

Las dos naves Voyager fueron lanzadas al espacio por la NASA en 1977. Desde entonces, ambos ingenios han explorado nuestro Sistema Solar, circunnavegando los planetas vecinos. A pesar del paso del tiempo, las dos naves siguen operativas y con el sistema de control de posición funcionando correctamente, aunque con alguna pérdida en el subsistema de redundancia. Las Voyager poseen la energía eléctrica suficiente para que sus instrumentos sigan vivos al menos hasta el año 2020. Una vez alcanzada esa fecha, las operaciones de las naves finalizarán, quedando fuera de servicio.

La aventura interestelar de las naves Voyager

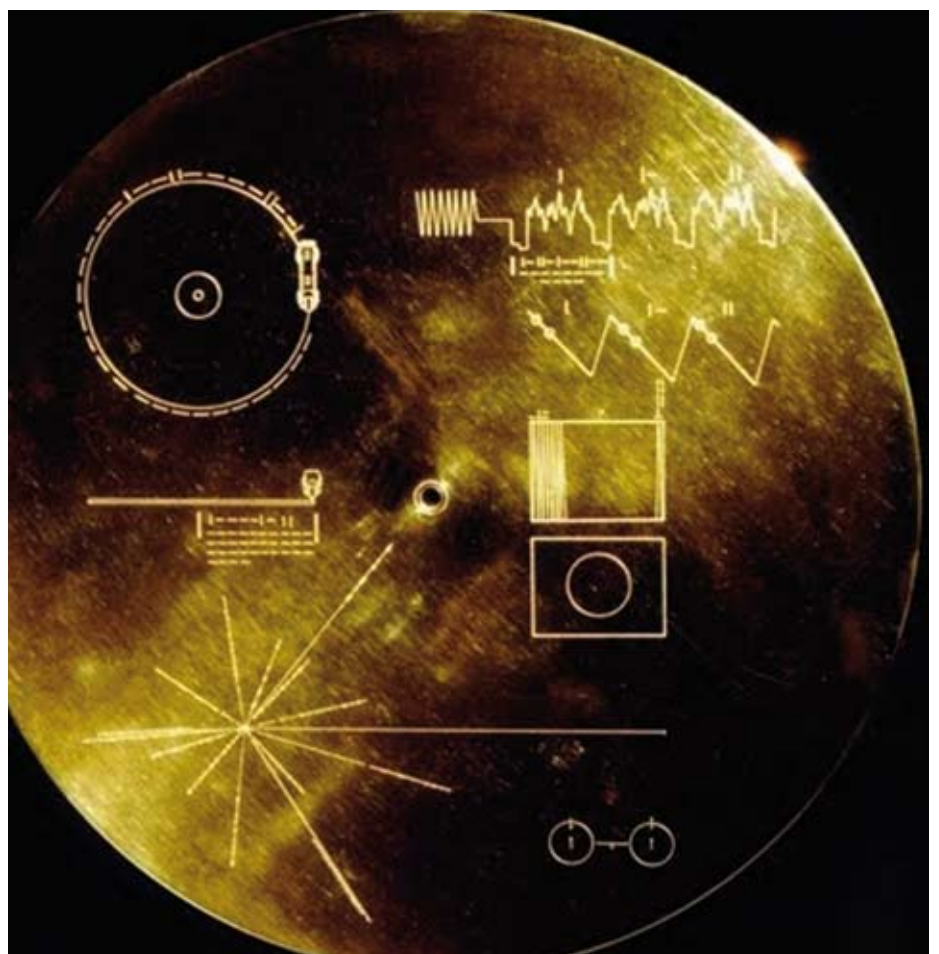
Francisco Sánchez-Lafuente Pérez,
Ingeniero Técnico de Telecomunicación

La energía eléctrica es proporcionada por unos Generadores Termoeléctricos de Radioisótopos (RTGs) que aportan aproximadamente 470 vatios (esta medida cuando fueron lanzadas). Debido a la pérdida radioactiva natural del Plutonio, la energía suministrada por los RTGs está continuamente descendiendo. Así, a comienzos de 1997, el generador del Voyager 1 había bajado a 334 vatios, mientras que el del Voyager 2 lo había hecho a 336 vatios. Para alargar el tiempo de vida de las sondas, la Nasa planea ir desconectando progresivamente los instrumentos a medida que va disminuyendo la energía.

La tabla de la página siguiente representa fechas e instrumentos que serán desconectados.

Para aumentar la capacidad de adquisición de datos de los campos magnéticos y las partículas, los primeros instrumentos en ser apagados serán los calentadores de las plataformas de escaneo, y como consecuencia de las bajas temperaturas que se alcanzarán, el UVS dejará de funcionar.

La terminación de las operaciones de giro hará imposible calibrar el magnetómetro con sus maniobras de rotación (MAGROLs). Son unas maniobras



Las dos naves llevan un disco de oro que contienen imágenes y sonidos de la vida en la Tierra

| | Voyager 1 | Voyager 2 |
|--|----------------------|----------------------|
| Termina la plataforma de escaneo y las observaciones UV | 2000 | 1998 |
| Terminan las operaciones de giro | 2011 | 2010 |
| Terminan las operaciones de DTR | 2010 | 2012 |
| Se empieza a compartir la energía entre los instrumentos | 2018 | 2016 |
| No se puede dar soporte eléctrico a ningún instrumento | No mas allá del 2020 | No mas allá del 2020 |

realizadas 6 veces cada año en cada nave, y consisten en 10 vueltas sucesivas de 360 grados sobre el eje de rotación. También se terminarán las maniobras de posicionamiento usadas para chequear la calibración combinada del Sensor del Sol y la Antena de Alta Ganancia. Por último, los ingenios espaciales compartirán la energía resultante limitando el número de los instrumentos que pueden estar aun encendidos hasta que ya no sea suficiente para mantenerlos. Después, las naves quedarán totalmente desactivadas.

Cada Voyager lleva un disco de oro, que contiene imágenes y sonidos que representan las culturas humanas y la vida en la Tierra. El material grabado fue seleccionado por una comisión dirigida por el fallecido divulgador científico Carl Sagan. Unos sencillos diagramas en la cubierta representan simbólicamente el origen de la nave y dan instrucciones para reproducir el disco.

También contiene 115 imágenes (+1 de calibración) donde se explica en len-

guaje científico la localización del Sistema Solar, las unidades de medida que se utilizan, características de la Tierra y características del cuerpo y la sociedad humana.

La construcción especial de estos discos debería proporcionarles una larga vida mientras atraviesan el espacio interestelar. Las dos astronaves no efectuarán una aproximación cercana a otro sistema planetario hasta dentro de 40.000 años como mínimo.

Las sondas espaciales gemelas estadounidenses Voyager I y Voyager II, fueron lanzadas en 1977 por dos cohetes Titan IIIE-Centaur/6 y Titan IIIE-Centaur/7 respectivamente. La misión que llevan a cabo desde entonces constituye sin duda uno de los acontecimientos más importantes de la carrera espacial. El objetivo de estas dos sondas era la exploración de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno aprovechando la gravedad (tirón gravitacional asistido) y la especial conjunción en su posición en el espacio de estos planetas y que evita en

gran medida tener que utilizar los instrumentos de propulsión de a bordo.

El sobrevuelo de cada planeta modifica la ruta de vuelo de la sonda y aumenta su velocidad, lo suficiente como para entregarla al próximo destino haciendo que puedan pasar de un planeta al siguiente aprovechando el impulso gravitacional del anterior en su trayectoria, tras recoger y almacenar los datos proporcionados por los instrumentos de a bordo en su aproximación al planeta y con un gasto mínimo de combustible.

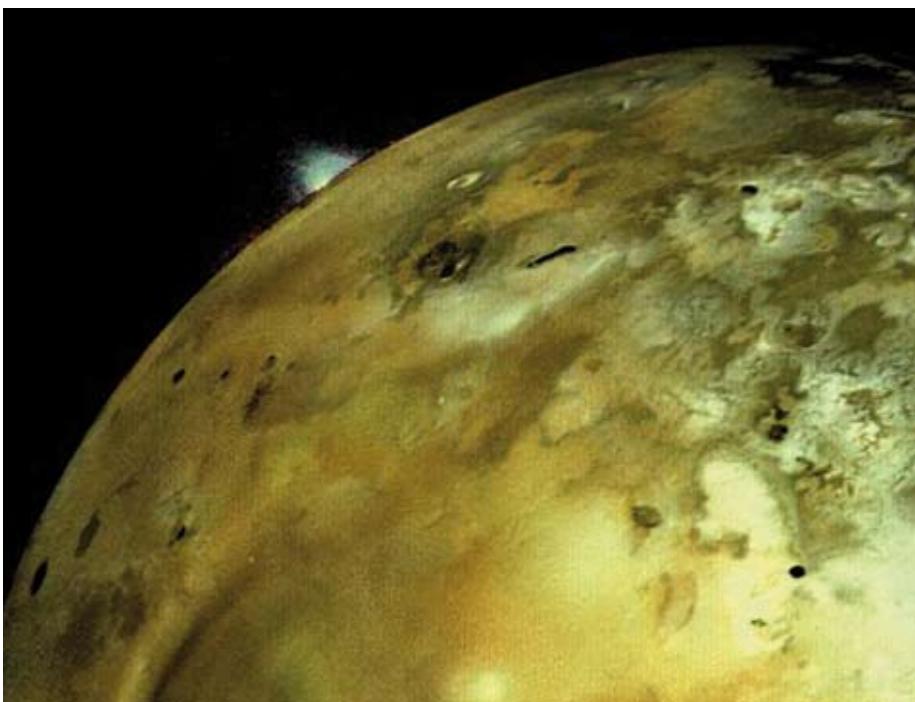
Se diseñaron con materiales resistentes a las radiaciones, y las piezas más sensibles recibieron una protección suplementaria. Un juego de 16 propulsores permitía a las naves controlar la posición y corregir la trayectoria. Cada uno de ellos producía un empuje de sólo 0,85 newtons, de forma que la nave podía realizar maniobras delicadas.

Ambas naves tienen un peso de 815 Kg y su longitud es de 3,35 m. La Voyager I fue lanzada el 5 de septiembre de 1977 desde Cabo Cañaveral (hoy cabo Kennedy), Florida y la Voyager II el 20 de agosto de 1977. El cuerpo central está constituido por un prisma de 10 caras. La carga útil de la misión científica principal consistió en 10 instrumentos. Se mantienen cinco equipos investigadores, aunque los datos son recogidos por dos instrumentos adicionales.

En total está constituida por 65.000 piezas.

Las Voyager tienen idénticos sistemas de estabilizado de tres ejes que utilizan el control de referencia celeste o giroscopios para mantener apuntadas las antenas de alta ganancia hacia la Tierra. Cada sonda está equipada con los siguientes instrumentos científicos:

- *Imaging Science Subsystem (ISS)*: dos cámaras para captar imágenes en el rango visible del espectro. La "Wide Angle Camera" (Cámara de gran angular) tiene una distancia focal de 200 mm. y una apertura de 60 mm. La "Narrow Angle Camera" (Cámara de pequeño angular) tiene 1.500 mm. de distancia focal y 176 mm. de apertura. Ambas cámaras están equipadas con 8 filtros de colores.
- *Photopolarimeter Subsystem (PPS)*: usado para medir la composición de las masas observadas, detectando cómo cambia la luz cuando es reflejada por ellas.



La Voyager descubrió actividad volcánica en Io, uno de los satélites de Júpiter.



- **Infrared Interferometer Spectrometer and Radiometer (IRIS):** usado para medir la temperatura de las masas observadas, la composición elemental de las atmósferas y la energía IR reflejada en los cuerpos sólidos.
- **Ultraviolet Spectrometer (UVS):** usado para medir la composición elemental atmosférica de los planetas visitados y para identificar la presencia de ciertos procesos físicos que desprende radiación UV.
- **Radio Science Subsystem (RSS):** usa las ondas de radio que portan la telemetría de la nave para medir densidades, temperaturas y presiones atmosféricas, y para estimar la composición de los anillos planetarios.
- **Plasma Subsystem (PLS), Low Energy Charged Particle (LECP), Cosmic Ray Subsystem (CRS):** tres instrumentos independientes usados para detectar partículas cargadas en diferentes escalas de energía. Los especialmente señalados están funcionando en la actualidad. El resto están desconectados.

Las características de los sistemas de telecomunicación de ambas sondas son similares y en particular y para el envío de imágenes a la Tierra radiaban a la frecuencia de 8,466 Ghz y una antena de 3,4 m de diámetro y una ganancia de 48,13 dB.

El segmento terrestre del sistema de telecomunicaciones que se empleó para recibir las imágenes de las sondas Voya-

imágenes de Júpiter, estas antenas tenían un diámetro de 64 m y una ganancia de 72,2 dB a la frecuencia de transmisión de las sondas.

Entre las fechas de recepción de las imágenes de Júpiter (1979) y la recepción de la imágenes de Saturno (1989), las instalaciones de la DSN fueron mejoradas para compensar la reducción de la señal que se iba a producir como consecuencia del incremento de distancia; las antenas pasaron a tener un diámetro de 70 m y una ganancia de 73,4 dB; la temperatura total de ruido se redujo a 25,5 K y se disminuyó la velocidad de transmisión, pasando a un ancho de banda de 21,6 kHz.

Debido a la codificación empleada en la transmisión de las imágenes de Neptuno, solo era necesaria una relación señal ruido de 3 dB para obtener probabilidades de error en el bit inferiores a 5×10^{-3} . Para asegurar una buena recepción de las imágenes de Neptuno fue necesario combinar la señal recibida por una antena de 70 m, dos de 34 m y las 27 antenas de 25 m de diámetro del radiotelescopio VLA (Very Large Array) de Nuevo México, que proporcionaron 5dB adicionales de mejora en la relación señal-ruido permitiendo compensar factores adicionales de pérdidas (por hidrometeoros ó absorciones atmosféricas).

Las señales que se envían desde **MDSCC (Madrid Deep Space Communication Complex)** al Voyager 1 tardan a la velocidad de la luz **14 horas y 20 minutos**

La mayor parte de los que conocemos de Neptuno se lo debemos al Voyager II

- **Planetary Radio Astronomy (PRA):** mide las señales de RF emitidas por el Sol y los planetas gaseosos.
 - **Plasma Wave Subsystem (PWS):** similar al PRA, pero a diferentes frecuencias.
 - **Magnetometer (MAG):** mide los campos magnéticos del Sol y los planetas visitados.
- ger se conoce como DSN (Deep Space Network) y esta formado por reflectores parabólicos de grandes dimensiones situados en California, España y Australia de forma que están separados 120° de longitud entre si; de esta manera se garantiza en cualquier momento la comunicación con las sondas espaciales. En el año 1979, fecha de la recepción de las

en llegar hasta él y otro tanto en volver (28 horas 40 minutos en total). Y se sigue alejando.

Ambas Voyager fueron protegidas para soportar grandes dosis de radiación durante el paso por el sistema Júpiter. Se 'escudaron' todos los instrumentos sensibles en el exterior del cuerpo central y a éste se le recubrió de un material altamente protector.

El equipo que genera la energía necesaria para el funcionamiento de esta sonda está constituido por tres generadores termoeléctricos de radioisótopos (RTG) dispuestos en serie, que convierten el calor de la desintegración radiactiva del plutonio 238 en electricidad y se encuentra en una de las cuatro plataformas situadas a los lados. Se estimó que la energía proporcionada por este generador (pila), bastaría para alimentar los principales sistemas hasta el año 2025. Los datos de degradación del RTG muestran que se ha conservado en mejor estado de lo previsto, por lo que la duración debería ser mayor.

Los niveles de energía actuales (datos de octubre de 2010) son de alrededor de 315 vatios para cada nave.

OBSERVACIONES REALIZADAS

Jupiter

La Voyager I acelerada aprovechando como se ha dicho campos gravitacionales y con una ruta más corta y más rápida llegaría primero a Júpiter enviando las primeras fotografías en enero de 1979 y después y hasta el mes de abril del mismo año un total de 19.000.

El 5/marzo/1979 alcanzó su máximo acercamiento al planeta (278.000 km) y aprovechando esta posición realizaría la mayor parte de las observaciones de las lunas, anillos, campos magnéticos y condiciones de radiación de Júpiter durante un periodo de 48 horas.

Voyager I descubrió un anillo alrededor de Júpiter. No es tan espectacular como el de Saturno, teniendo únicamente 30 Km. de grosor y 9.000 Km. de anchura. Su borde interior está unos 57000 Km. por encima de la más alta capa de nubes del planeta.



Con las sucesivas visitas de los Voyager a los demás gigantes gaseosos, se ha descubierto que la posesión de un anillo de materia parece ser una característica común a todos ellos.

Las dos sondas revelaron la existencia de pequeñas tormentas y remolinos por toda la capa de nubes de Júpiter, y que la Gran Mancha Roja es en realidad un ciclón gigantesco que se mueve en sentido contrario.

La atmósfera de Júpiter es muy profunda y está compuesta principalmente por hidrógeno y helio, con pequeñas cantidades de metano, amoníaco, vapor de agua y otros compuestos.



Imagen de Júpiter.

A grandes profundidades dentro de Júpiter, la presión es tan grande que los átomos de hidrógeno se rompen liberando sus electrones de tal forma que los átomos resultantes están compuestos únicamente por protones. Esto da lugar a un estado en el que el hidrógeno se convierte en metal.

Su periodo orbital sideral es de $11^a 315^d 1,1^h$.

Saturno

El 12 de noviembre de 1980 y con ayuda de la aceleración proporcionada por el campo gravitatorio de Júpiter, alcanzó Saturno aproximándose hasta una distancia de 124.200 km. recogiendo datos sobre su atmósfera así como también de la de **Titán** el más grande de sus satélites del que pasó a una distancia de unos 6.500 kilómetros. Dado el interés que tenían los datos recogidos se decidió una segunda aproximación a menor altura que se logró recogiendo datos sobre su gruesa atmósfera constituida por nitrógeno (80-90%) y resto metano. Ocurre que las moléculas de este último ascienden a la atmósfera superior, se parten por efecto de la radiación ultravioleta de la luz solar y dan lugar a moléculas

orgánicas como el propano, etano, acetileno, cianuro de hidrógeno y otras aún más complejas que formarían la niebla que caracteriza y rodea a este satélite no permitiendo ver su superficie en la que se encuentran mares de metano líquido y etano tal como se confirmó más tarde en la misión Cassini-Huygens a Saturno. Esta segunda maniobra se llevó a cabo a costa de sacrificar las siguientes etapas hacia Urano y Neptuno pues en este intento aumentó el impulso gravitatorio de la sonda alejándola del plano de la eclíptica y consecuentemente poniendo fin al resto de la misión para la que había sido creada.

Su composición es similar a la de Júpiter, con la excepción del campo magnético que no es tan fuerte en Saturno. La densidad es menor incluso que la del agua (0.7 g/cm^3). Su rasgo más característico son los anillos que están formados por rocas cubiertas de hielo, lo cual les da una gran luminosidad. Comienzan a los 67.000 Km. del centro del planeta, y se extienden hasta los 140000. Están divididos en cinco partes, siendo el espacio vacío más grande la *división de Cassini*. Los anillos mantienen su coherencia gracias a un complejo sistema en el que entran el campo magnético del planeta y los llamados satélites pastores, lunas de 120 Km. de diámetro como mucho que tienen su órbita en las divisiones.

Decir sobre esta misma nave que en su aproximación de 18.640 km a **Io** satélite de Júpiter en 1979 descubrió actividad volcánica en 9 puntos de su superficie, siendo esta la primera vez que se observaba este tipo de actividad fuera de la Tierra.

Añadido a lo anterior decir que descubrió 22 nuevos satélites: 3 en Júpiter, 3 en Saturno, 10 en Urano y 6 en Neptuno.

Su periodo orbital sideral es de $29^a 167^d 6,7^h$.

Urano

La principal característica de Urano es la inclinación de su eje de rotación de casi noventa grados con respecto a su órbita; la inclinación no se limita sólo al mismo planeta, sino también a sus anillos, satélites y campo magnético.

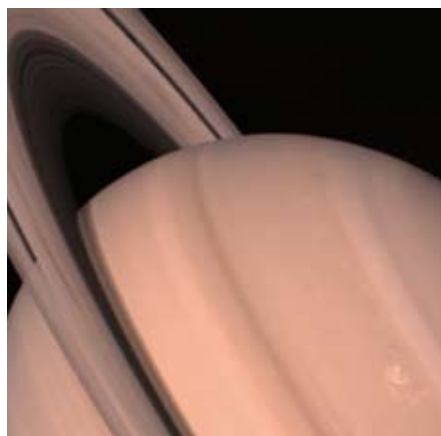


La Voyager 2 comenzó su observación de Urano el 4 de noviembre de 1985. La actividad llega a su punto máximo en enero de 1986, con la mayoría de las observaciones realizadas en un período de seis horas. La nave espacial hizo su acercamiento más próximo Urano de 81.500 km. de las capas más altas de la atmósfera a las 9:59 de la mañana del 24 de enero de ese mismo año.

Los datos enviados por la nave Voyager II sugieren un modelo para la estructura interna del planeta, con un núcleo rocoso bastante pequeño, rodeado por una profunda y muy densa atmósfera de gases y hielos de agua, amoníaco y metano. Sobre éste hay una atmósfera de hidrógeno, y helio, con nubes de metano, amoníaco y hielo de agua. La temperatura de la 'superficie' es de -214°C .

Urano tiene al menos 27 satélites naturales conocidos: 13 pequeños satélites internos, 10 de ellos descubiertos en 1986 por la sonda Voyager 2, 5 satélites mayores y 9 externos descubiertos a partir de 1997. El sistema de satélites de Urano es el menos masivo de entre los de los planetas gigantes.

Ninguno de los satélites de Urano tiene atmósfera.



Los anillos de Saturno fotografiados por la Voyager.

De la luna Miranda mostró enormes cañones de 20 km. de profundidad.

Al final del encuentro con Urano se habían descubierto 11 nuevas lunas y dos nuevos anillos.

Su periodo orbital sideral es de $84a 3d 15,66h$.

Neptuno

La mayor parte de lo que conocemos de Neptuno se debe al Voyager II, que se acercó a él en 1989. Neptuno ha resultado ser más parecido a Júpiter que a Urano. Aunque la atmósfera tiene la composición del segundo, presenta los grandes intercambios de energía térmica del primero, dando lugar a ciclones y anticiclones, siendo el rasgo más sobresaliente de su atmósfera la Gran Mancha Azul, un vórtice anticiclónico en el hemisferio sur. Existen manchas claras correspondientes a cirros de metano a gran altitud, y a una temperatura lo suficientemente baja como para permitir que el metano se congele en pequeños cristales.

Neptuno posee un anillo muy parecido al de Urano.

El Voyager 2 reveló que Neptuno es un planeta sorprendentemente dinámico que tiene numerosos puntos oscuros grandes similares a los de Júpiter. Esta sonda también descubrió que en Neptuno se producen vientos más fuertes que en ningún otro planeta, alcanzando velocidades de hasta 2.000 km/h.

Las imágenes del Voyager 2 de Tritón, el satélite más grande de Neptuno, muestran erupciones en forma de géiseres que arrojan gas nitrógeno y oscuras partículas de polvo a su tenue atmósfera.

Tritón se compone de una corteza de nitrógeno congelado sobre un manto de hielo que se cree cubre un núcleo sólido de roca y metal. Es de los pocos satélites del Sistema Solar del que se conoce que es geológicamente activo. Debido a esta actividad, su superficie es relativamente joven, y revela una compleja historia geológica a partir de misteriosos e intrincados terrenos criovolcánicos y tectónicos. Tras el paso de la sonda espacial Voyager 2 por sus cercanías, unas enigmáticas imágenes revelaron lo que parecían ser géiseres de nitrógeno líquido emanados desde su superficie helada.

Este descubrimiento cambió el concepto clásico de vulcanismo ya que, hasta entonces, se suponía que los cuerpos gélidos no deberían estar geológicamente activos.

Neptuno orbita al Sol cada 165 años aproximadamente. Es el más pequeño de los gigantes gaseosos de nuestro Sistema Solar. De las ocho lunas que ahora se sa-

que que es el lugar donde el viento solar abruptamente es frenado y su velocidad pasa de ser supersónica a ser subsónica, esto es, a ser menor que la velocidad del sonido.

El objetivo de las dos sondas era visitar los dos planetas Júpiter y Saturno, pero una vez superada esta misión la Voyager I ha entrado en la Heliopausa, amplia

sando de ser supersónica a subsónica a la vez que se producen grandes cambios en la dirección de flujo del Plasma y en la orientación del campo magnético del Sol.

Fase de Exploración de Heliosheath: Esta fase comienza a continuación del Shock de Terminación y consiste en el estudio de las nuevas condiciones del entorno dominado aun por el campo magnético del Sol (que ha cambiado su dirección) y el viento solar (que ha disminuido su velocidad).

Fase de Exploración Interestelar: Esta última fase comienza cuando se detecte la Heliopausa, que es la zona a partir de la cual se deja de estar bajo la influencia del campo magnético del Sol, así como de sus vientos solares. En esta fase el entorno está dominado por los vientos interestelares.

La aventura de las Voyager ya puede ser considerada como una de las más asombrosas de la ingeniería espacial

be que tiene Neptuno, seis fueron encontrados por la nave Voyager. La duración de un día de Neptuno se determinó que es de 16 horas, 6,7 minutos.

El periodo orbital sideral es de 164a 288d 13h.

El Sol emite constantemente un flujo de partículas cargadas eléctricamente llamado viento solar. Conforme el viento solar se expande en el espacio a velocidades mayores que la velocidad del sonido, crea una burbuja magnetizada alrededor del Sol llamada *heliosfera*. A grandes distancias del Sol, el viento solar encuentra partículas cargadas y campos magnéticos en el gas interestelar. La frontera creada entre el viento solar y el medio interestelar es la llamada *heliopausa*. Antes de que las sondas espaciales lleguen a la *heliopausa*, pasarán por una zona llamada la *terminación del cho-*

zona entre el sistema solar y el espacio interestelar. Entrará en este último dentro de un tiempo no demasiado prolongado, convirtiéndose así en la primera nave que consiga llegar a alcanzarlo.

Misión Interestelar Voyager (VIM)

El principal objetivo de la Misión Interestelar Voyager (VIM - Voyager Interstellar Mission) es ampliar la exploración más allá del sistema solar, fuera de la influencia del Sol.

La VIM está dividida en 3 fases distintas:

Fase Shock de Terminación: En esta fase se busca la zona a partir de la cual el viento solar disminuye su velocidad pa-

Investigaciones científicas

Actualmente hay 5 equipos de investigación científica participando en la misión Interestelar Voyager:

Investigación de campos magnéticos. (Representado a bordo por el instrumento **MAG**).

Investigación de partículas de baja energía. (Representado a bordo por el instrumento **LECP**).

Investigación de Plasma. (Representado a bordo por el instrumento **PLS** - averiado en el Voyager 1).

Investigación de rayos cósmicos. (Representado a bordo por el instrumento **CRS**).

Investigación de ondas de Plasma. (Representado a bordo por el instrumento **PWS**).

Estos equipos están recogiendo y evaluando datos de la intensidad y orientación del campo magnético del Sol; la composición, dirección y espectro de energía de las partículas del viento solar y los rayos cósmicos interestelares; la intensidad de las radio-emisiones que se originan en la Heliopausa; y la distribución del hidrógeno fuera de la Heliosfera. En unos años, estos ingenios espaciales quedarán fuera de servicio. Su aventura ya puede ser considerada como una de las más asombrosas que ha protagonizado la ingeniería espacial en su historia. ●

Referencias

- <http://es.paperblog.com/voyager-2-336029/>
- <http://www.rena.edu.ve/SegundaEtapa/Geografia/urano.html>
- <http://es.paperblog.com/25-anos-del-encuentro-de-voyager-2-con-urano-400867/>
- http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo2_99.00/misiones/voyager/voyager.html
- <http://www.serconet.com/usr/mserrano/Neptuno.htm>
- <http://www.serconet.com/usr/mserrano/saturno.htm>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Urano_\(planeta\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Urano_(planeta))
- http://www.upv.es/satelite/trabajos/Grupo4_b99.00/voyager.htm
- <http://voyager.jpl.nasa.gov/mission/interstellar.html>

Bibliografías

Antenas
Ediciones UPC
Autor: Ángel Cardama Aznar