

EL OBSERVATORIO ESPACIAL HERSCHEL

Pere Planesas

*Observatorio Astronómico Nacional
y
Centro Nacional de Información Geográfica
Instituto Geográfico Nacional - Ministerio de Fomento*

Javier Graciá Carpio

*Fractal SLNE
y
Observatorio Astronómico Nacional*

Abstract

The Herschel Space Observatory will be the first astronomical mission to study the cold Universe at far-infrared and submillimeter wavelengths. Its main goal is to look at the formation of stars and galaxies. It will carry the largest telescope ever launched and three complementary scientific instruments. In this paper we describe the telescope, instruments, operation and main scientific objectives, as well as the OAN/CNIG participation in the design, construction and scientific core program of the heterodyne instrument HIFI.

Introducción

El Observatorio Espacial Herschel, conocido también por sus siglas en inglés HSO y coloquialmente como “Herschel”, es la siguiente gran misión científica en astronomía que la Agencia Europea del Espacio (ESA) va a

lanzar, acompañada de Planck, una misión para el estudio de la radiación cósmica de fondo. Herschel es un vehículo espacial de gran tamaño equipado con un telescopio de 3,5 m de diámetro destinado a observar el universo durante más de 3 años en un rango espectral prácticamente inexplorado hasta la fecha, al no ser observable desde la superficie terrestre y al requerir sistemas de medida que no se han desarrollado hasta muy recientemente. Sus tres instrumentos científicos cubren las regiones del espectro electromagnético conocidas como infrarrojo lejano (FIR, en sus siglas en inglés) y submilimétrico o, más precisamente, detectará radiación emitida o absorbida por los astros entre las longitudes de onda de 55 y 672 μm ¹. Tras su lanzamiento, actualmente previsto en 2008, funcionará como un observatorio astronómico multiusuario disponible para la comunidad científica mundial.

Este vehículo fue bautizado como Observatorio Espacial Herschel en la reunión *The promise of FIRST* que tuvo lugar en Toledo (España) en diciembre de 2000. Inicialmente denominado *Far-InfraRed and Submillimeter Space Telescope* (Telescopio Espacial para el Infrarrojo Lejano y Submilimétrico), se decidió entonces nombrarlo con el apellido del descubridor de la radiación infrarroja, justo dos siglos antes, el músico y astrónomo Friedrich Wilhelm (William) Herschel (1783-1822).

El Observatorio Espacial Herschel, con su gran telescopio de 3,5 m, sus sensibles detectores y su elevada resolución espectroscópica, superará en mucho la capacidad de los telescopios espaciales en infrarrojo lanzados hasta la fecha, alcanzándose así la mayoría de edad de la astronomía del infrarrojo lejano, pues se dispondrá de espectrometría en todo este rango y una elevada resolución espacial. En 1983 se lanzó el satélite IRAS (*InfraRed Astronomical Satellite*), equipado con un telescopio refrigerado de 57 cm de diámetro y que observó el universo durante diez meses a las longitudes de onda de 12, 25, 60 y 100 μm . En 1995 la ESA lanzó el satélite ISO (*Infrared Space Observatory*), equipado con un telescopio de 60 cm, que fué operativo hasta 1998 observando el universo a longitudes de onda entre 2,5 y 240 μm con detectores entre 4 y 1000 veces más sensibles que IRAS y con una cierta capacidad espectroscópica de baja resolución. El telescopio espacial Spitzer, lanzado por la NASA en 2003 y operativo al menos hasta 2008, está equipado con un telescopio de 85 cm de diámetro y es capaz de obtener imágenes a varias longitudes de onda entre 3,6 y 160 μm y espectroscopía de baja resolución entre 5 y 38 μm . El satélite japonés Akari lanzado en 2006 ha dejado de funcionar en frío el pasado 26 de agosto de 2007, después de casi quince meses dedicado a cartografiar casi todo el cielo en seis bandas a longitudes de onda entre 9 y 180 μm con un telescopio de 68 cm refrigerado a -267°C . Estas observaciones son de gran interés para las misiones Herschel y Planck, por lo que la ESA y otros institutos europeos participan en su análisis.

¹Una micra es una milésima de milímetro: $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$

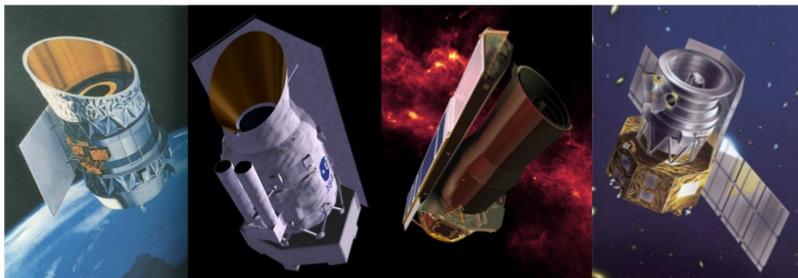


Figura 1: Imágenes artísticas de los observatorios IRAS, ISO, Spitzer y Akari (cortesía de ESA, NASA y JAXA).

Herschel está diseñado para observar el universo “frio”, es decir aquellos astros que hallándose a temperaturas menores de unos cientos de grados Kelvin² tienen su máxima emisión de ondas electromagnéticas a las longitudes de onda en que operan sus instrumentos. El énfasis de las investigaciones se pondrá en asuntos pendientes del mayor interés científico, como son, entre otros: (1) la búsqueda de las protogalaxias más antiguas, su evolución, en particular en la asociación de los intensos brotes de formación estelar y de la actividad en los núcleos de las galaxias del universo primitivo; (2) el nacimiento y evolución de las estrellas y de sus sistemas planetarios; (3) la física y química del medio interestelar, en particular mediante el estudio del agua, y (4) el estudio de los astros más fríos del sistema solar.

El observatorio espacial

La misión Herschel es liderada por Göran Pilbratt, de la ESA. Esta institución construye todo el vehículo excepto los tres instrumentos científicos, cuya integración en el observatorio y su verificación ha llevado también a cabo. Herschel mide aproximadamente 4 m de diámetro, lo máximo que permite el lanzador Ariane 5, y 7.5 m de longitud. En el momento del lanzamiento tendrá una masa de unos 3 170 kg, incluyendo los 2 160 litros (346 kg) de helio líquido superfluido destinado a la refrigeración de los instrumentos. Su progresiva pérdida será la que determine su tiempo de operación, que inicialmente se estima en 3,5 años. Herschel consta de tres partes, además de una gran pantalla, parcialmente recubierta de paneles solares, que protegerá del calentamiento solar y terrestre los elementos que deben funcionar a la menor temperatura posible, como son el telescopio y el criostato.

²La escala de grados Kelvin toma como origen la temperatura teórica más baja posible, conocida como “cero absoluto”, que corresponde a $-273,15^{\circ}\text{C}$, y conserva la misma dimensión para los grados que la escala habitual de grados centígrados o Celsius.

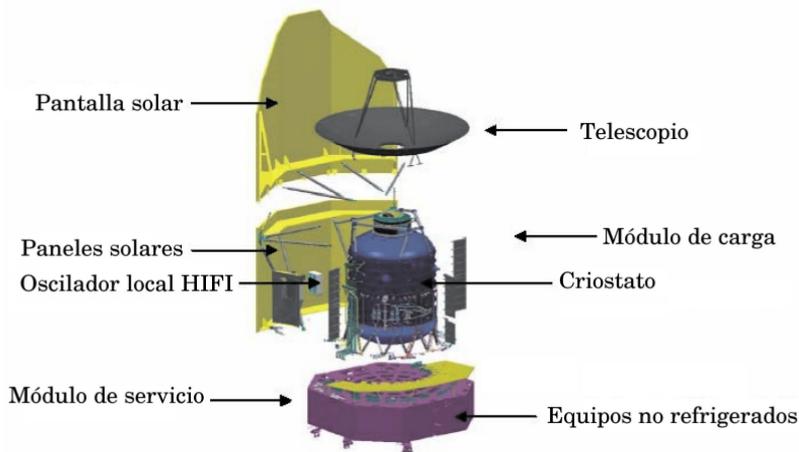


Figura 2: Elementos principales del Observatorio Espacial Herschel.

El telescopio

En un extremo se encuentra el telescopio, de tipo Cassegrain. Es decir, consta de un reflector principal de perfil parabólico que refleja la radiación incidente según su eje en un reflector secundario de perfil hiperbólico que, a su vez, refleja dicha radiación hacia el centro del reflector principal donde una abertura permite que la radiación se encamine hacia los tres instrumentos de medida. El reflector principal, o antena, tiene un diámetro de 3,5 m, el máximo que permite el lanzador para un telescopio hecho de una sola pieza, es decir que no sea desplegable. Es mayor que cualquiera de los telescopios ópticos o infrarrojos que han sido puestos en órbita hasta la fecha, incluido el Telescopio Espacial Hubble. El reflector secundario, o subreflector, es mucho menor, de 31 cm de diámetro, y está sujeto por tres pares de soportes de titanio. Dado que éstos y el subreflector se hallan enfrente del reflector principal, constituyen un obstáculo a la radiación que se intenta detectar, por lo que se ha tratado de reducir lo máximo posible su tamaño y, por lo tanto, sus efectos de bloqueo y de dispersión sobre tal radiación.

La calidad de los elementos ópticos (reflector y subreflector) debe ser tal que se comporten como un espejo para la radiación incidente. Ello significa que su rugosidad y su diferencia con respecto de la figura geométrica teórica debe ser mucho menor que la longitud de onda de trabajo. Las medidas del telescopio que se han realizado en laboratorio a la temperatura de funcionamiento han revelado que las desviaciones (en el sentido cuadrático medio, o *rms*) son de $5,5 \mu\text{m}$, lo que asegura un

funcionamiento óptico hasta longitudes de onda de $82\ \mu\text{m}$ y bueno hasta las $55\ \mu\text{m}$.

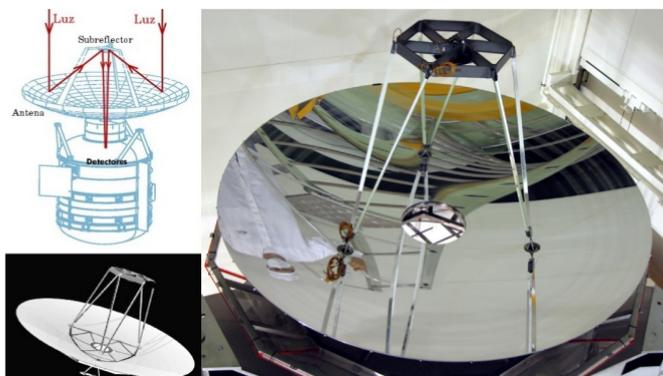


Figura 3: Antena de 3,5 m de diámetro del HSO: (1) Esquema de un sistema Cassegrain. (2) Esquema de la estructura de la antena. (3) Fotografía de la antena montada.

Otro de los fuertes requisitos impuestos al telescopio es que su temperatura debe ser lo más baja posible a fin de que su propia radiación contribuya poco a lo detectado por los instrumentos y apenas perturbe las medidas a realizar. Con tal propósito se ha construido con carburo de silicio (SiC), que además asegura su ligereza (315 kg), recubierto de aluminio reflectante y una fina capa protectora de óxido de silicio. El conjunto se ha protegido con la pantalla solar antes citada. Todo ello asegura una baja emisividad, muy bajas variaciones y bajos gradientes en su temperatura que reducirían su rendimiento, y favorece que su enfriamiento pasivo en el espacio permita alcanzar una temperatura de 80 K, o sea de -193°C . La necesidad de una temperatura lo más baja posible eliminó la posibilidad de que Herschel orbitara la Tierra como hace, por ejemplo, el Telescopio Espacial Hubble, pues en este caso la emisión térmica de la propia Tierra no permitiría enfriar la antena por debajo de 100 K ni aseguraría la estabilidad térmica necesaria.

Los dos módulos

Tras el telescopio se encuentra el Módulo de Carga cuyo elemento principal es el criostato de 2,5 m de altura y 2 m de diámetro que, enfriado hasta 1,7 K mediante el helio superfluido, contiene las correspondientes unidades del plano focal (FPU) de los tres instrumentos. Los elementos de estas FPUs, en especial los detectores, se enfrían a muy bajas temperaturas,

alcanzando en algún caso temperaturas inferiores de 0,3 K, o sea de unos -273°C . En la parte exterior del criostato se encuentran algunos equipos complementarios de los instrumentos y las sujeciones de la pantalla solar y del propio telescopio.



Figura 4: Criostato instalado en un banco de pruebas.

El resto del equipo, que corresponde a la alimentación eléctrica, la electrónica de control, los motores, la parte no refrigerada de los instrumentos científicos, el almacenamiento y procesado de datos, y las comunicaciones, se encuentra en el otro extremo del vehículo, constituyendo el Módulo de Servicio.

Los tres instrumentos científicos

La construcción de cada uno de los tres instrumentos científicos de los que consta Herschel ha sido llevada a cabo por un consorcio de institutos de investigación, observatorios y departamentos de universidad, cada uno de los cuales ha aportado aquella técnica en que es experto o incluso líder a nivel europeo. Para participar, cada institución ha tenido que demostrar frente al Investigador Principal del instrumento su capacidad

para diseñar el equipo correspondiente de manera que dé las mejores prestaciones, su capacidad para producirlo con características espaciales y la disponibilidad de los fondos necesarios para todo ello. Las agencias nacionales de subvención de proyectos espaciales han debido dar el apoyo necesario durante el largo periodo de tiempo que exige un desarrollo de este tipo, típicamente superior a una década. En el caso de España, han intervenido el Ministerio de Educación y Ciencia, a través del Plan Nacional del Espacio, y el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial).

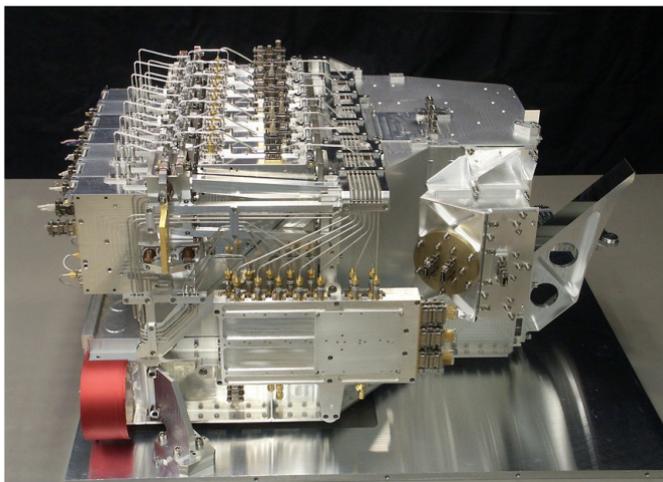


Figura 5: Unidad del plano focal (FPU) del instrumento heterodino HIFI. Las FPUs son los elementos que necesitan ser refrigerados a temperaturas cercanas al cero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$) y, por ello, se instalan en un banco óptico en la parte superior del criostato.

El instrumento HIFI

Es el instrumento heterodino de Herschel (Heterodyne Instrument for the Far-Infrared), un sistema que permite analizar el espectro electromagnético a unas frecuencias mucho menores que las de observación y, gracias a ello, alcanzar una resolución espectral muy elevada, hasta $R = \lambda/\Delta\lambda \sim 10^7$, sólo alcanzable actualmente en Radioastronomía. En el caso extremo, permitirá alcanzar una resolución en velocidad tan baja como 0,02 km/s. Este fue uno de los requisitos del diseño, junto con la capacidad de realizar exploraciones espectrales de manera eficiente y con alta resolución en toda su banda, que debía alcanzar desde las transiciones del O_2 y del carbono a $\sim 610 \mu\text{m}$ hasta la transición a $158 \mu\text{m}$ del ión C^+ .

HIFI permitirá medir miles de líneas espectrales de átomos, moléculas e iones del medio interestelar y de envolturas de estrellas, en el rango de 157 a 625 μm , o sea de 480 a 1910 GHz^3 , un rango prácticamente inaccesible desde radiotelescopios situados en la superficie terrestre. Se realizarán así inventarios de moléculas en muy diversos entornos (regiones de formación estelar, nebulosas difusas, discos protoplanetarios, galaxias cercanas, etc), y permitirá analizar muchas transiciones de una de las moléculas más interesantes del universo, la del agua. Con ello se pretende avanzar en el conocimiento de la interacción cíclica entre las estrellas y la materia interestelar en las galaxias.

Para ello dispone de 14 receptores heterodinos, que cubren siete bandas en dos polarizaciones independientes (5 de ellos cubren de manera continua el rango de 480 a 1250 GHz y los otros dos de 1410 a 1910 GHz), lo cual redundará en una mejor sensibilidad y en redundancia ante fallos. Estos receptores se basan en tecnologías punteras, empleando mezcladores de señal tipo superconductor-aislador-superconductor (SIS) y tipo bolómetro de electrones calientes (HEB), seguidos de una etapa de amplificación (IF1) de muy bajo ruido y banda ancha, diseñada y construida en los laboratorios del Centro Astronómico de Yebes, del Observatorio Astronómico Nacional (OAN). En la construcción de HIFI han participado 20 institutos de 12 países liderados por Thijs de Graauw, del Instituto Holandés para la Investigación Espacial (SRON).



Figura 6: Instituciones participantes en el Consorcio de HIFI, típica colaboración para construir un instrumento científico espacial.

³ 1 $\text{GHz} = 10^9$ Hz es una unidad de medida de la frecuencia apropiada para estas longitudes de onda. Frecuencia (ν) y longitud de onda (λ) se relacionan entre sí mediante la expresión: $\nu\lambda = 299792 \text{ GHz } \mu\text{m}$.

El instrumento PACS

Se trata de una cámara fotométrica a la vez que espectrométrica que cubre el rango de menor longitud de onda de Herschel. Cubre con gran sensibilidad un rango esencial para el estudio de la historia de la formación estelar y la actividad nuclear en las galaxias, el estudio de envolturas circumestelares y su influencia en la química interestelar, y el nacimiento de las estrellas.

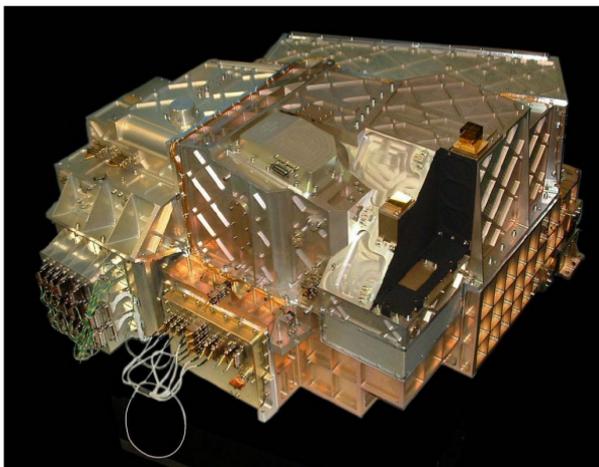


Figura 7: Unidad del plano focal (FPU) del instrumento PACS (cortesía de MPE).

El instrumento PACS (*Photodetector Array Camera and Spectrometer*) ha sido concebido, diseñado y construido por un consorcio de 14 institutos de 6 países liderados por Albrecht Poglitsch, del Instituto Max-Planck para Física Extraterrestre (Alemania). Es el instrumento que cubre las longitudes de onda más cortas, entre 55 y $210 \mu\text{m}$. Consta de dos cámaras bolométricas de 32×16 y 64×32 píxeles que operan en tres bandas anchas (llamadas también “colores”), de $65 - 85$, $85 - 130$ y $130 - 210 \mu\text{m}$, pudiendo esta última observarse simultáneamente con una de las otras dos. La cámara cubre en el cielo un campo de $1,75' \times 3,5'$.

PACS también puede usarse como cámara espectrométrica de resolución media, midiéndose 16 valores espectrales contiguos en cada una de las 5×5 posiciones del cielo que observa simultáneamente. En este modo se cubre un campo de $47'' \times 47''$ en el cielo con una resolución espectral que depende de la longitud de onda de observación. En la más baja se obtiene una resolución de $R = 5000$, mientras que a la más elevada se obtiene una resolución de 1000.

El instrumento SPIRE

Este instrumento cubre un rango del espectro electromagnético parecido a HIFI, pero hace incapié en la sensibilidad fotométrica, mientras que la resolución espectral que alcanza es baja o moderada. Es un elemento complementario tanto de HIFI como de PACS y que puede ser usado en paralelo con éste. Los objetivos principales de este instrumento son la investigación de la formación de galaxias en el universo remoto y el estudio de las primeras etapas del nacimiento de las estrellas, cuando la protoestrella está aún sumergida en el medio interestelar donde se formó.

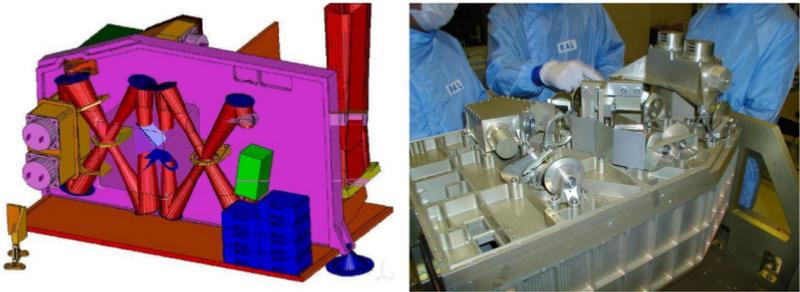


Figura 8: Esquema y montaje parcial de la unidad del plano focal (FPU) del instrumento SPIRE.

El instrumento SPIRE (*Spectral and Photometric Imaging Receiver*) ha sido concebido, diseñado y construido por un consorcio de 16 institutos en 8 países, liderados por Matt Griffin, de la Universidad de Cardiff (Reino Unido). Complementa a PACS a las longitudes de onda más largas, de 194 a 672 μm , disponiendo de tres cámaras fotométricas y de una cámara espectrométrica de baja resolución. Las tres cámaras fotométricas operan simultáneamente en las bandas de 250, 360 y 500 μm . Las tres cubren un mismo campo de $4' \times 8'$ en el cielo, aunque con píxeles de distinto tamaño. El espectrómetro en transformada de Fourier permite la observación simultánea de toda una banda desde 194 a 672 μm con baja resolución espectral (R entre 40 y 1000) cubriendo un campo en el cielo de $2' \times 2'$.

Participación del OAN/CNIG

Los astrónomos e ingenieros del OAN han estado involucrados en el proyecto Herschel desde su concepción inicial hace unos veinte años. Especialistas en las técnicas de Radioastronomía (tanto en el uso de radiotelescopios como en el desarrollo de equipos para ellos), la participación se

decantó de manera natural hacia el instrumento HIFI, que emplea técnicas y modos de observación típicos en Radioastronomía de alta frecuencia. Las investigaciones realizadas con HIFI supondrán una extensión a más altas frecuencias (submilimétricas e infrarrojo lejano) de las que actualmente se realizan en el OAN a frecuencias milimétricas utilizando radiotelescopios situados en alta montaña.

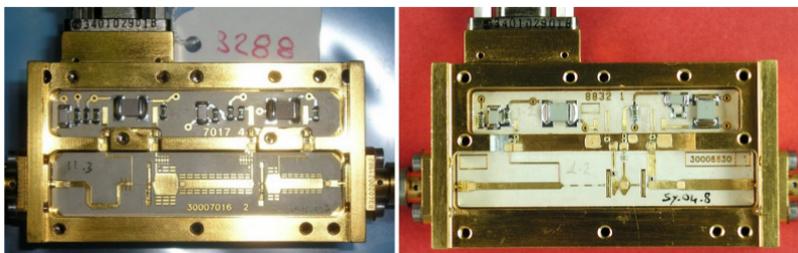


Figura 9: Amplificadores criogénicos de bajo ruido y banda ancha construidos por el OAN/CNIG para el instrumento HIFI. El de la izquierda corresponde al diseño realizado para los receptores 1 a 5 y el de la derecha para los receptores 6 y 7.

Desde el punto de vista técnico, esta colaboración suponía extender la experiencia del equipo de ingenieros en amplificadores criogénicos de bajo ruido al sector espacial. Su amplia experiencia lograda en la década de 1990 en el diseño y la construcción de amplificadores criogénicos de arseniuro de galio (GaAs) para la frecuencia intermedia de receptores que operan en ondas milimétricas y submilimétricas hizo que los amplificadores del OAN fueran considerados los mejores de Europa por sus prestaciones de ruido, ganancia, planitud de la banda, etc. Los retos de participar en HIFI consistían, primero, en demostrar su capacidad para diseñarlos y realizarlos con los novedosos dispositivos de fosforo de indio (InP) jamás usados en el espacio y raramente en tierra, superando las exigentes prestaciones requeridas por el Consorcio de HIFI, como son un bajo consumo de energía, menor a 5 mW, una banda ancha de 4 GHz y muy bajo ruido, menor a 5 K. Tras ello se formalizó el encargo, y después se transfirió este conocimiento de I+D a la industria espacial española. Ambos retos fueron superados satisfactoriamente. En total se han construido más de 50 amplificadores (prototipos, modelos de demostración, de cualificación, de vuelo y repuestos), la mayoría de ellos (40) cualificados espacialmente.

Desde el punto de vista astrofísico, la participación en HIFI supone para los astrónomos del OAN el acceso a una parte del espectro electromagnético prácticamente inexplorada, que debe permitir avanzar en el conocimiento de los diversos campos de investigación en que dichos astrónomos están involucrados desde hace años. Tales son el estudio de las regiones y

procesos de formación estelar, el de las nebulosas y envolturas alrededor de estrellas viejas, y el de las condiciones físicas y químicas del medio interestelar en otras galaxias, claves para comprender el nacimiento de estrellas y la actividad del núcleo en ellas.

Por razones operativas y de gestión, la contribución española a HIFI se realiza desde el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), con fondos provistos inicialmente por el MCyT y actualmente por el MEC, dentro del Plan Nacional del Espacio, y con el soporte técnico y científico del OAN, ambas instituciones, OAN y CNIG, dependientes de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. Pere Planesas es el investigador principal de esta contribución.

Otras participaciones españolas

España participa en la construcción de los tres instrumentos científicos de Herschel. La contribución en PACS y SPIRE es realizada por el Instituto de Astrofísica de Canarias bajo el liderazgo, respectivamente, de Jordi Cepa e Ismael Pérez Fournón. La mayor contribución se realiza en PACS, para el que se ha construido la unidad de procesamiento de la señal y compresión de datos, además de contribuciones a cada Centro de Control del Instrumento (ICC).

La contribución al ICC de HIFI, que se inició en el CNIG/OAN, actualmente se lleva a cabo en el Departamento de Astronomía Molecular e Infrarroja, del CSIC, liderada por J. Martín-Pintado. Por otra parte, en el CNIG se están desarrollando aplicaciones web para la difusión rápida de los resultados del programa clave liderado por el OAN, una de las exigencias de los consorcios de los instrumentos de Herschel. En las páginas web <http://www.oan.es/hifi/> se encontrará además información complementaria recopilada o redactada por Javier Graciá.

En la construcción de Herschel y sus instrumentos han participado más de una docena de empresas españolas del sector espacial o relacionadas con él, además de empresas de desarrollo de software científico, como son, entre otras: Alcatel Espacio, CRISA, EADS CASA, Fractal, GMV, INTA, MASA, RYMSA, Sener, Tecnológica y TTI Norte.

Órbita y operaciones

Herschel y Planck serán enviados al espacio simultáneamente con un lanzador Ariane 5 ECA (que permite cargas dobles) desde el Centro Espacial Guyanés situado a una latitud de 5°, cerca de Kourou, en el litoral de la Guayana Francesa, en Sudamérica. Ambos vehículos espaciales seguirán sendas trayectorias independientes que los situarán en órbita alrededor del segundo punto lagrangiano (L2) del sistema Tierra-Sol, un

punto de equilibrio situado en la prolongación de la línea recta que une el Sol y la Tierra. Este punto se encuentra a 1,5 millones de km de la Tierra, unas cuatro veces más lejos que la Luna. Herschel se encontrará, pues, en órbita alrededor del Sol pero, a pesar de encontrarse más lejos de él que la Tierra, su periodo será igual al de ésta pues, por su cercanía, ésta lo “arrastrará”. Visto desde la Tierra, Herschel parecerá describir una amplia trayectoria de Lissajous alrededor del punto L2, llegando a alejarse de él hasta 800.000 km y con un periodo de medio año. La distancia a la Tierra variará entre 1,2 y 1,8 millones de km. Al tratarse de una órbita inestable, se corregirá una vez al mes.

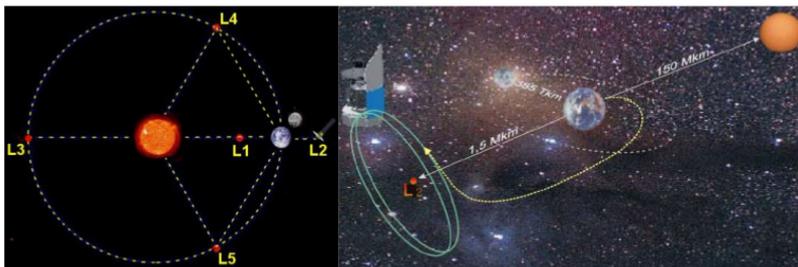


Figura 10: Puntos de Lagrange del sistema Sol-Tierra. Herschel orbitará alrededor del punto L2, tal como se indica en el esquema de la derecha.

Durante el recorrido hasta su órbita en L2, una vez estabilizado en sus tres ejes y tras la última corrección de trayectoria prevista para el día decimosegundo de viaje, se iniciarán el enfriamiento del telescopio y la verificación del funcionamiento de todos los instrumentos y equipos de Herschel, fase de *commissioning* que se prevé dure a lo sumo tres meses. La apertura de la cubierta del criostato, a un mes o dos tras el lanzamiento, supondrá la primera luz para el observatorio. Se realizarán medidas de algunas fuentes de radiación, predominantemente del sistema solar, para evaluar su rendimiento, eficiencia, apuntado, estabilidad y demás características esenciales para su buen funcionamiento, incluido el procesado y envío de datos. Al final de esta fase Herschel se encontrará en su órbita definitiva.

A continuación se dedicarán al menos dos meses a la fase de demostración científica, en que se optimizará su funcionamiento y se determinará la sensibilidad real de los instrumentos, conociéndose así las capacidades del nuevo observatorio espacial. Tras esta etapa se harán públicas las primeras imágenes y los primeros espectros, tomados hacia astros de especial interés, tanto para los científicos como para el público en general. Se realizarán reuniones de trabajo para informar a los científicos de las consecuencias de estos resultados y de la posible necesidad de variar sus estrategias

de observación para optimizar el uso del observatorio. Se planea dedicar un máximo de 6 meses tras el lanzamiento al conjunto de las tareas descritas, tras las cuales se iniciarán las operaciones científicas rutinarias que deberán durar al menos 3 años, hasta que se agote el helio necesario para su buen funcionamiento.

Durante las operaciones científicas, se dedicarán 21 horas diarias a las observaciones astronómicas, maniobras y diversas calibraciones, que se realizarán de modo autónomo. Tres horas diarias se dedicarán al contacto con el Centro de Control de la Misión (situado en el European Space Operations Control Centre en Darmstadt, Alemania) para la descarga de los datos tomados durante el día, vía la estación de Perth (Australia) o, en caso de emergencia, de la de Cebreros (España). Previamente, los datos (unos 8 Gbits por día) habrán sido comprimidos digitalmente para aprovechar al máximo el ritmo de transmisión de 130 kbps. Para la verificación de su calidad, los datos se remitirán al Centro Científico de Herschel (HSC) que se encuentra en el Centro Astronómico Espacial Europeo (ESAC), con sede en Villafranca del Castillo, cerca de Madrid (España). Su contrapartida norteamericana se encontrará en el centro de datos y científico para astronomía infrarroja IPAC en Pasadena (California).

Los procedimientos de calibración y de procesado estándar de los datos de cada instrumento se llevarán a cabo en los sendos Centro de Control del Instrumento (ICC) que se han organizado para tal propósito. Cada uno de ellos tiene su sede en el mismo instituto que ha liderado la construcción del instrumento en cuestión y cuenta con la colaboración de las demás instituciones de los respectivos consorcios. La reducción de datos final será llevada a cabo por los astrónomos que participan en cada una de las propuestas de observación, contando con el apoyo del ICC correspondiente al instrumento usado.

Objetivos científicos

Se considera que habrá unas 20.000 horas (mil días) de observación disponible para realizar las observaciones científicas. Una fracción de este tiempo será asignada al Centro Científico de Herschel, como compensación a los astrónomos que dedican su tiempo a las calibraciones, apuntado y planificación de observaciones, y hasta un 4 % adicional podrá ser usado de forma discrecional por el Investigador Principal (IP), asignándose a observaciones de gran interés o que no pueden esperar (un astro variable, un cometa especialmente brillante, una nueva medida sugerida por un interesante resultado inesperado, etc.).

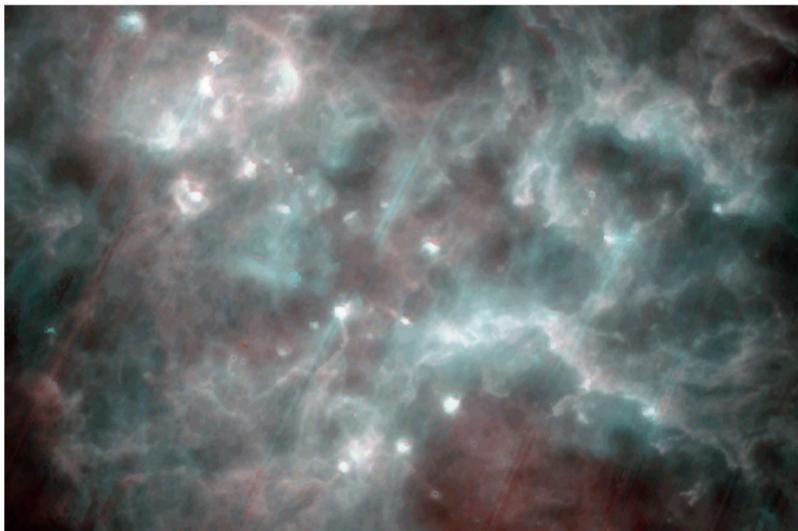


Figura 11: Imagen en el infrarrojo lejano (a 90 y 140 μm) de la región de Cygnus X tomada por Akari en julio de 2007 (cortesía de JAXA).

Los programas clave

El tiempo de observación con Herschel se repartirá en varios bloques. Uno de ellos, equivalente al 32 % del total, corresponde a los Programas Clave de Tiempo Garantizado. Los programas clave son grandes proyectos de investigación, de más de 200 horas de observación, que hacen uso de capacidades únicas de Herschel para abordar temas científicos importantes de manera completa, en base a realizar observaciones de manera uniforme y coherente a fin de producir bases de datos de alto valor para la comunidad científica, tanto en la actualidad como en el futuro, cuando nuevos instrumentos puedan complementarlos. Aquellos programas clave que forman parte del Tiempo Garantizado corresponden a los que se han planteado en el seno de los consorcios que han construido cada uno de los instrumentos y que son el retorno al que tienen derecho por la inversión realizada (tanto en fondos como en horas de trabajo) por su participación. El día 4 de abril de 2007 se presentaron 21 Programas Clave de Tiempo Garantizado para ser evaluados por un comité de expertos (entre los que se encuentra R. Bachiller, director del OAN) establecido por el Centro Científico de Herschel (HSC), que los aprobaron total o parcialmente.

Otra fracción importante del tiempo de observación, que puede llegar a ser de otro tercio del total, corresponderá a los Programas Clave de Tiempo Abierto, es decir aquellos que, satisfaciendo los mismos requisitos que

los ya aprobados, son propuestos por equipos de científicos de todo el mundo, hayan o no participado en la construcción de los instrumentos. Se espera que se presenten decenas de propuestas que serán evaluadas siguiendo los procedimientos habituales de evaluación por un comité, asignándose tiempo de observación a las mejores. En la reunión científica sobre programas clave de tiempo abierto que tuvo lugar en la sede de la ESA en Noordwijk (Holanda) en febrero de 2007 se defendieron al menos 40 ideas para posibles propuestas. El día 28 de febrero de 2008 se hará pública la lista de propuestas de este tipo aprobadas.

El resto del tiempo de observación se dedicará principalmente a propuestas normales de tiempo abierto a toda la comunidad científica. Es decir, se tratará de propuestas de observaciones de duración corta o media que pretenden abordar estudios muy específicos. Habrá al menos dos convocatorias para presentar tales propuestas, la primera de las cuales tendrá lugar en 2008.

La participación del OAN

Varios científicos de esta institución han estado involucrados durante años en la definición de los programas clave más relacionados con su área de mayor experiencia. Asimismo, participan en los trabajos preparatorios necesarios, tales como la realización de observaciones complementarias con radiotelescopios terrestres o el modelado de la transferencia de la radiación que se va a observar en ciertos tipos de astros. Los programas clave de tiempo garantizado aprobados en los que astrónomos del OAN participan a nivel de co-Investigadores son:

- Observaciones de agua y monóxido de carbono en envolturas de estrellas AGB (rama gigante asintótica), prenebulosas planetarias y nebulosas planetarias (V. Bujarrabal (IP), J. Alcolea, P. Planesas).
- Agua en regiones de formación estelar (R. Bachiller, M. Tafalla, A. Fuente).
- El medio interestelar denso y caliente (A. Fuente, P. de Vicente).
- Condiciones físicas y químicas del medio interestelar en núcleos galácticos (S. García Burillo, P. Planesas).
- Exploraciones espectrales en regiones de formación estelar (A. Fuente, M. Tafalla).

Es decir, se participa en la mayoría de programas clave garantizados del consorcio de HIFI. Es de destacar que uno de los programas clave aprobados está liderado por un astrónomo del OAN, tanto más cuanto

la contribución española en HIFI en términos económicos no es grande. Posiblemente han influido tanto la probada experiencia de V. Bujarrabal y colaboradores en el OAN en este área de investigación, como el esfuerzo realizado por el equipo de ingenieros del Centro Astronómico de Yebes (J.D. Gallego, I. López Fernández, M. C. Díez, A. Barcia) en su continua disponibilidad y asistencia desinteresada y entusiasta a otros grupos del consorcio en el diseño y la integración de sus propios equipos en HIFI, como también la participación activa del CNIG/OAN en la resolución de crisis que han supuesto desembolsos de fondos y esfuerzos adicionales.

Está prevista la participación de otros astrónomos de plantilla y becarios pre o postdoctorales del OAN en estos proyectos científicos, como investigadores asociados, así como su participación en las propuestas de tiempo abierto que actualmente (agosto de 2007) se están preparando.



Figura 12: Despegue de un Ariane 5 (cortesía de ESA).

El lanzamiento

A fecha de hoy la ESA mantiene como fecha más tardía para el lanzamiento de Herschel el 31 de julio de 2008. Sin embargo, los retrasos habidos en la entrega y verificación de los instrumentos de Herschel, así como los habidos con Planck, pueden obligar a retrasar este lanzamiento previsiblemente en medio año, lo que obligaría a gastos adicionales que la ESA quiere evitar. Por ello, se están realizando grandes esfuerzos para mantener como fecha de lanzamiento la prevista. El plan científico, los anuncios de oportunidades para el uso de Herschel y el desarrollo de

software para el análisis de los datos de cada instrumento, se mantienen usando como referencia la fecha oficial de lanzamiento.

Se prevé que las actividades asociadas a Herschel terminen en cuanto las últimas observaciones calibradas y depuradas hayan sido almacenadas en el archivo final, lo que previsiblemente ocurrirá al menos seis años tras su lanzamiento. Dicho archivo será accesible, por ejemplo vía Observatorio Astronómico Virtual, y se espera que sea una referencia útil para los astrónomos durante décadas, como lo ha sido el archivo de su predecesor IRAS.

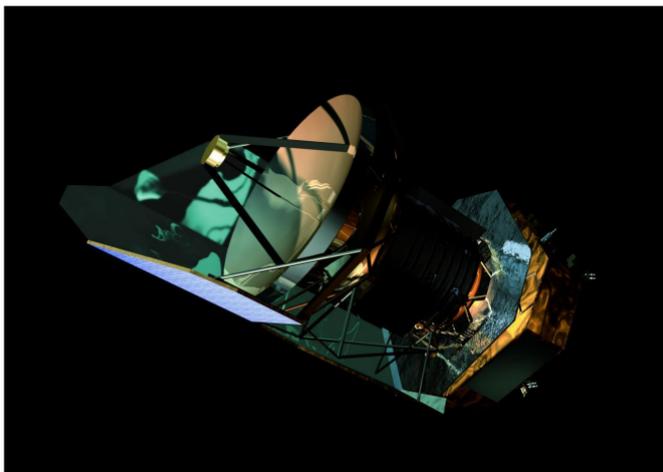


Figura 13: Imagen artística del Observatorio Espacial Herschel, HSO (cortesía de ESA).

Referencias

<http://sci.esa.int/herschel>
<http://herschel.jpl.nasa.gov/>
<http://herschel.esac.esa.int>
<http://www.ipac.caltech.edu/Herschel/>
<http://smc.cnes.fr/HERSCHEL/>
<http://www.oan.es/hifi/>