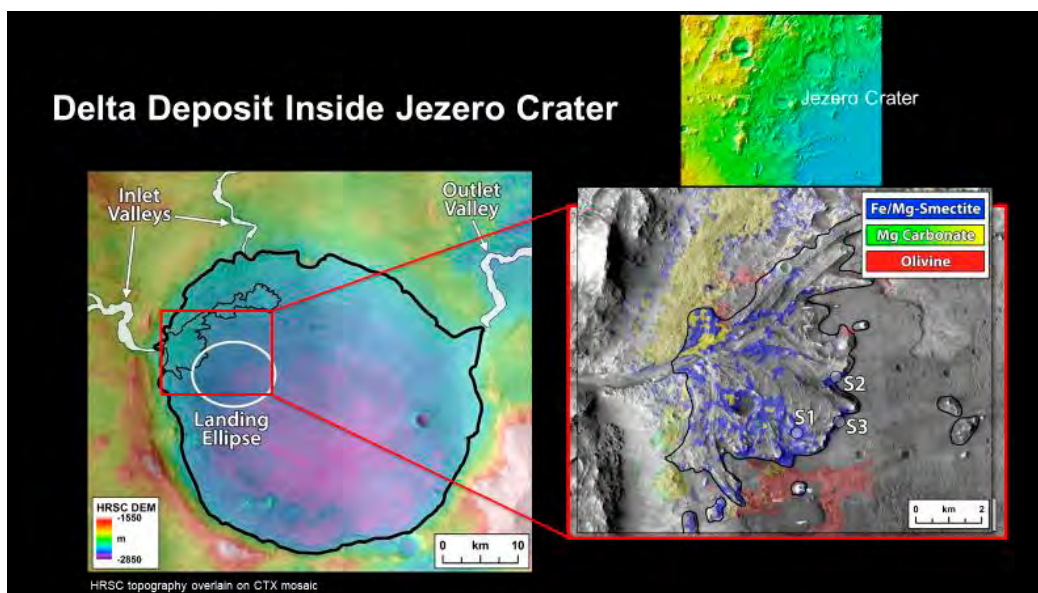


Figura 5. Diagrama esquemático del cráter Jezero y fotografía satelital del delta fluvial. Las cámaras IR de observación del satélite Mars Reconnaissance Orbiter permiten identificar la presencia de esmectitas, carbonatos y olivino en diversas zonas del delta. Cortesía de JPL/CalTech/NASA.

El rover Perseverance transportado por la misión, dispone de una amplia dotación de instrumentos, con múltiples capacidades operativas y una variedad de demostradores de tecnología. Estos últimos sirven como punto de partida para futuras expediciones humanas, incluyendo sistemas de aterrizaje más seguros y métodos para la producción de oxígeno a partir de la atmósfera marciana. La figura 6 muestra un resumen de los instrumentos a bordo del

Perseverance. El rover además dispone de un sistema robotizado para la toma, encapsulado y almacenaje de muestras de rocas, que deberán ser traídas a la Tierra en una futura misión. Estas muestras serán analizadas para la búsqueda de vida y de otras características de las muestras en los laboratorios de la Tierra, con toda la potencia de análisis existente y a desarrollar en tanto la misión de retorno de muestras concluye.



Figura 6. Instrumentos a bordo del rover Perseverance con un listado de las técnicas.

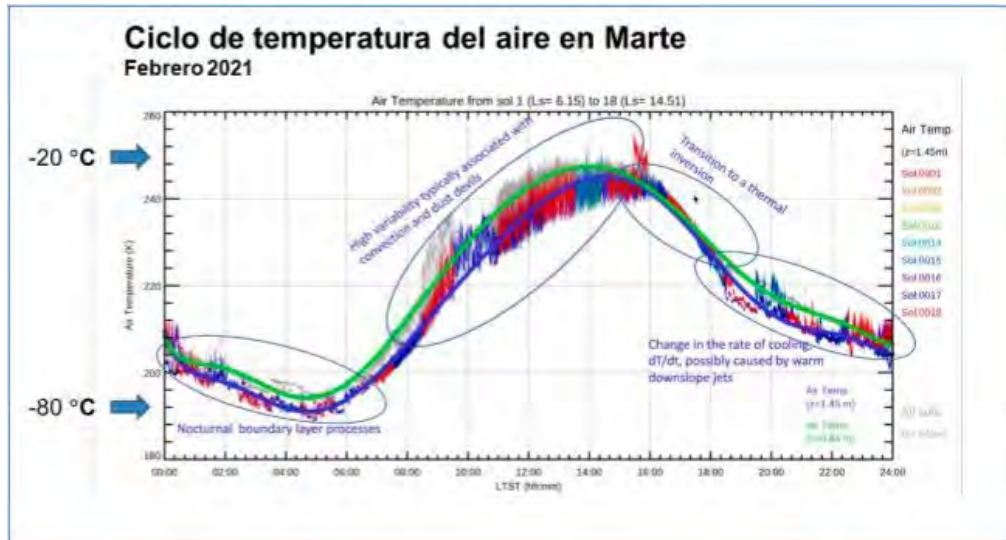


Figura 7. Ciclo de temperatura a lo largo de un día en Jezero medido con la estación meteorológica, MEDA a bordo del rover Perseverance. Cortesía de JPL/CalTech/NASA.

Uno de los instrumentos de mayor relevancia en el rover es la estación meteorológica MEDA. Este sistema de fabricación española constituye una de las piezas capitales para conocer la presión, temperatura, humedad, viento y otros parámetros ambientales del lugar de aterrizaje, cuyo conocimiento es esencial para las mediciones efectuadas con el resto de los instrumentos. Conocer el clima marciano es importante para las futuras misiones de exploración humana del planeta. La figura 7 muestra la variación de la temperatura en Jezero. Otro instrumento significativo de la misión es el denominado MOXIE, que es un

demostrador de tecnología diseñado para la producción de oxígeno a partir del dióxido de carbono atmosférico. El instrumento ha funcionado hasta la fecha según lo previsto y ha producido cantidades significativas de oxígeno. La cantidad de oxígeno producido es una prueba de que esta tecnología funciona. Sin embargo, el oxígeno producido no sería suficiente para el consumo que requeriría un astronauta a lo largo de una campaña de exploración, digamos 1 año. La figura 8 muestra un diagrama del instrumento y algunos datos ilustrativos de su funcionamiento.

**MOXIE**

April 2021:  
5.6 g O<sub>2</sub> (pureza 99%) en 1hr (+2 hr warmup)

Contexto:  
Necesidad de un astronauta 700 g/día  
4 astronautas, 1 año → 1 tonelada

Figura 8. Diagrama de MOXIE con una imagen de su ensamblaje en Jet Propulsion Laboratory con algunos datos ilustrativos de su funcionamiento. Cortesía de JPL/CalTech/NASA.

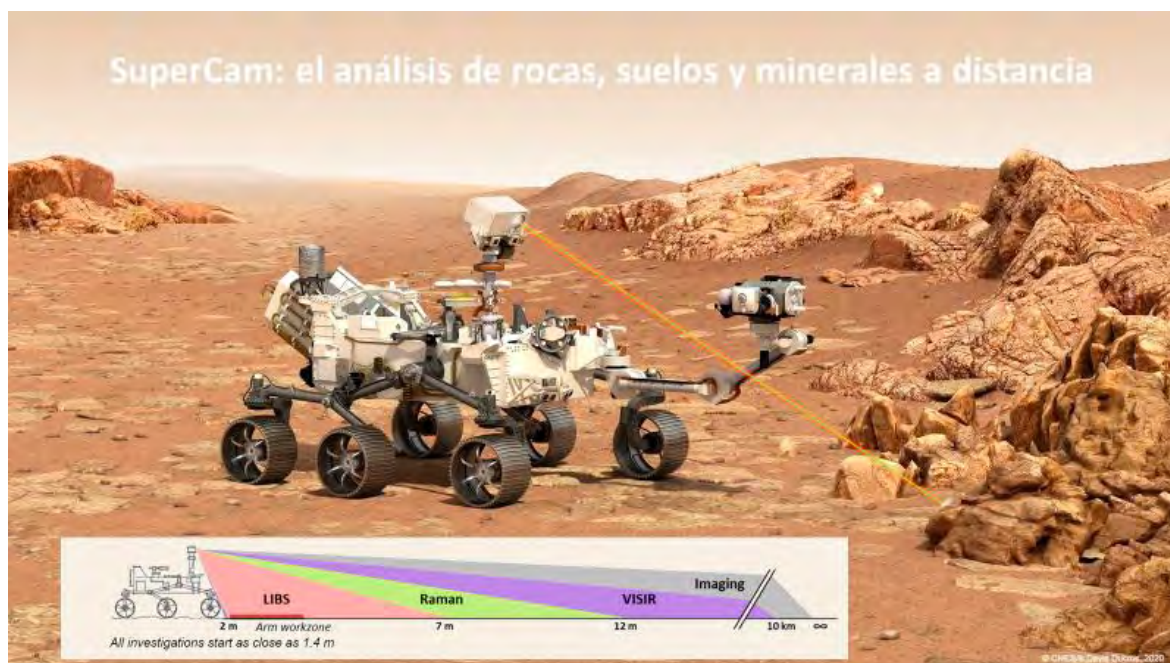


Figura 9. Infografía del principio de trabajo del instrumento SuperCam. Cortesía de CNES.

Probablemente, el sistema más importante de la misión sea el llamado instrumento SuperCam. Este instrumento es un sistema de sistemas que incorpora un conjunto de técnicas analíticas incluyendo espectroscopia Raman, espectroscopia de fluorescencia molecular, espectroscopia de reflectancia infrarroja y espectroscopia de plasmas inducidos por láser. Además, incorpora una cámara de visión de larga distancia y un micrófono. Estas técnicas tienen la característica de poder medir la composición de las rocas y los suelos marcianos a distancia del rover.

En un entorno agresivo, de orografía compleja, con una gran variedad de obstáculos y en gran medida desconocido como el que se encuentra en la traza del rover, disponer de una técnica capaz de analizar suelos sin la necesidad de un contacto físico es de un gran valor instrumental y permite acceder a muestras que de otra forma serían imposibles de analizar. La figura 9 muestra una infografía del principio de trabajo del instrumento SuperCam.

Un hallazgo de gran ascendencia en la misión ha sido proporcionado por las cámaras de visión a larga distancia del rover, que han permitido identificar la presencia de cantos rodados en las zonas altas del delta. En términos geológicos esta observación significa que los fenómenos de descargas acuáticas de alta

energía se produjeron de forma sucesiva en las zonas donde se produjo una disminución brusca de la velocidad de flujo. La figura 10 muestra imágenes de los cantos rodados en las zonas altas del delta.

La espectroscopia de plasmas inducidos por láser (LIBS) es la técnica analítica capaz de medir la composición atómica de los materiales geológicos de Marte. Esta técnica ha permitido conocer la existencia de rocas ígneas en el fondo del cráter en las proximidades del lugar de aterrizaje del rover y la presencia de minerales como olivino en zonas próximas, además de carbonatos y la existencia de trazas de materia orgánica incluidas en algunas de las rocas de la zona del delta. Estos hallazgos son de enorme trascendencia puesto que dan una idea muy definida de la forma en que se produjeron los acontecimientos geológicos hace miles de millones de años en el cráter.

El micrófono existente en el instrumento SuperCam ha permitido, junto con otro micrófono situado en el chasis del rover, medir entre otros parámetros la velocidad de propagación del sonido en Marte, algo hasta la fecha desconocido. Un micrófono operativo en un planeta diferente a la Tierra es la primera vez que funciona de manera consistente.



Figura 10. Imágenes grabadas por las cámaras del rover que permiten la identificación de cantos rodados en el delta. Adaptado de Mangold et al., Science, 2021.

Las medidas de la velocidad de propagación del sonido proporcionan un dato de 240 metros por segundo, que es significativamente más pequeño que el de la propagación del sonido en la Tierra. Además, se ha encontrado que las bajas frecuencias se transmiten mejor que las frecuencias altas en el entorno atmosférico de dióxido de carbono de Marte, a diferencia de lo que ocurre en la Tierra, en que las frecuencias en la zona audible

se transmiten con eficiencias parecidas. La figura 11 muestra algunos datos del espectro de frecuencia del sonido.

El Laboratorio Láser de la Universidad de Málaga -UMA LaserLab- trabaja desde los comienzos de la misión en varias fases del desarrollo instrumental y científico del rover Perseverance. Una de las facetas de este trabajo ha sido la caracterización del sistema de

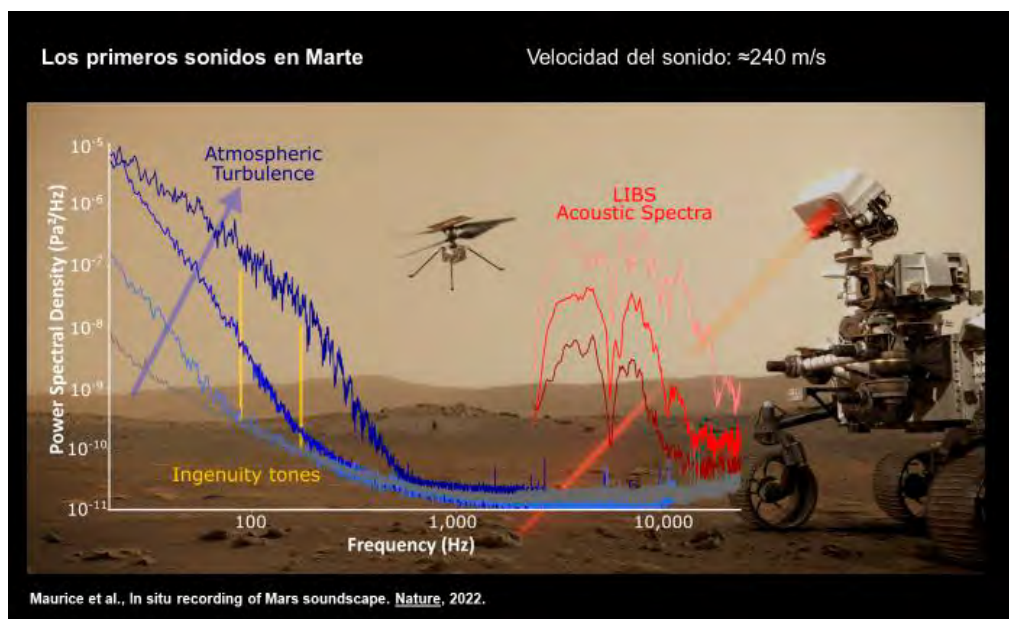


Figura 11. Espectro de frecuencia del sonido en Marte. Adaptado de Maurice et al. Nature, 2022.

calibración del sistema LIBS de SuperCam que opera en Marte.

El laboratorio está dotado de una infraestructura única en su género para simular las condiciones en que el análisis se puede efectuar en Marte. Se trata de una cámara de vacío térmico que permite reproducir la presión, composición y temperatura de la atmósfera en Marte. La figura 12 muestra una fotografía de la cámara.

Entre los objetivos del trabajo de UMA LaserLab en la misión se pueden citar: (1) simular las condiciones de análisis del instrumento SuperCam: LIBS, Raman, micrófono; (2) comparar los datos obtenidos por el rover en Marte con los obtenidos en laboratorio; (3) ayudar en la interpretación de la geología y habitabilidad de Marte; (4) efectuar experimentos de laboratorio para avanzar en las estrategias de análisis; (5) diseñar nuevas estrategias de análisis químico para exploración

planetaria; (6) participar en los turnos de seguimiento de la misión.

En conclusión, la misión MARS 2020 de la NASA a Marte progresa según lo previsto con el rover y los instrumentos de medición funcionando de manera nominal. Existe aún gran variedad de actividades que desarrollar, en tanto que el equipo científico de los diferentes laboratorios que participan en la misión se desempeña en la interpretación de los datos que de forma intensiva son suministrados por el conjunto de instrumentos del rover. La misión está diseñada para una duración de dos años marcianos, pero si todo funciona correctamente, podrá extenderse en sucesivos periodos a determinar por la agencia espacial americana. El siguiente paso será el envío de una misión para la recuperación de las muestras recogidas por el rover para traerlas a la Tierra, cuyo regreso según las últimas estimaciones no se producirá antes de 2032.



Figura 12. Imagen de la cámara de vacío térmico del laboratorio UMA LaserLab que permite reproducir la presión, composición y temperatura de la atmósfera en Marte.