

Estudio del polvo en la atmósfera de Marte mediante las cámaras de ingeniería del rover Mars Science Laboratory

Autor: Hao Chen-Chen (hao.chen@ehu.eus)

Tesis doctoral dirigida por: Agustín Sánchez-Lavega y Santiago Pérez-Hoyos

Centro: Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

Fecha de lectura: 11 de julio de 2019

Las atmósferas planetarias diferentes a la de la Tierra pueden actuar como laboratorios naturales donde evaluar las diversas hipótesis y teorías, contribuyendo a un mejor entendimiento de los mecanismos que controlan los sistemas climáticos. La caracterización de la evolución de la atmósfera de Marte y su clima es esencial para averiguar si en el pasado pudo reunir las condiciones ambientales necesarias para albergar vida.

Las partículas de polvo suspendido juegan un papel fundamental en la atmósfera marciana: su interacción con la radiación solar incidente modifica el campo de temperaturas de la atmósfera y afecta a su dinámica; esto a su vez redistribuye el polvo, dando lugar a un sistema radiativo-dinámico complejo. Por ello, la determinación de la distribución del polvo y de sus propiedades físicas es de gran relevancia para los modelos climáticos y de circulación atmosférica de Marte, siendo uno de los principales objetivos científicos en las misiones de exploración. Durante las últimas décadas se ha acumulado una gran cantidad de observaciones obtenidas desde órbita y superficie, donde tiene una gran importancia la información conseguida por las mediciones efectuadas *in situ* por *landers* y *rovers*.

El objetivo de la misión Mars Science Laboratory (MSL) es analizar el entorno del cráter Gale en busca de evidencias de habitabilidad. Además de cámaras científicas, el rover MSL está equipado con doce cámaras de ingeniería: cuatro *navigation cameras* (Navcam) y ocho *hazard avoidance cameras* (Hazcam), cuya finalidad es proporcionar guiado y soporte al vehículo y sus instrumentos. Las Navcam (FOV: 45°×45°) están localizadas en el mástil del rover, mientras que las Hazcam (FOV: 126°×126°) se encuentran fijadas al chasis (cuatro en la parte frontal, cuatro en la parte posterior). Todas cuentan con detectores CCD de 1024×1024 píxeles siendo la longitud de onda efectiva de 650 nm.

La motivación de esta tesis doctoral es contribuir a la caracterización de las partículas de polvo suspendidas en la atmósfera de Marte mediante el uso de las cámaras de ingeniería de MSL. A pesar de no haber sido concebidas como instrumentos científicos, sus observaciones pueden emplearse en estudios atmosféricos, proporcionando así una base de datos adicional y expandiendo la cobertura temporal existente. Los objetivos son:

- Revisar la base de datos de imágenes y generar las rutinas de calibración y navegación.
- Desarrollar un modelo de transporte radiativo para simular la distribución angular de radiancia en el cielo.
- Derivar la opacidad atmosférica debida al polvo y las propiedades físicas de las partículas.
- Adaptar los desarrollos realizados para el procesamiento y análisis de datos de futuras misiones a Marte.

Además del espesor óptico del polvo, son propiedades relevantes de las partículas para los modelos climáticos su tamaño y forma, condensadas en la función de fase $P(\theta)$. Para determinar dichas propiedades se analiza el decaimiento del brillo del cielo en función de la distancia angular respecto al centro del disco solar (ángulo de dispersión o *scattering*). En particular, la variación del brillo para ángulos de *scattering* pequeños ($<30^\circ$)

está controlado por el tamaño de las partículas, mientras que la región de ángulos medios y altos (120° a 180°) proporciona información acerca de la forma de las mismas. Se han analizado imágenes calibradas de Navcam apuntando al disco solar en el primer caso, mientras que para evaluar el brillo a altos ángulos de *scattering* se emplean secuencias de cielo completo (*Navcam sky survey*) y observaciones simultáneas de Hazcam. Las observaciones se comparan con simulaciones de radiancia del cielo mediante nuestro modelo de transporte radiativo. Las curvas de radiancia son modeladas a partir de los parámetros que definen las propiedades de las partículas: espesor óptico, distribución de tamaños, parámetros de la función de fase analítica *Double Henyey-Greenstein* (DHG), la relación de aspecto diámetro/longitud (D/L) en los cálculos *T-matrix* para partículas de forma cilíndrica y esferoidal y finalmente también con funciones de fase experimentales obtenidas a partir de mediciones en laboratorio de diversos análogos de polvo marciano (*Granada Scattering Database*). Se buscan los valores de los parámetros que generan la curva modelada que mejor ajusta a la observación según un criterio de error mínimos cuadrados.

Los resultados muestran el ciclo estacional habitual de espesor óptico de la atmósfera, así como una correlación positiva entre opacidad y tamaño de las partículas. Los valores medios de los resultados obtenidos para los parámetros (g_1, g_2, α) de la función de fase DHG tienen parámetro de asimetría $g = 0,65$. Los mejores ajustes para partículas modeladas con *T-matrix* corresponden a partículas de forma cilíndrica con relación de aspecto D/L (diámetro/longitud) 0,7 y 1,9; así como esferoides de D/L=2,0 (discos). Finalmente, el basalto es el análogo marciano que mejor ajusta en la mayoría de las comparaciones. Los resultados obtenidos en este estudio muestran una buena concordancia con trabajos previos.

Las futuras actividades a desarrollar a raíz del estudio realizado en esta tesis doctoral incluyen:

- Estudio de las observaciones de MSL correspondientes a la tormenta de polvo global de 2018.
- Empleo de nuevos métodos y códigos de modelización de las propiedades radiativas para partículas no esféricas y agregados.
- Desarrollo de las rutinas necesarias para el análisis de futuros datos obtenidos por las misiones InSight, ExoMars 2020 y Mars2020 (instrumento MEDA).
- Implementación del código de transporte radiativo y de las propiedades del polvo derivadas en el modelo de mesoescala Martian Regional Atmospheric System (MRAMS) para simular las condiciones climáticas en tormentas de polvo de carácter local.

