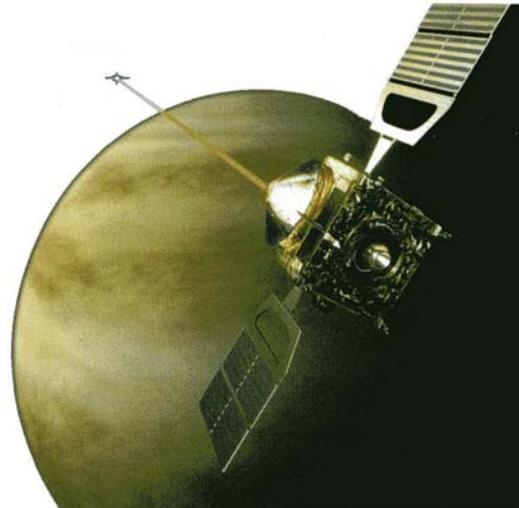


Primeros resultados de Venus Express

EN EL MES DE ENERO 2008, SE HICIERON PÚBLICOS LOS PRIMEROS RESULTADOS CIENTÍFICOS DE LA MISIÓN EUROPEA VENUS EXPRESS (VEX), EN UN CONJUNTO DE OCHO ARTÍCULOS DE UN ESPECIAL DE LA REVISTA NATURE.

Por Miguel Ángel López Valverde (IAA. CSIC)



HA TRANSCURRIDO POCO MÁS DE UN AÑO Y MEDIO DESDE SU INSERCIÓN EN ÓRBITA (abril 2006), dos años desde su lanzamiento (noviembre de 2005) y cinco años desde que la Agencia Espacial Europea (ESA) diera la aprobación definitiva para su lanzamiento, lo que supone un record en la historia de la investigación planetaria y de las misiones ESA en particular.

Ventajas de Venus Express

A pesar de ser una misión construida con instrumentos "prestados" de *Mars Express* y de *Rosetta*, con la misma plataforma de *Mars Express* y con el lanzador *Soyuz-Fregat* que la lanza a una órbita muy elíptica en torno a Venus (similar a la de *Mars Express*), los objetivos científicos de VEX son de peso suficiente para esperar avances significativos en nuestro conocimiento de la superficie y la atmósfera de Venus. De hecho, la similitud con *Mars Express*, operativa al menos hasta 2009, es ya una ventaja única de esta misión, porque permite una sinergia muy útil para la planetología comparada, dadas las medidas similares y simultáneas en ambos planetas en el mismo momento del ciclo solar.

Hace 25 años terminó la vida útil del orbital *Pioneer Venus (PVO)*, la misión que más información nos ha suministrado acerca de nuestro planeta vecino. Las misiones posteriores han sido más cortas, como los globos *Vega I* y *2*, o los *fly-by* (sobrevuelos) de las misiones *Galileo* y *Cassini* en ruta a Júpiter y Saturno, o muy específicas, como la misión Magallanes dedicada a estudiar la superficie de Venus en detalle. Aparte de algunos resultados sobre la atmósfera venusina obtenidos mediante ocultación de radio por la sonda Magallanes, VEX es la primera misión que permite un sondeo sistemático de su atmósfera desde *Pioneer Venus*. Por otro lado, durante la época de los 80 se descubrieron una serie de "ventanas infrarrojas" mediante observaciones telescópicas desde Tierra, que permiten observar la composición y temperatura a alturas inferiores a la capa de nubes y que abren la posibilidad de un sondeo sistemático desde a órbita de esas regiones tan inescrutables hasta la fecha.

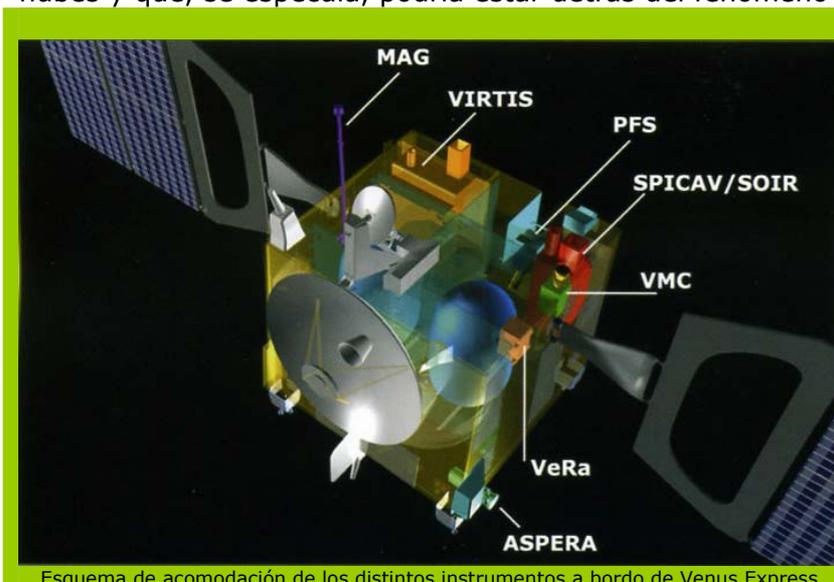
Este sondeo lo realiza VEX con instrumentación científica mucho más precisa que la *Pioneer Venus* y con una mayor velocidad de transferencia de datos. La plataforma, estabilizada en tres ejes (a diferencia de la de *Pioneer Venus*, que consistía en un cilindro en rotación), permite un apuntado preciso incluso en un sondeo tangencial apuntando al limbo del planeta e investigar en detalle la alta atmósfera de modo regular, algo nunca realizado en Venus hasta ahora.

Se está planeando un cambio en la órbita de VEX para observar Venus desde geometrías diferentes, e incluso un frenado atmosférico de la misión

Además, el carácter elíptico de su órbita presenta ciertas ventajas no explotadas hasta la fecha, como la adquisición de imágenes de gran campo del planeta y de su atmósfera. La operación sistemática en este modo de imagen y durante un periodo largo de tiempo, como el de toda la misión, permite identificar y seguir el movimiento de parcelas en las capas de nubes, realizar mosaicos para estudiar turbulencias, convección y transporte a gran escala y, en definitiva, suministrar una base de datos única para abordar uno de los mayores misterios de Venus, el origen de su superrotación atmosférica.

Problemas científicos abiertos

La lista de problemas abiertos a los que se vienen dedicando esfuerzos teóricos y que necesitan nuevos datos es extensa. Haciendo una selección breve, a la superrotación que se observa en las capas de nubes añadiríamos la naturaleza precisa de esas nubes y la de las capas de neblina por encima y por debajo de la nube principal, cubriendo en total una región entre 40 y 80 km sobre la superficie, aproximadamente. No se conoce la estructura térmica detallada en las capas más bajas de la atmósfera ni en las regiones polares, pues solo en latitudes medias se tienen datos de las pocas sondas que se posaron en superficie y suministraron datos antes de sucumbir a las elevadas temperaturas y presiones venusianas. Estas campas son, sin embargo, claves para entender el transporte de momento que seguramente ocurre entre la superficie y la atmósfera a la altura de la capa de nubes y que, se especula, podría estar detrás del fenómeno de la superrotación. Asimismo, la circulación global de la alta atmósfera debe variar de algún modo poco claro entre la superrotación en la baja mesosfera hacia la circulación inter-hemisférica que parece dominar en la atmósfera, desde el punto subsolar al antisolares. Evidencias de esta circulación global a dichas alturas se conocen mediante la observación de



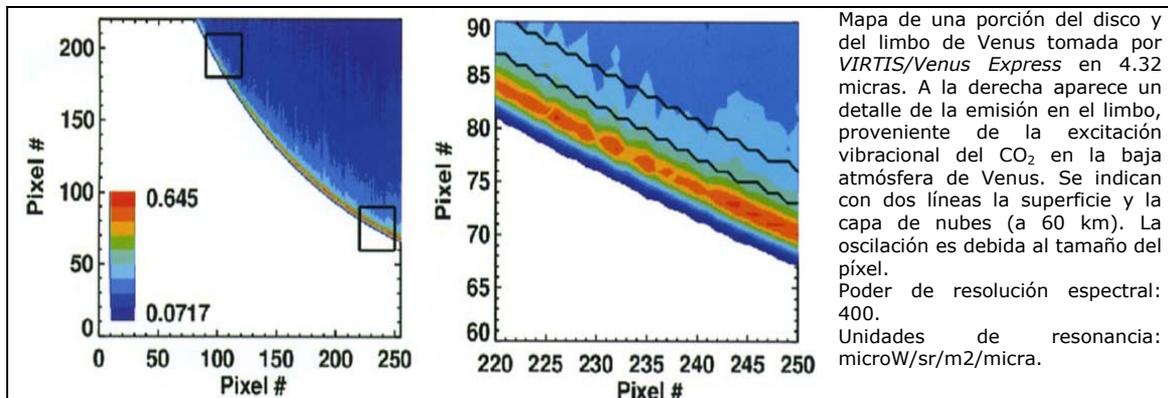
de emisiones de *airglow* de NO y O₂. La emisión de esta última molécula, en 1,27 micras, viene siendo observada desde Tierra y sorprendiéndonos por su alta variabilidad, espacial y temporal, con picos de emisión que parecen excesivamente elevados para las teorías fotoquímicas. Otras emisiones características de la alta atmósfera son las

del gas principal, CO₂, bajo condiciones de no-equilibrio termodinámico local (no-ETL). Observadas por primera vez en diez micras en 1976, se explicaron mediante un mecanismo de fluorescencia solar en 4,3 micras. La primera observación directa de la intensa emisión de 4,3 micras en el hemisferio diurno fue, sin embargo, en 1990 con la misión Galileo. Dichas emisiones son importantes para el balance energético de la alta atmósfera, y podrían suministrar herramientas para sondear una región difícil de estudiar de otro modo, aquella entre 100 y 140 km de altura. Aún más arriba, hay grandes dudas sobre uno de los procesos clave de la evolución de Venus, el escape de hidrógeno, mecanismo que creemos responsable de la pérdida de los océanos de agua que Venus quizás albergó, como la Tierra, en las primeras edades del Sistema Solar. También habría que determinar qué mecanismos dominan en la actualidad, seguramente no-térmicos, dirigidos por la interacción con el viento solar, y cuantificar dicho escape de modo preciso.

Terminamos la lista de problemas abiertos bajando de nuevo a la superficie de Venus, donde no sabemos si hay volcanes activos o terremotos, ni qué tipo de agente es el responsable de la erosión de las rocas.

Resultados de Venus Express

No cabe duda de que una solución a todos estos enigmas requiere una exploración lo más completa posible y a largo plazo de Venus mediante orbitales, sondas de descenso y globos sonda, observaciones desde Tierra y misiones de toma de muestras y retorno a la Tierra. Un modesto orbital como VEX no puede aspirar a aclarar todos esos problemas pero, en el escaso tiempo de un año y medio y aunque la actividad continúa centrada en la validación y análisis exhaustivo de los datos que se están recibiendo, ya hemos aprendido algunas cosas interesantes sobre Venus. En el número especial de *Nature*, Svdhem y colaboradores resumen los resultados publicados y A. Ingersoll presenta una visión más crítica, situándonos en el contexto de la exploración espacial.

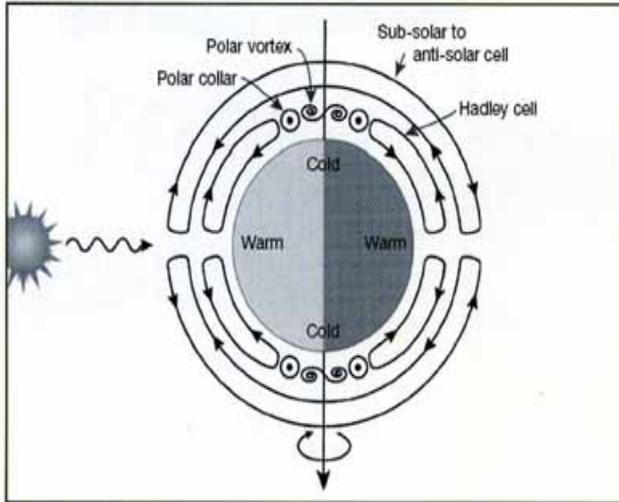


Uno de los resultados visualmente más espectaculares, posible gracias al instrumento VIRTIS, es, sin duda, el descubrimiento de los enormes vórtices polares del hemisferio sur, similares a los ya conocidos en el hemisferio opuesto. Se ha observado por primera vez su estructura dual detallada, relacionada con variaciones de temperatura y de transparencia atmosférica, así como su dinámica precisa (reflejada en archivos de video). Esta dinámica debe estar relacionada con la circulación global, y quizás con un descenso desde la mesosfera hacia las capas bajo las nubes. Esto, a su vez, podría explicar el problema del enriquecimiento en CO de la baja atmósfera en las regiones polares, hallado por NIMS/Galileo quince años atrás.

Dos resultados muy intrigantes son el máximo de temperaturas observado por SPICAV en la mesopausa venusiana y en condiciones nocturnas mediante la técnica de ocultación estelar y las diferencias día/noche observadas por el instrumento VERA analizando la absorción de las señales de radio a través de la atmósfera. El

equipo de SPICAV atribuye la primera a la circulación global de la alta atmósfera antes mencionada. La segunda es difícil de explicar, según Ingersoll.

Las fuertes emisiones de CO₂ en 4,3 micras predichas por nuestro grupo han sido confirmadas por el instrumento VIRTIS, con un máximo de emisión en torno a 110 km, y una clara variación con la iluminación solar. Estamos confeccionando mapas detallados de dichos datos, tanto en geometría nadir (observando el disco del planeta) como en el limbo, lo que



Esquema de la circulación general que se piensa tiene lugar en la atmósfera de Venus, con dos regímenes claramente diferenciados en la troposfera (bajo la capa de nubes) y en la termosfera (por encima de 100 km). La región de transición, la mesosfera, tiene una estructura compleja y mal conocida.

Fuente: R. Kempton (*New England Meteorological Services*)

transporte global intenso, la teoría química explicaría satisfactoriamente las emisiones en términos cuantitativos, aunque la variabilidad temporal y espacial es muy elevada y el motor de esta variabilidad no se conoce aún sin ambigüedad.

En cuanto al escape al espacio, el magnetómetro del VEX ha encontrado que el viento solar no parece penetrar en la ionosfera del planeta, en esta fase de mínima actividad del ciclo solar. Esto coincide con lo encontrado por la misión *Pioneer Venus* durante el máximo de actividad solar, y podemos concluir que la interacción directa con el viento solar es menor de lo barajado hasta la fecha. Esto podría indicar que, tal como se pensaba, el escape al espacio en la época actual es muy bajo. Sin embargo, el analizador de plasma de VEX ha encontrado un mecanismo que puede suplir dicha pérdida. Se trata del escape iónico, tanto de H⁺ como de O⁺, y sus flujos están en relación 2/1, lo que revela un origen fotoquímico a partir del vapor de agua atmosférico. A. Ingersoll se pregunta si dichos flujos habrán sido constantes a lo largo de la historia de Venus. Y yo me pregunto dónde está la fuente de vapor de agua para mantener dicho flujo.

Futuro de la misión

Y muchas preguntas surgirán, sin duda, a la vez que vamos poniendo luz en los problemas actuales y conforme estudiemos los datos de *Venus Express*. Está llegando el momento de la explotación científica de los datos, de la comparación con modelos teóricos, del desarrollo de nuevos modelos, ya en marcha, y de las comparaciones con *Mars Express*. Se está planeando un cambio de la órbita de VEX para observar Venus desde geometrías diferentes, en incluso un frenado atmosférico de la misión. En definitiva, se abren perspectivas excelentes para aprender mucho más sobre Venus y su atmósfera. Esperemos que, al igual que con *Mars Express*, la ESA extienda el tiempo de vida operacional de VEX más allá de 2009... por el bien de la comunidad planetaria y de la europea en particular.

→ VENUS DESDE EL IAA

- EL INSTRUMENTO VIRTIS, EN EL QUE PARTICIPA EL INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE ANDALUCÍA, HA APORTADO IMPORTANTE INFORMACIÓN SOBRE LA ALTA ATMÓSFERA DEL PLANETA



Estructura del dipolo sur a diferentes longitudes de onda (la fila superior muestra las nubes a unos 65 km y la inferior a unos 50 km). Los dipolos son vórtices gigantes dobles (cada vórtice mide unos 2000 km), similares al ojo de un huracán, que se forman en ambos polos de Venus.

Los últimos resultados confirman la habilidad de VIRTIS para indagar en la alta atmósfera de Venus, una región inexplorada pero clave para comprender el escape de gases al espacio y, por tanto, su evolución y las diferencias con la atmósfera terrestre. El dióxido de carbono es el gas más abundante en Venus, mientras el oxígeno es muy escaso, una situación opuesta a lo que ocurre en la Tierra. Ambos gases producen emisiones intensas en las altas capas de la atmósfera, mediante fenómenos de *airglow* o fluorescencia.

Las emisiones observadas en Venus por VIRTIS muestran ciertas diferencias con los modelos teóricos, lo que indica que la atmósfera presenta gran variabilidad a esas alturas. Se cree que el estudio de estos aspectos cambiantes de las emisiones, cuya interpretación resulta muy complicada, será de gran importancia.

Por ejemplo, VIRTIS ha contribuido a desvelar un enigma sobre las emisiones de oxígeno de la cara nocturna de Venus: a diferencia de las de la Tierra, parecían demasiado fuertes para tener un origen químico. Lo observado confirma un proceso químico que involucra átomos de oxígeno, pero más complejo; el modo peculiar de observación de VIRTIS ha permitido derivar los flujos de átomos de oxígeno necesarios para producirla, y concluir que se originan en el hemisferio de día y son transportados al de noche mediante un proceso dinámico a escala planetaria.

Por otra parte, las emisiones de dióxido de carbono, observadas en la alta atmósfera de Venus con gran detalle por primera vez, confirman las predicciones de los modelos teóricos elaborados en el Instituto de Astrofísica de Andalucía hace una década, y VIRTIS las utiliza como herramienta sistemática en el sondeo.

Este artículo aparece en el nº 24, de febrero 2008, de la revista *Información y Actualidad Astronómica*, del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).