

# BAROMETRÍA DEL CRÁTER JEZERO, MARTE EN BASE A DATOS DEL ROVER PERSEVERANCIA DE LA NASA

Julio Carlos Bertua Marasca • Homer Dávila Gutiérrez • Josué Ismael Mosquera Hadatty  
Máster Universitario en Astrofísica y Astronomía, Universidad Internacional de la Rioja

## Resumen

El análisis estadístico de las mediciones de la presión atmosférica en el cráter Jezero capturadas por la estación meteorológica MEDA a bordo del robot Perseverancia de la NASA son consistentes con observaciones de los patrones climáticos del planeta rojo, donde debido a la estacionalidad, la inclinación axial, y a las condiciones geomorfológicas, y atmosféricas, muestran una variabilidad de la presión atmosférica. Durante el Sol 504 se observó un aumento de la presión atmosférica a pesar de que esta fecha coincide con el solsticio de invierno. El efecto que produce el polvo en la presión es significativo y suele también estar apoyado por el efecto de mareas térmicas que hace que la presión varíe diariamente y también mensualmente.

## Introducción

A continuación, se presenta un estudio de las condiciones climáticas imperantes en el cráter marciano Jezero. Este análisis meteorológico se basa únicamente en las condiciones barométricas que se presentan en el cráter Jezero. Los datos para el estudio han sido tomados por la estación meteorológica MEDA que se encuentra a bordo del rover Perseverancia de la NASA el cual amartizó en febrero del año 2021. El presente informe tomó como objeto de estudio los registros barométricos de los soles 182, 361, 504 y 658, los cuales representan una pequeña muestra de la variabilidad de la presión atmosférica en las cuatro estaciones marcianas. Así mismo se comparan estos datos con los obtenidos por el robot *Curiosity* que se encuentra

en el hemisferio Sur muy cerca de la región ecuatorial.

## Materiales y métodos

Se emplearon datos del repositorio PDS<sup>1</sup> de Laboratorio de Propulsión Jet de la NASA. Estos datos fueron analizados en Python 3.14. con los cuales se generaron cuatro gráficas que muestran la variabilidad de la presión atmosférica.

Debido a que en ciertos momentos en cada uno de los soles marcianos existen "vacíos", se realizó un promedio por cada grupo de 5 minutos.

Hay que recordar que aunque un estudio más detallado de las variaciones barométricas con datos de Perseverancia es posible en el cráter Jezero, estas solo pueden ser tomadas como parámetros generales, pero no pueden extrapolarse directamente al planeta por completo debido a que las mediciones de dicha estación están afectas por condiciones muy locales, como la geomorfología del cráter, la altitud a la que se encuentra el robot, la latitud del cráter y el clima regional. Así por ejemplo, Jezero se encuentra realmente cerca de la región ecuatorial (Verna, V et al. 2024) y estas condiciones son diferentes a las que pueden presentarse en las altas o bajas latitudes, ya que se está bajo una fuerte influencia de la congelación y sublimación del CO<sub>2</sub>. (Mischnna, M. 2020).

## Análisis y discusión de resultados

**Generalidades.** La presión barométrica o atmosférica es la presión que ejerce la columna de aire de la atmósfera planetaria sobre la superficie del planeta.

<sup>1</sup> Véase

[https://atmos.nmsu.edu/PDS/data/PDS4/Mars2020/mars2020\\_meda/data\\_derived\\_env/](https://atmos.nmsu.edu/PDS/data/PDS4/Mars2020/mars2020_meda/data_derived_env/)

Según sabemos en la actualidad, la presión atmosférica media marciana es de tan solo 6,1 mbar (Centro de Astrobiología CSIC-INTA, 2017); muy inferior a la terrestre, la cual según la medición más precisa a nivel del mar alcanza los 1013,25 tanto en milibares (mb) como en hectopascales (hPa). (NOAA, 2023).

A continuación se expone la variación barométrica para el cráter Jezero medida de forma instrumental *in situ* para los soles 182, 361, 504 y 658.

#### PRESIÓN ATMOSFÉRICA EN EL CRÁTER JEZERO, MARTE

	SOL			
	182	361	504	658
Mediciones utilizables	24093	64896	36939	69282
Media	715.66	653.11	784.65	726.18
Desviación Estándar	5.10	12.07	11.26	12.54
% Desv/Media	0.71	1.85	1.44	1.73
Presión Mínima	708.40	632.51	767.45	706.72
Hora del Mínimo	3:02	17:55	16:40	17:10
Presión Máxima	725.74	676.33	804.06	754.67
Hora del Máximo	7:20	7:57	21:47	7:45
Amplitud	17.34	43.82	36.61	48.33

Tabla no.1. Elaboración propia en base datos de NASA.

La tabla no.1. resume las mediciones de la presión atmosférica en el cráter Jezero sobresaliendo que durante el invierno se registran los valores **promedio** más bajos, esto puede comprenderse por el efecto relacionado a que en el **Sol 361** ocurre el equinoccio de invierno en el hemisferio Norte, y al recibir menos radiación solar, el CO<sub>2</sub> se congela y la columna de gases atmosféricos pesa menos.

Un fenómeno similar pero en sentido contrario ocurre durante el solsticio de invierno, es justo el momento del año en que la presión promedio es más alta, esto inducido por ser la transición e inicio del invierno en el hemisferio Norte marciano y por ende hay una mayor concentración de gases en la columna de aire. Hay que recordar que Marte posee un ángulo de inclinación axial de aproximadamente 25.2° (Jancke, D. et al. 2004), lo que sumado a la posición latitudinal del cráter Jezero de solo

18°33'N (Wimmer-Schweingruber, R. et al. 2020) hace que el clima local sea tipo ecuatorial, es decir, con un patrón moderado y con armónicos de marea que dan un comportamiento característico a la curva de presión. (Hernández, J. et al. 2024). Lo anterior también puede estar influenciado por el momento orbital del planeta, ya que para el Sol 504 el planeta se encontraba en su fase de **perihelio** y por tanto hay una mayor radiación solar (Hansen, C. et al. 2024); lo que permite una mayor cantidad de gases en la columna de aire.

El efecto de la radiación solar debido a la posición orbital de Marte puede verse en la figura no.1., donde Hansen, C. et al 2024 demostró que hay una influencia importante para el sol 504.

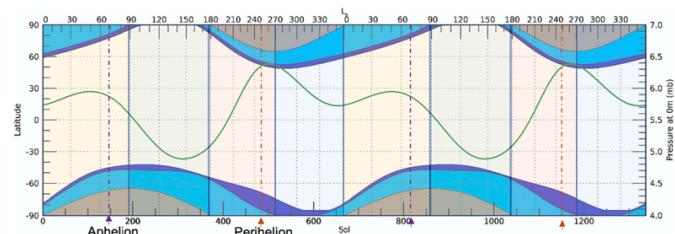


Figura no. 1. El ciclo de presión para dos años marcianos (verde, eje derecho) muestra dos caídas de presión por año. La primera es una caída importante en el verano del Norte, cuando el CO<sub>2</sub> se condensa y forma la capa estacional del sur. La segunda caída, más leve, se produce a finales del verano del Sur, cuando se forma la capa invernal del Norte. La presión atmosférica máxima coincide aproximadamente con el perihelio. El sombreado de color muestra la primavera (amarillo), el verano (verde), el otoño (naranja claro) y el invierno (azul) del norte. El sombreado gris muestra la extensión de la noche polar en latitud (eje izquierdo). El azul claro y el azul oscuro muestran las extensiones latitudinales mínima y máxima de las heladas estacionales, respectivamente (Titus, 2005), también conocidas como la línea crocus interna y externa. La curva de presión es de Tillman et al. (1993). Tomado Hansen, C. et al. 2024

Hernández et al. 2024 encontró que existen armónicos de marea para las variaciones de presión en un año marciano, tal y como lo muestra la figura no.2.

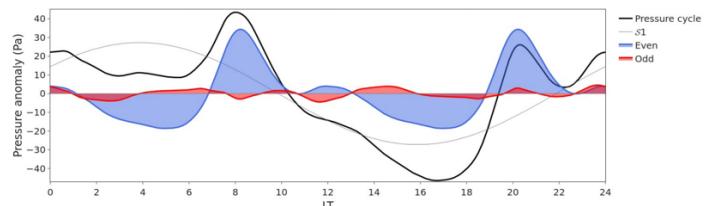
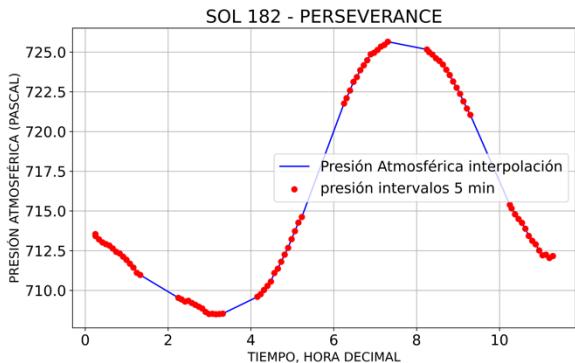


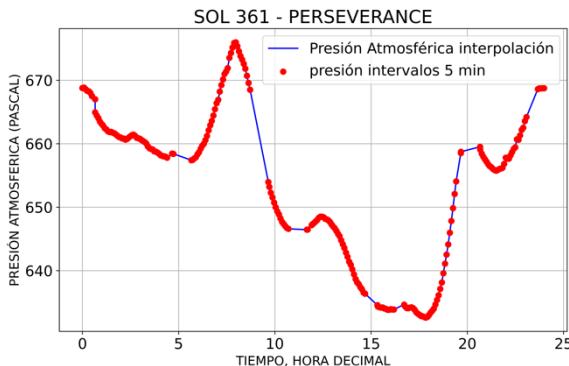
Figura no.2. Diferencias entre armónicos pares e impares de la presión atmosférica en base a la utilización de la Transformada Rápida de Fourier. Hernández et al. 2024

## Solsticio de verano



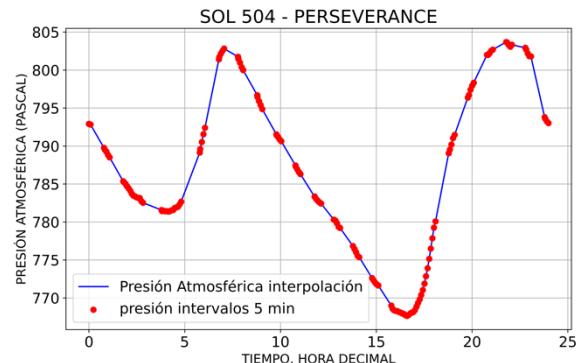
**Figura no. 3.** En color rojo la presión en base a los datos de MEDA, en color azul la interpolación para datos inexistentes. Durante el Sol 182 el hemisferio Norte se encuentra en el solsticio de verano y es coincidente de que la presión describa una curva casi gaussiana durante las horas del día cuando la radiación solar es mayor. Se detallan pocas mediciones utilizables, por lo que se justifica que el gráfico no abarque todo el día marciano. Elaboración propia en base datos recolectados por el MEDA de NASA. Desarrollado en Python versión 3.12.

## Equinoccio de invierno



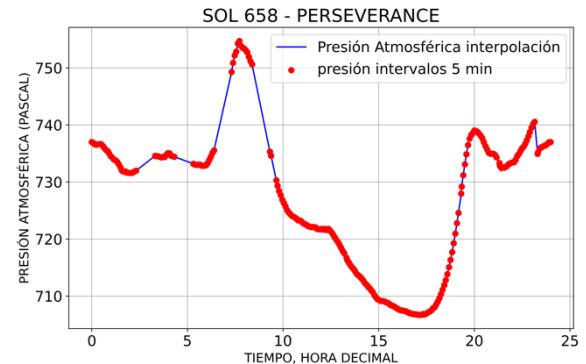
**Figura no. 4.** En color rojo la presión en base a los datos de MEDA, en color azul la interpolación para datos inexistentes. El descenso de la presión atmosférica es algo esperado durante el asentamiento del invierno en el hemisferio Norte, tal y como se aprecia en esta figura donde el equinoccio del invierno boreal está en su máximo apogeo. Elaboración propia en base datos recolectados por el MEDA de NASA. Desarrollado en Python versión 3.12.

## Solsticio de invierno



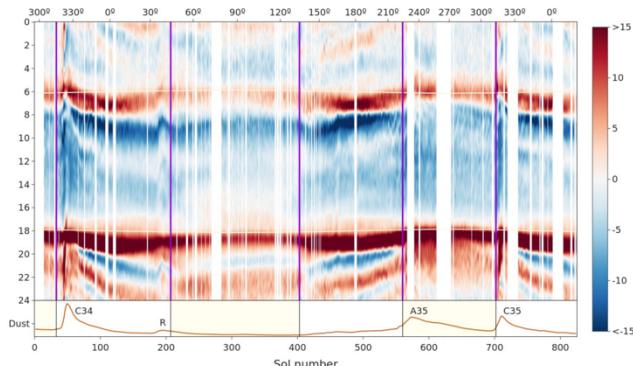
**Figura no. 5.** En color rojo la presión en base a los datos de MEDA, en color azul la interpolación para datos inexistentes. Uno de los fenómenos más interesantes con respecto a la variabilidad de la presión atmosférica en el cráter Jezero aparece durante el solsticio de invierno, donde como ya hemos indicado arriba, este fenómeno se ve influenciado por una multicausalidad. Elaboración propia en base datos recolectados por el MEDA de NASA. Desarrollado en Python versión 3.12.

## Equinoccio de primavera



**Figura no. 6.** En color rojo la presión en base a los datos de MEDA, en color azul la interpolación para datos inexistentes. Durante el equinoccio de primavera la tendencia general de la presión se asemeja a la del equinoccio de invierno pero con valores más altos, debido que no hay congelamiento del CO<sub>2</sub> ni tampoco sublimación. Elaboración propia en base datos recolectados por el MEDA de NASA. Desarrollado en Python versión 3.12.

Para comprender la variabilidad de presiones observada en los obtenidos por el MEDA, hay que entender que Marte es afectado comúnmente por tormentas de polvo y por los llamados diablos de polvo que también crean flujos turbulentos que alteran las mediciones de presión tal y como se muestra en la figura 7.



**Figura 7.** Climatología de la variación diurna de la presión ( $dP/dt$ ) en unidades de Pa/h. Las señales de alta frecuencia (con períodos inferiores a 3700 s) se han eliminado de la señal original antes de calcular la derivada. El amanecer y el atardecer se indican mediante curvas blancas alrededor de las 6 y 18 LT (hora solar real local). El contenido global de polvo calculado a partir de las climatologías de Montabone et al. (2015; 2020) se representa en el panel inferior y se indican los eventos de polvo. Las estaciones están delimitadas por líneas verticales y las estaciones de solsticio están sombreadas en amarillo pálido en el panel inferior (polvo). Tomado de Hernández, J et al. 2024.

## Conclusiones

Tras analizar la variabilidad de la presión atmosférica imperante en el cráter Jezero y teniendo como punto de comparación los hallazgos del estudio de la presión en el hemisferio Sur con los datos del robot o rover Curiosity es claro que la presión en Marte está afectada e influenciada por los siguientes elementos o fenómenos.

### 1. Variaciones de la temperatura

Gracias a que la atmósfera de Marte es menos densa que la de la Tierra, durante el día las regiones ecuatoriales y circundantes se calientan rápidamente, pero a la vez fácilmente pierden calor y se enfrian. Esto afecta significativamente la presión, y más aún durante la noche, ya que el aire se enfria más y más rápidamente, aumentando el peso de la columna de aire.

Se suma a ello que el planeta sufre cambios de estaciones originados por la inclinación del plano axial, esto conlleva a que Marte también posea estaciones climáticas, provocando que en las regiones polares el CO<sub>2</sub> se congele rápidamente, desencadenando un descenso global de la presión.

Durante el verano el hielo seco no pasa al estado líquido como ocurre en la Tierra, sino que se sublima y por consiguiente aumenta la presión atmosférica global. Todo esto mientras el planeta sigue perdiendo su atmósfera.

### 2. Efecto del polvo

Marte sufre reiteradamente la presencia de tormentas de polvo que suelen envolver todo el planeta en cuestión de semanas. Estas tormentas globales efectivamente influyen en la presión atmosférica, además de que crean un pequeño efecto de invernadero calentando la atmósfera, originando un cambio en la densidad del aire y la presión.

### 3. Mareas térmicas

Las mareas térmicas están debidamente documentadas y estas son las responsables de la oscilación de la presión a nivel regional. Este fenómeno se muestra en las figuras debido al descenso en las horas diurnas. También se presentan variaciones en el aumento de la presión en horarios nocturnos (figuras 4 y 6) de las cuales no se tienen aún explicaciones bibliográficas.

### 4. Geomorfología *in situ*

Como bien se indicó al inicio de este informe, las variabilidades de la presión está influenciada por las condiciones particulares de la topografía, tanto en el cráter Jezero como en el cráter Gale. Las corrientes de viento al chocar contra las paredes de estos cráteres o bien al encontrarse con las penillanuras, pues provocar la variabilidad de la presión. Es lógico pensar que la situación climática en un cráter o sobre la cima de una penillanura son particulares y comúnmente no pueden representar la situación general de un planeta, menos aún uno tan particular como el planeta rojo.

## Bibliografía

- Centro de Astrobiología (CSIC-INTA), 2017.  
<http://cab.inta-csic.es/7/atmosfera-de-marte/>
- Hansen, C. et al. A comparison of CO<sub>2</sub> seasonal activity in Mars' northern and southern hemispheres. Icarus. 2024. Doi  
<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2023.115801>
- Hernández, J. et al. High-Order Harmonics of Thermal Tides Observed un the Atmosphere of Mars by the Pressure Snesor on the Insight Lander. Geophysical Research Letters. AGU. Doi:  
<10.1029/2023GL107674>
- Jancke, D. et al. Imagin cortical correlates of illusion in early visual cortex. Nature. 2024. Doi  
<10.1038/nature02396>
- Mischna, M. The role of atmospheric pressure on Mars surface properties and early Mars climate modeling. Icarus, volume 342, 15 de mayo de 2020, 113496. Doi  
<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.113496>
- National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA-. Air Pressure. 2023.  
<https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/air-pressure>
- Verna, V. Enabling Long and Precise Drives for The Perseverance Mars Rover via Onboard Global Localization. Jet Propulsion Laboratory, NASA. [https://www-robotics.jpl.nasa.gov/media/documents/2024\\_Global\\_Localization\\_IEEE\\_Aero.pdf](https://www-robotics.jpl.nasa.gov/media/documents/2024_Global_Localization_IEEE_Aero.pdf)
- Wimmer-Schweingruber, R. et al. The Luna Lander Neutron and Dosimetry (LND) Experiment on Chang'E 4. Springer Nature. Doi  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11214-020-00725-3>