

# DESARROLLO DE SENSORES E INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA

La caracterización de un objeto del Sistema Solar en el que no se puede hacer trabajo de campo, o experimentos de laboratorio, siempre queda incompleta cuando se mira en un solo «color» (o longitud de onda). El reto tecnológico de embarcar en una única misión la más amplia gama de detectores –desde rayos gamma hasta radares– es sin lugar a dudas una de las revoluciones más emocionantes que los científicos de los siglos XX y XXI estamos viviendo.



→ Recreación artística del aterrizaje de la sonda Huygens sobre la luna de saturno, Titán. La sonda portaba un paracaídas para aminorar la velocidad antes de posarse en la superficie. ESA

Las actividades del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el desarrollo de instrumentación para embarcar en cohetes de sondeo y vehículos espaciales –destinados tanto al estudio de nuestro planeta como de otros cuerpos del Sistema Solar– se remontan a los años 70, cuando la observación in situ y la explicación teórica del *airglow* (brillo en el aire) era una línea de investigación seguida de forma activa y fructífera en su Departamento de Sistema Solar.

En la atmósfera terrestre ocurren procesos que dan lugar a una emisión nocturna luminiscente en diversas bandas espectrales producida por el oxígeno atómico, el oxígeno molecular y el radical hidroxilo, OH. Conocer la distribución en altura de estas especies es de crucial importancia para determinar qué procesos físico-químicos prevalecen a cada nivel atmosférico, ya que estas emisiones están interrelacionadas entre sí a través de las reacciones fotoquímicas.

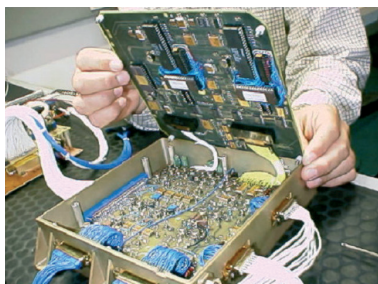
Para ello, se ideó un fotómetro con cinco canales para medir la emisión

infrarroja (IR) del OH, el sistema infrarrojo del O<sub>2</sub> y la emisión del oxígeno atómico. Los cuatro canales IR eran idénticos en su diseño y consistían básicamente en un telescopio de dos lentes, un filtro interferencial y un detector enfriado termoelectricamente. El campo de visión del sistema era 11°. El fotómetro visible tenía un único canal con un campo de visión de 2,5° y usaba el método de detección fotomultiplicadora en el modo de conteo de fotones. El instrumento se montó en un cohete, el *BAJ Petrel*, con el eje óptico paralelo al eje del cohete, que se lanzó el 19 de diciembre de 1981 desde la base de El Arenosillo (Huelva). Del análisis de los datos se pudo concluir que existe una única capa de emisión de O<sub>2</sub>, corroborando las predicciones de los modelos fotoquímicos. Sin embargo, el descubrimiento de una capa de emisión de las bandas de OH a unos 100 km impuso una revisión seria de los esquemas fotoquímicos que se habían barajado como responsables de dicha emisión.

## A los planetas

El siguiente paso natural fue hacer un estudio in situ de las atmósferas de otros planetas, satélites y cuerpos menores. Las misiones espaciales en las que los miembros del Departamento de Sistema Solar desarrollaron alguna instrumentación, bien total o parcialmente, o

## Las actividades del Instituto de Astrofísica de Andalucía en el desarrollo de instrumentación espacial se remontan a los años 70



→ Convertidor de potencia de OSIRIS. IAA-CSIC

bien se implicaron en la explotación científica de los datos fueron, en orden cronológico: *Mars 94/96* (Agencia Espacial Rusa, IKI), *Cassini-Huygens* (NASA-ESA), *Rosetta* (ESA) y *BepiColombo* (ESA).

La misión *Mars 94* tenía prevista su fecha de lanzamiento en octubre de 1994 para llegar a Marte en septiembre de 1995, y dos años más tarde (1996) le seguiría —en otro lanzamiento— una segunda nave. Limitaciones económicas en Rusia provocaron la cancelación de la misión, aunque se siguió adelante con la *Mars 96*, con el ambicioso objetivo de estudiar la superficie, la atmósfera, el interior y la magnetosfera marcianos, así como localizar explosiones cósmicas en rayos gamma y oscilaciones de las estrellas y del Sol. La carga útil del módulo orbital comprendía desde una cámara estereoscópica hasta un radar, pasando por un espectrómetro Fourier para el sondeo atmosférico y el estudio de la superficie marciana en el IR. Este instrumento, llamado *Planetary Fourier Spectrometer* (PFS), debía proporcionar perfiles de temperatura, presión y abundancia de CO, H<sub>2</sub>O y aerosoles en 3D, así como la mineralogía de la superficie y altimetría. El instrumento consta de 2 espejos móviles que al recibir la radiación desde Marte produce diferencias de cami-

no óptico y, por tanto, interferogramas que después son analizados mediante transformadas de Fourier. Una gran ventaja del instrumento frente a otros que operan a similares longitudes de onda es que los espectros de la radiación emitida en el IR medio y la reflejada en el IR cercano se miden simultáneamente.

El análisis conjunto de los espectros en ambos intervalos proporciona información valiosa sobre la distribución vertical de gases que tienen fuertes bandas de absorción en ambos intervalos, como el H<sub>2</sub>O, y también propiedades de los aerosoles suspendidos en la atmósfera marciana. El instrumento PFS es conceptualmente muy complejo. El IAA-CSIC participó técnicamente en dos subapartados: (1) diseño, fabricación y ensayos de la antena *Long Wavelength Radar* (LWR); y (2) diseño y ensayos de la Unidad de Proceso de Datos del PFS. Por otro lado, participó en tres subapartados científicos: (3) determinación de las abundancias de compuestos neutros minoritarios y de la estructura térmica de la atmósfera marciana mediante los datos proporcionados por el PFS; (4) investigación de la estructura de la ionosfera y del plasma ionosférica utilizando el LWR; y (5) estimación de la permitividad dieléctrica, conductividad de las rocas de la subsuperficie, y su variación con la profundidad para la búsqueda de agua líquida y *permafrost*, así como medida de la profundidad, espesor y extensión del mismo utilizando el LWR.

El experimento estaba originalmente a bordo de la misión *Mars 94* (cancelada), posteriormente *Mars 96* (lanzamiento fallido que

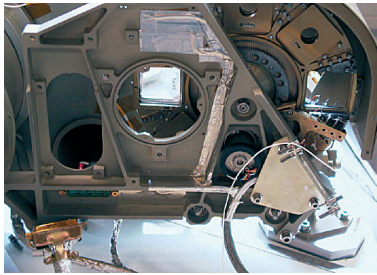
terminó en el Océano Pacífico) y finalmente en *Mars Express* (donde está produciendo datos) y *Venus Express* (donde el bloqueo de uno de los espejos para producir interferogramas lo ha dejado como instrumento muerto).

### En Saturno y Titán

En la exploración del Sistema Solar, Saturno y sus satélites —especialmente Titán— fueron el siguiente objetivo para el IAA-CSIC. La misión *Cassini-Huygens* (NASA-ESA) empezó a gestarse en 1980, y finalmente fue lanzada en octubre 1997 desde Cabo Cañaveral (Florida, EE.UU.). La misión consta de un módulo orbitador dedicado a la observación remota de Saturno, sus satélites y sus anillos y una sonda de descenso (responsabilidad de la ESA) en la atmósfera de Titán. Esta sonda hizo su entrada triunfal en enero de 2005, tras separarse del módulo orbitador al que había viajado adosada durante 7 años. La participación española en esta sonda estaba dentro del instrumento HASI (*Huygens Atmospheric Structure Instrument*), en un subsistema (PWA, *Permittivity, Wave and Altimetry*) dedicado a la detección de descargas eléctricas (rayos), electricidad atmosférica, conductividad de los electrones y del suelo, conductividad electrón-ión, fenómenos acústicos naturales (truenos, lluvia, granizo, etc.).

El subsistema consta de seis electrodos y un sensor acústico (micrófono). La conductividad debida a los iones positivos y negativos se mide con sondas de relajación mediante un principio de actuación muy sencillo: se aplican potenciales entre el módulo de descenso y los sensores cada segundo; durante el descenso se va midiendo cómo ese potencial cam- ⇒

**El siguiente paso natural fue hacer un estudio in situ de las atmósferas de otros planetas, satélites y cuerpos menores**



→ Integración de la Rueda de Filtros en la cámara NAC. IAA-CSIC

bia y alcanza su equilibrio, lo que permite confirmar o descartar la presencia de electrones libres y determinar la conductividad de los iones. Los electrodos de relajación se llevan a voltaje cero después de cada secuencia de medición. El IAA-CSIC contribuyó de nuevo dentro de la vertiente tecnológica y científica. En la primera, la responsabilidad se centra en el diseño, pruebas y fabricación de la tarjeta dedicada al tratamiento analógico del subsistema PWA. Se desarrolló un modelo funcional de las partes fundamentales de la tarjeta, se diseñaron los pre-amplificadores y se participó en la integración y cualificación especial para la misión que se hizo en el *Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement* (Orleáns, Francia). Desde el punto de vista científico, participamos en el desarrollo de modelos fotoquímicos de la atmósfera neutra e ionizada de Titán, modelos que se están usando en la actualidad para explicar los resultados observacionales tanto del módulo orbitador *Cassini* como de la sonda de descenso *Huygens*.

La sonda *Huygens* descansa ahora en la superficie de Titán. Su descenso fue un éxito y todos los instrumentos proporcionaron los datos esperados, salvo uno (*Doppler Wind Experiment*, DWE) por un error en la programación de

transmisión de los datos de la sonda al módulo orbitador. La sonda sobrevivió al impacto con la superficie (con una textura de arena mojada de  $\text{CH}_4$ , y no de agua) y las baterías de a bordo que mantenían los instrumentos vivos duraron unos 30 minutos, 20 más de lo inicialmente esperado, o sea, que funcionó por encima de las especificaciones. El módulo orbitador ya no estaba en el campo de visión de la sonda y no pudo recibir la información sobre la superficie del satélite que la sonda *Huygens* seguía enviando.

#### A los cuerpos menores

En la singladura espacial, el siguiente paso fue participar en la construcción de una cámara óptica para el estudio in situ de un cometa (67P/Churyumov-Gerasimenko) y, «de pasada» (sobrevuelo o *fly-by*) de dos asteroides (Steins, en septiembre de 2008 y Lutecia en julio de 2010). La misión espacial se llama *Rosetta*. Su definición comenzó en el 1990 y se lanzó al espacio en marzo 2004 desde la Guayana Francesa a bordo de un cohete Ariane V. El objetivo de todos los instrumentos que lleva a bordo, así como de un módulo de aterrizaje, *Philae*, es estudiar exhaustivamente la superficie y subsuperficie del núcleo del cometa, el paso de inactividad a actividad del mismo (ya que la sonda se encuentra con el cometa cuando éste está a unas 3 UA (450 millones de km) en mayo de 2014 y lo orbita a medida que se acerca a su perihelio en 2015), y la coma de gas y polvo que rodea a ese núcleo.

En España, además del IAA-CSIC como institución responsable, participaron también el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) y

la UPM (Universidad Politécnica de Madrid) en las siguientes áreas: (1) el diseño térmico global y análisis estructural; (2) la construcción de una de las 2 cámaras (WAC, *Wide Angle Camera*) que forman el sistema óptico (OSIRIS) de *Rosetta*, excluyendo la óptica y el modelo de placa de pruebas, (3) la fabricación de la rueda de filtros para ambas cámaras (WAC, y NAC, *Narrow Angle Camera*), (4) construcción de la unidad de potencia del instrumento; (5) el controlador de mecanismos del instrumento; y (6) la electrónica del canal IR incluido en la NAC.

Además de esta participación española en las cámaras OSIRIS, el IAA-CSIC tiene un papel crucial en otro instrumento, el GIADA (*Grain Impact Analyzer and Dust Accumulator*), cuyo objetivo es estudiar la dinámica del polvo cometario mediante un sistema de detección de granos de polvo, un sensor de impacto y microbalanzas. La participación española, a cargo del IAA-CSIC, se centra en: (1) la realización, extendida a todos los modelos, de toda la electrónica del sistema que compone la unidad de control de proceso (CPU), la unidad de adquisición y proceso de datos (DPU), interfase con el vehículo espacial y módulo convertidor de potencia (PCM); (2) el desarrollo del software de vuelo asociado; y (3) la participación en el desarrollo del equipo de soporte en tierra (EGSE, *Electronic Ground Support Equipment*).

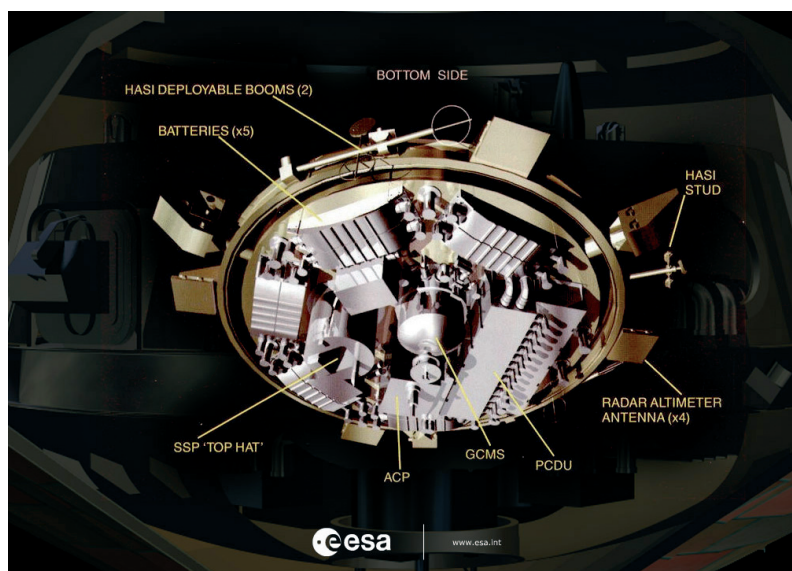
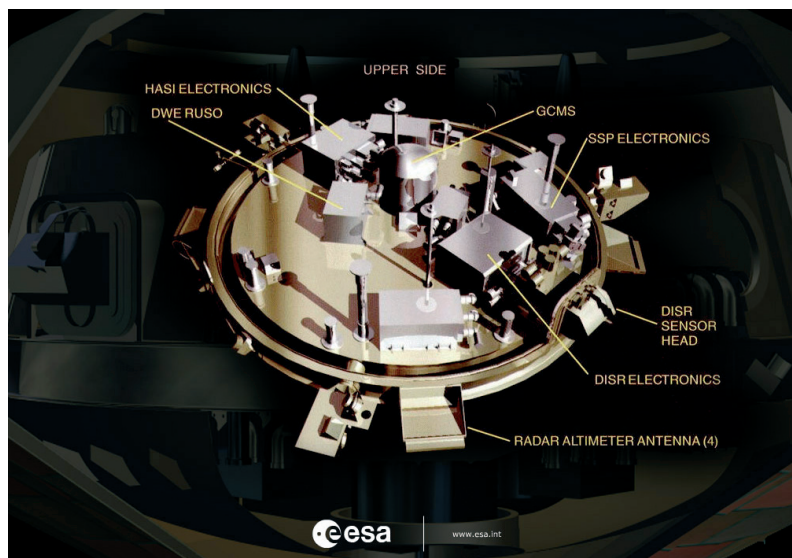
En la actualidad, el IAA-CSIC está embarcado en el desarrollo del primer altímetro láser únicamente europeo que volará en 2013 en la misión *BepiColombo* (ESA-JAXA) a Mercurio, cuyos objetivos científicos son el estudio del interior del plane-

## En la actualidad, el IAA está embarcado en el desarrollo del primer altímetro láser únicamente europeo

ta, la superficie (produciendo mapas de altura con resolución de la decena de metros), la composición mineralógica y elemental, la exosfera y magnetosfera que envuelve al planeta y su interacción con el viento solar, ya que Mercurio tiene un campo magnético anómalo. Este desarrollo, liderado por la Universidad de Berna y el DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.*), supone un gran reto tecnológico en el que el IAA tiene como responsabilidad el diseño del módulo convertidor de potencia (PCU) que distribuye diferentes voltajes a la electrónica de los demás subsistemas. Este módulo convierte la potencia proporcionada por la nave en un voltaje altamente regulado para alimentar el láser.

### El futuro

A medida que la tecnología ha permitido disponer de sensores de UV, IR (cercano, medio o lejano), de ondas submilimétricas, centimétricas, etc., el panorama que se ha abierto a nuestros ojos es infinito, pero además con la certeza de que la confusión respecto a las características reales de aquello que se quiere observar se reducirá a un mínimo. De alguna forma, el desarrollo de instrumentación espacial ha seguido el curso natural del propio ser humano, cuya naturaleza hace que no solo exploremos con el ojo sino que también sean necesarios el resto de los sentidos: oído, tacto, olfato y gusto. Las misiones espaciales empiezan a asimilarse a pequeños compendios de sentidos en los que los robots transitan por la superficie del planeta, desgranar sus rocas, las «miran» por los microscopios de a bordo, las «tocan» con sus brazos articulados, etc.



– Esquemas de la instrumentación alojada a bordo de la Huygens. ESA

Se han resumido muy brevemente casi 30 años de investigación en el espacio en el IAA-CSIC, tanto haciendo ciencia básica como aplicada (es decir, desarrollo tecnológico). El progreso es obvio: se ha pasado de «simples» fotómetros y radiómetros alcanzando escasamente cien kilómetros sobre la base de lanzamiento a haber depositado una sonda a casi 10 UA (1,500 millones de km). El futuro es prometedor, con misiones espacia-

les que aspiran a objetivos como traer a la Tierra material primitivo del Sistema Solar o incluso polvo interestelar. Estamos, sin lugar a dudas, en un momento muy dulce del avance en el Universo más cercano que nos rodea. ■

Luisa M. Lara es doctora en Ciencias Físicas. Desde 2005 es Jefe del Departamento de Sistema Solar en el Instituto de Astrofísica de Andalucía del CSIC.

**El futuro es prometedor, con misiones espaciales para traer material primitivo del Sistema Solar o incluso polvo interestelar**