

Resumen de la tesis doctoral

En la tesis se describe la extensión a la alta atmósfera (100-250 km) del Modelo de Circulación General tridimensional (MCG) marciano desarrollado en el Laboratoire de Météorologie Dynamique (CNRS/París) [1]. Para ello, hemos incluido esquemas rápidos de cálculo para los procesos energéticos, químicos y dinámicos relevantes a estas alturas. Esta extensión nos ha permitido obtener una serie de resultados relevantes para la alta atmósfera marciana. Hemos analizado la temperatura, vientos y términos de calentamiento en la termosfera, así como sus variaciones verticales, encontrando una fuerte influencia de la dinámica de la baja termosfera en la distribución de temperatura de la alta termosfera. La comparación de la variación estacional y con el ciclo solar de las temperaturas con los escasos datos existentes muestra que el modelo tiende a sobrestimar las temperaturas en la alta termosfera en un 15-20%. Una modificación de la eficiencia de calentamiento UV desde el valor nominal del 22% a un 16% o un aumento de la tasa de excitación de CO₂ por colisiones con oxígeno atómico en un factor 2 (ambas modificaciones dentro del intervalo de incertidumbre de los parámetros) produce una disminución de un 15% en las temperaturas termosféricas, permitiendo un mejor acuerdo con los datos. Hemos descrito también una fuerte influencia de la fotoquímica sobre la temperatura, debido a la relación inversa entre el cociente O/CO₂ y la tasa de calentamiento UV [2]. Por último, la comparación con otro MCG termosférico [3] muestra un buen acuerdo cuando se utilizan los mismos parámetros de entrada.

La extensión a la termosfera ha hecho de este modelo el primer MCG marciano capaz de estudiar de forma consistente todas las alturas atmosféricas, desde la superficie hasta la alta termosfera. Hasta ahora, el único MCG termosférico incluye la baja atmósfera mediante un acoplamiento artificial con otro MCG. Con este nuevo esquema, los acoplamientos y retroacciones entre distintas regiones son intrínsecos al modelo y no es necesario incluirlos como condiciones de frontera [4]. Esto es importante a la luz los datos obtenidos en la última década, que muestran un importante acoplamiento entre la alta y la baja atmósfera [5,6,7,8]. Por tanto, este MCG extendido mejora de forma sustancial nuestra comprensión de la atmósfera marciana como un sistema global. Este modelo se ha utilizado para construir una nueva versión de la Mars Climate Database [9], una compilación estadística de resultados del modelo usada por grupos de todo el mundo tanto como una referencia para estudios científicos como para el diseño de misiones. Al incluir la termosfera, esta nueva versión de la MCD permite un mejor diseño de las fases de aerofrenado de futuras misiones, esencial para su inserción en órbita.

En el futuro, los esfuerzos irán dirigidos principalmente hacia la comparación con los datos que en la última década se están obteniendo acerca de la alta atmósfera marciana. Esto permitirá tanto continuar validando el modelo como una mejor comprensión de los datos. Así, SPICAM, instrumento a bordo de Mars Express, está obteniendo por primera vez de forma continuada perfiles de temperatura y densidad entre 50 y 130 km [10]. Este mismo instrumento ha medido por primera vez emisiones nocturnas de NO en la mesosfera [7]. Otros instrumentos están midiendo otras emisiones en la alta atmósfera, o perfiles de densidad electrónica. Para estas comparaciones, en algunos casos habrá que introducir modificaciones y/o extensiones al modelo, como por ejemplo la química del Nitrógeno para estudiar el NO o un modelo ionosférico. Otra dirección de trabajo es la extensión de un MCG similar hasta la alta atmósfera de Venus, utilizando la experiencia acumulada con este trabajo. Esto permitirá, por un lado, interesantes estudios de planetología comparada y, por otro, un mejor análisis de los datos de Venus Express.

Como resultado de la tesis, se han publicado dos artículos (uno de ellos como primer autor) [2, 3], dos más han sido enviados [10, 11] y otros dos están en preparación [12, 13]

Referencias

- [1] Forget, F. y col., 1999, Improved general circulation models of the Martian atmosphere from the surface to about 80 km, *J. Geophys. Res.* **104**, 24155-24175
- [2] González-Galindo, F. y col., 2005, Extension of a Martian general circulation model to thermospheric altitudes: UV heating and photochemical models.
- [3] Bougher, S. y col., 2000, Comparative terrestrial planet thermospheres, 3, Solar cycle variation of global structure and winds at solstice, *J. Geophys. Res.* **104**, 16591-16611
- [4] Angelats i Coll, M. y col. (incluye F. González Galindo), 2005, The first thermospheric general circulation model: The Martian atmosphere from the ground to 240 km, *Geophys. Res. Lett.* **32**, L04201
- [5] Keating, G. y col., 1998, The structure of the upper atmosphere of Mars: In situ accelerometer measurements from Mars Global Surveyor, *Science* **279**, 1672-1676
- [6] Keating, G. y col., 2003, Brief review of the results obtained with the MGS and Mars Odyssey 2001 accelerometer experiments, in *Proceedings of the 1st Mars Atmosphere Modelling and Observation Workshop*, Granada
- [7] Bertaux, J.-L. y col., 2005, Nightglow in the upper atmosphere of Mars and implications for atmospheric transport, *Science* **307**, **566-569**
- [8] Bougher, S. y col., 2006, Polar warming in the Mars thermosphere: Seasonal variations owing to changing insolation and dust distribution, *Geophys. Res. Lett.* **33**, L02203
- [9] Lewis, S. y col., 1999, A climate database for Mars, *J. Geophys. Res.* **104**, 24177-24194.
- [10] Forget, F. y col. (incluye F. González Galindo), 2008, The density and temperature of the upper martian atmosphere measured by stellar occultation with Mars Express SPICAM, *J. Geophys. Res.*, enviado
- [11] Cox, C. y col. (incluye F. González Galindo), 2007, The distribution of the Ultraviolet nitric oxide Martian night airglow: observations from Mars Express and comparisons with a one-dimensional model.
- [12] F. González Galindo y col., 2008, The ground-to-exosphere LMD-MGCM: seasonal, diurnal and solar cycle variation of thermospheric temperatures, *J. Geophys. Res.*, en preparación
- [13] F. González Galindo y col., 2008, Thermal and wind structure of the Martian thermosphere as given by two General Circulation Models, *J. Geophys. Res.*, en preparación