

Fenómenos meteorológicos en Marte estudiados con la cámara VMC de *Mars Express*

Autor: Jorge Hernández Bernal

Tesis doctoral dirigida por: Agustín Sánchez Lavega y Teresa del Río Gaztelurrutia

Centro: Universidad del País Vasco

Fecha de lectura: 20 de diciembre de 2022

Esta tesis consiste en el estudio de fenómenos meteorológicos en la atmósfera de Marte usando principalmente imágenes obtenidas con la cámara VMC del orbitador *Mars Express*.

VMC es una cámara sencilla, con características similares a las de una *webcam* de los años 2000, y fue enviada a Marte como una simple cámara de ingeniería. Esta tesis se ha desarrollado en el marco del proyecto para convertir esta pequeña cámara en un nuevo instrumento científico, por lo que los desarrollos metodológicos de la tesis han contribuido también a la conversión de VMC en un instrumento científico completamente operativo. Estos desarrollos metodológicos incluyen la calibración fotométrica, geométrica y temporal de VMC; el desarrollo de la *pipeline* de procesado y archivado de datos; la participación en las operaciones de *Mars Express*; y el desarrollo de multitud de sistemas, bases de datos, paquetes de *software*, y aplicaciones para la visualización, procesado y análisis de los datos. Esta base metodológica ha posibilitado el desarrollo de una investigación científica centrada en diferentes fenómenos meteorológicos que resultaban especialmente bien accesibles para VMC y que en cambio eran más difíciles de observar para otros instrumentos y misiones que orbitan Marte. Esto se debe a que VMC, a pesar de sus evidentes limitaciones técnicas, tiene algunas características poco frecuentes en otros instrumentos: 1. La capacidad de obtener imágenes de disco completo desde los apocentros de *Mars Express*. 2. La órbita no heliosíncrona de *Mars Express*, que permite observar horas locales variadas. 3. La capacidad de VMC de tomar largas series de imágenes con las que es posible componer vídeos que muestran la dinámica de los fenómenos meteorológicos.

Así, son tres los fenómenos meteorológicos estudiados en el marco de esta tesis:

- La incidencia de la gran tormenta de polvo de 2018 sobre la región polar sur.
- Las nubes noctilucentes, incluyendo el primer estudio sistemático de este tipo de nubes en Marte, donde son más frecuentes que en la Tierra.

- La nube elongada de Arsia Mons (AMEC). La nube alargada más grande del sistema solar, que se ha descrito en una publicación científica por primera vez.

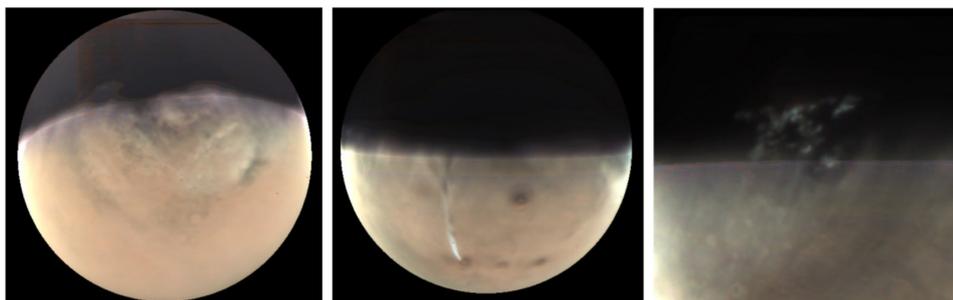
Las observaciones de la región polar sur de Marte durante la tormenta global de 2018 obtenidas por VMC revelan que el polvo penetró de forma inhomogénea en la región y la cobertura de polvo variaba notablemente de unos días a otros. Las observaciones de VMC analizadas en el marco de esta tesis permitieron medir los vientos dominantes en la región polar durante la tormenta y detectar la presencia de enormes bandas de aerosoles penetrando la noche polar.

El segundo fenómeno meteorológico estudiado en el marco de esta tesis son las nubes noctilucentes, que debido a su gran altura reciben la luz del sol durante las horas del crepúsculo y por ello son visibles sobre la oscuridad de la noche en las imágenes de satélite. La mayor parte de las imágenes de Marte obtenidas en las últimas décadas muestran únicamente la hora local del mediodía, pero VMC ha obtenido miles de imágenes del amanecer a lo largo de 15 años. Esto hace de VMC el mejor instrumento disponible para este tipo de estudio. Con el fin de explotar esta capacidad, se desarrolló un *software* capaz de detectar estas nubes y estimar su altura, lo que posibilitó hacer el primer estudio sistemático de las nubes noctilucentes en Marte. Los cientos de nubes catalogadas revelan una distribución estacional y geográfica en parte inesperada, con una abundancia de nubes mesosféricas en latitudes medias nunca antes vista. Estas nubes están probablemente compuestas de cristales de hielo de agua y también de dióxido de carbono.

El tercer fenómeno meteorológico estudiado es la nube elongada de Arsia Mons (AMEC), que alcanza una extensión de hasta 1800 km. Esta nube expresa una dinámica inusualmente rápida, al extenderse en solo tres horas justo después del amanecer y disolverse muy rápidamente. En una primera parte del estudio se emplearon datos de todos los instrumentos de imagen que por sus características podían observar la nube y se hizo una amplia descripción observacional del fenómeno. Posteriormente se ejecutaron simulaciones de alta resolución para intentar comprender la formación de esta inusual nube. Este estudio ha desvelado un mecanismo de formación de nubes orográficas diferente a los que anteriormente se habían contemplado en Marte. Sin embargo, las simulaciones no han dado una explicación a porqué se forma la inusual cola alargada de la AMEC, que por ahora sigue siendo un misterio.

El estudio de estos fenómenos meteorológicos muestra que VMC es una pequeña cámara con mucho potencial científico. Y además revela la riqueza de los fenómenos meteorológicos que se dan en Marte al amanecer, un momento del día escasamente estudiado y que probablemente aún guarda muchos secretos.

Texto disponible en: https://vmc.ehu.es/jhb_thesis



Izquierda: tormenta global sobre la región polar sur. Centro: la AMEC. Derecha: nubes noctilucentes.