

EL VIAJE DE LA VOYAGER 2

En los primeros días de noviembre de 2019 saltó la noticia de que la sonda Voyager 2 había alcanzado el espacio interestelar al sobrepasar la heliopausa, aunque aún no ha abandonado el Sistema Solar, ya que la Nube de Oort, que también forma parte de nuestro Sistema, se encuentra a 2.000 ua. (unidades astronómicas) y se extiende hasta las 50.000 ua. (aunque algunos autores las llevan más allá, hasta las 100.000 e incluso las 200.000 ua). Resulta que es ahora cuando se han interpretado los datos que envió la sonda a más de 18.000 millones de kilómetros de la Tierra (a unas 120 ua), mucho más allá de la órbita de Plutón, hace un año.

Exactamente, el 5 de noviembre de 2018, la Voyager 2 de la NASA se convirtió en la segunda nave espacial de la historia humana en abandonar la heliosfera, la burbuja protectora de partículas y

campos magnéticos creados por nuestro Sol. Hoy, cinco nuevos trabajos de investigación en la revista Nature Astronomy describen lo que los científicos observaron durante y desde el histórico cruce del Voyager 2.

Pero antes hagamos un breve repaso histórico de las misiones Voyager. El Programa Voyager nació a partir del fin del proyecto Saturno V en 1973. La NASA tras terminar los viajes a la Luna y estar enfrascados en el diseño y construcción de los nuevos transbordadores que harían más económico y rápido el acceso a las orbitas bajas de la Tierra, necesitaba algún proyecto atrayente para el público y aquí aparecieron las sondas Vikings a Marte y las Voyager para visitar los dos gigantes gaseosos de nuestro Sistema Solar.

En un principio se planeó el envío de 4 sondas Voyager, pero para recortar gastos debido a la crisis de finales de los 70, se redujo a solo dos, por lo que las sondas deberían llevar más equipo que el originalmente previsto y deberían durar mucho más.

La sonda Voyager 1 fue lanzada el 5 de septiembre de 1977, por tanto, lleva en funcionamiento más de 42 años. El 25 de agosto de 2012, a poco más de 19 000 millones de kilómetros del Sol (o 122 ua), la sonda dejó atrás la heliopausa, siendo la primera en alcanzar el espacio interestelar. Su misión original era visitar Júpiter y Saturno. Nos proporcionó imágenes detalladas de los satélites de esos planetas. A una distancia de 144 unidades astronómicas (21.624,242.000 km) del Sol, en junio de 2019, es la nave espacial más alejada de la Tierra y la más veloz, aún le quedan unos 17.701 años aproximadamente para salir de la Nube de Öort, a la que entrará en unos 300 años, viajando a 62.140 Km/h.

llegara al borde de la heliosfera en 2012, los científicos no sabían exactamente qué tan lejos estaba este límite del Sol.

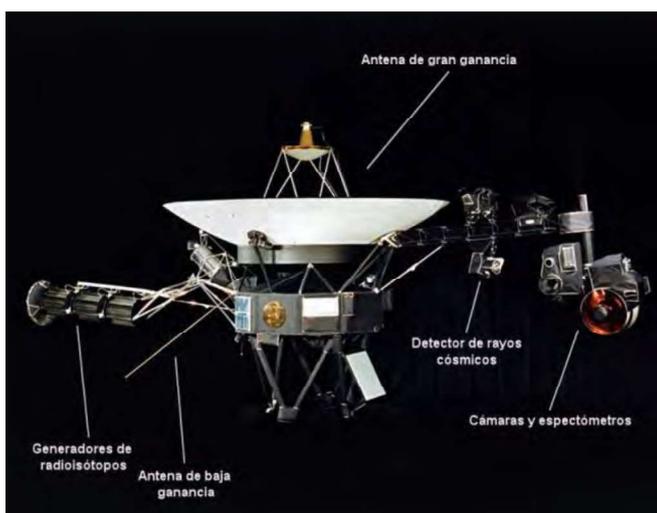


Datos Voyager 2. Foto: NASA

La heliosfera del Sol es como un barco que navega por el espacio interestelar. Tanto la heliosfera como el espacio interestelar están llenos de plasma. El plasma dentro de la heliosfera es caliente y escaso, mientras que el plasma en el espacio interestelar es más frío y más denso. El espacio entre las estrellas también contiene rayos cósmicos, o partículas aceleradas por estrellas en explosión. La Voyager 1 descubrió que la heliosfera protege a la Tierra y a los otros planetas de más del 70% de esa radiación.

El 14 de febrero de 1990, siguiendo una sugerencia de Carl Sagan, la sonda espacial Voyager 1 tomó una fotografía de la Tierra desde unos 6.050 millones de kilómetros de distancia. Esa imagen, en la que nuestro planeta aparece como un pequeño punto de luz en la inmensidad del espacio vacío, inspiró a Sagan su libro 'Un punto azul pálido' y se convirtió rápidamente en una de las imágenes más emblemáticas e influyentes de la historia de la ciencia.

El 12 de septiembre de 2013 los científicos de la NASA alcanzaron un consenso basándose en las observaciones que mostraron una brusca disminución de electrones por metro cúbico desde el 25 de agosto de 2012, cuando esta se redujo hasta 0,08 electrones, quedando dentro de las estimaciones que los modelos actuales predicen para más allá del sistema solar, que estaría entre 0,05 y 0,22 electrones por metro cúbico, y decidieron que sería ahí donde pondrían el límite de la heliosfera, denominada heliopausa, y la interacción solar, pero necesitaban estar seguros, la única forma que tenían para confirmar sus teorías era a través de los datos que deberían



Partes de una sonda. Foto: Wikipedia

La sonda ha sobrepasado el tiempo de vida calculado en un principio. Cada sonda obtiene su energía eléctrica de tres RTG, (generador termoelectrónico de radioisótopos), de los cuales se espera que generen suficiente energía para que esté en comunicación con la Tierra hasta por lo menos el año 2025. Para conservar esta energía, los ingenieros de la NASA decidieron apagar de forma controlada una serie de instrumentos, así entre 2007 y 2010 se desconectaron: el Subsistema de Plasma (PLS), el experimento de Radioastronomía Planetaria (PRA) y la plataforma de escaneado y las observaciones UV, que hubiesen sido vitales para monitorear la salida de la heliosfera al espacio interestelar y confirmar lo que los científicos de la NASA sospechaban. Antes de que la Voyager 1

recibir de la sonda gemela Voyager 2, que alcanzaría la zona 6 años después.

Pero nuestra verdadera protagonista es la sonda Voyager 2, esta increíble nave como su hermana la Voyager 1 lleva funcionando más de 42 años desde que fue lanzada un 20 de agosto de 1977.

En su tremenda odisea alcanzó Júpiter el 9 de julio de 1979, estudió su atmósfera de hidrógeno y helio y la gran mancha roja, descubrió vulcanismo en Io, confirmó los descubrimientos de la Voyager 1 sobre las grietas en Europa, fotografió las intrincadas formaciones rocosas de Ganimedes y Calisto, descubrió algunas lunas desconocidas y la existencia de un tenue anillo alrededor del planeta.

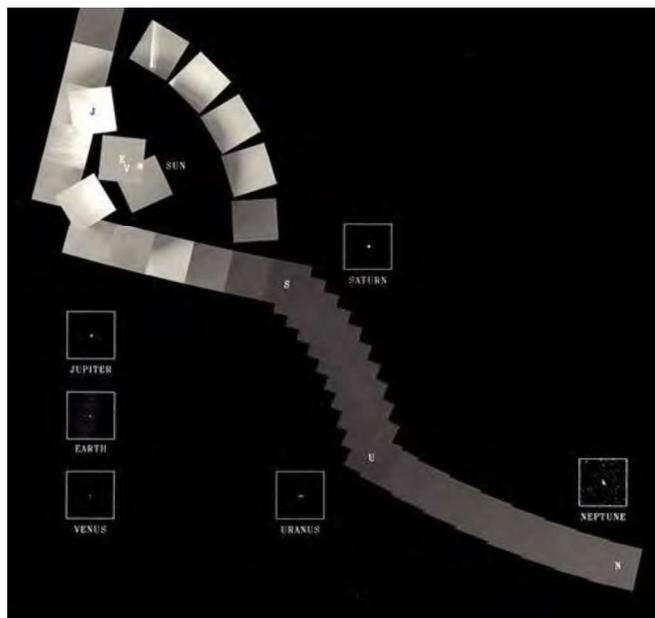
Cuando llegó a Saturno el 25 de agosto de 1981 investigó las capas superiores de la atmósfera y las gélidas temperaturas de su atmósfera 70 Kelvin (-203°C). Uno de los descubrimientos más curiosos fue la confirmación de que la división Cassini en sus sistemas de anillos que es visto desde la Tierra como un espacio negro, no era una zona vacía entre los anillos, si no que estaba compuesta principalmente de rocas sólidas.

Aprovechando el tirón gravitacional de Saturno la sonda llegó a Urano el 24 de enero de 1986, aquí descubrió más de 10 lunas escondidas, estudió la atmósfera del planeta, resultado de la inclinación del eje de rotación (97,77°), la inclinación del planeta; el campo magnético está inclinado 60° respecto al eje de rotación planetario, e investigó el sistema de anillos.

El 25 de agosto de 1989 llegó a las proximidades de Neptuno, visitó la luna Tritón. En la superficie del planeta, descubrió en su atmósfera una gran mancha oscura, de la que no se sabe nada, y que observaciones posteriores del Hubble comprobaron que se había disipado. Y desde aquí se lanzó a los límites del Sistema Solar con todos sus equipos operativos.

Una vez traspasado el último planeta del Sistema Solar, la Voyager 2 se dirigió hacia el espacio interestelar, tardaría 29 años en lograrlo.

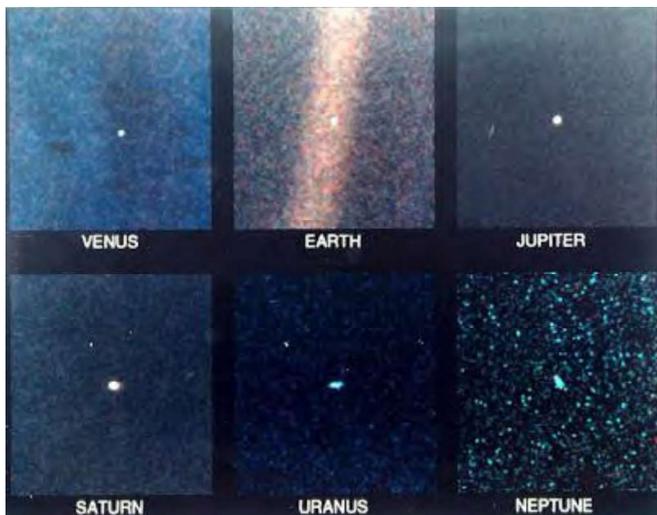
Los datos enviados por los instrumentos ha sido analizado por Dan Gurnett, profesor emérito del Departamento de Física y Astronomía de la Universidad de Iowa y autor del estudio publicado en la revista Nature Astronomy. Cada artículo detalla los resultados de uno de los cinco instrumentos científicos operativos de la Voyager 2: un sensor de campo magnético, dos instrumentos para detectar partículas energéticas en diferentes rangos de energía y dos instrumentos para estudiar el plasma (un gas compuesto de partículas cargadas). Tomados en conjunto, los hallazgos ayudan a pintar una imagen de esta costa cósmica, donde termina el entorno creado por nuestro Sol y comienza el vasto océano del espacio interestelar, al observar un salto definitivo en la densidad del plasma detectado por el instrumento de ondas de plasma.



Retrato familia Voyager 1. Foto: NASA

Estos instrumentos dieron los siguientes resultados:

- Mediciones de rayos cósmicos de la Voyager 2 a medida que cruzaban hacia el espacio interestelar: La interacción de los vientos interestelares y solares es compleja, como lo revelan las diferencias en las intensidades, existen de iones de baja energía y los de los rayos cósmicos galácticos de mayor energía originarios del exterior, en la Vía Láctea. El 5 de noviembre de 2018, el Voyager 2 observó una fuerte disminución en la intensidad de los iones de baja energía y un aumento simultáneo en la intensidad de los rayos cósmicos, lo que indica que el Voyager 2 había cruzado la



Retrato familia. Foto: NASA

heliopausa a 119 ua. y había entrado en el espacio interestelar, la Voyager 2 confirmó una capa límite.

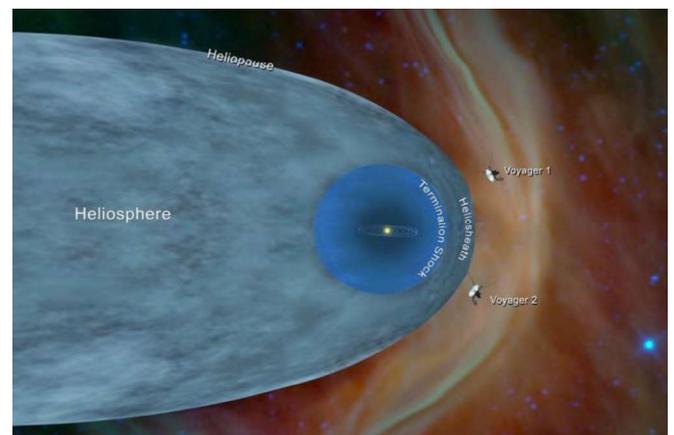
- Mediciones energéticas de partículas cargadas en la heliopausa y más allá: Indican que en la región dominada por el plasma eólico solar calentado, las mediciones de partículas cargadas energéticas son de (> 28 keV), y el exterior de esa región, contiene plasma frío no solar. El número de partículas de origen solar comenzó a disminuir gradualmente el 7 de agosto de 2018 (118,2 ua.), mientras que las de origen galáctico (rayos cósmicos galácticos) aumentaron $\sim 20\%$ en número durante un período de unas pocas semanas. Se produjo un cambio brusco el 5 de noviembre cuando la nave se encontraba a 119 ua, con una disminución en el número de partículas a energías de >28 keV y un aumento correspondiente en el número de rayos de energía cósmicos galácticos >213 MeV. Y es asociada con el supuesto cruce de la heliopausa.

- Observaciones de plasma de la heliopausa y el medio interestelar: El viento solar sopla hacia afuera desde el Sol y forma una burbuja de material solar en el medio interestelar. La heliopausa (HP) es el límite que divide el plasma tenue caliente del viento solar en la heliosfera, del medio interestelar más local, más frío y más denso. El experimento de plasma de la Voyager 2 observó el paso de la heliopausa desde el viento solar hacia el espacio interestelar el 5 de noviembre de 2018. Las primeras mediciones de plasma en y cerca de la heliopausa se observa una región límite de plasma con un ancho de 1.5 ua. antes del límite. Ahí el plasma en la región límite se ralentiza, se calienta y es dos veces más denso que el plasma de heliosfera típico. Una capa límite mucho más delgada comienza alrededor de 0.06 ua. dentro de la heliopausa, donde la velocidad radial disminuye y la densidad y el campo magnético aumentan. La transición la heliopausa ocurre en menos de un día. El espacio interestelar es variable cerca de la heliopausa y más caliente de lo esperado. Las observaciones de la Voyager 2 muestran que la temperatura es de 30,000 a 50,000 K, mientras que los modelos y las observaciones predicen una temperatura de 15,000 a 30,000 K. dentro de espacio interestelar.

- Mediciones del campo magnético y partículas, realizadas en y cerca de la heliopausa: La heliopausa es un límite que separa la heliosfera (que contiene campos magnéticos y plasmas que se originan en el Sol) del medio interestelar (que contiene campos

magnéticos y partículas de origen estelar / interestelar). Las observaciones de la heliopausa fueron hechas primero por los instrumentos de partículas y campos en la nave espacial Voyager 1, moviéndose radialmente en el hemisferio norte, la Voyager 2 cruzó la heliopausa en el hemisferio sur, observó una heliopausa mucho más delgada y simple que la Voyager 1, así como campos magnéticos interestelares más fuertes, y descubrió una 'barrera magnética' adyacente a la heliopausa que influye fuertemente en la entrada de rayos cósmicos en la heliosfera. Muestran que la barrera magnética, la heliopausa y el medio interestelar muy local vecino forman un complejo sistema dinámico interconectado.

- Densidades de plasma cerca y más allá de la heliopausa con los instrumentos de ondas de plasma: La heliopausa es el límite entre el plasma heliosférico caliente (viento solar) y el plasma interestelar relativamente frío. Las consideraciones de equilibrio de presión muestran que debería haber un gran aumento de densidad (factor de 20 a 50) a lo largo de la heliopausa. Las mediciones de densidad electrónica de los instrumentos de ondas de plasma cerca y más allá de la heliopausa. Muestran que la densidad plasmática en la heliosfera externa es de aproximadamente 0.002 cm^{-3} . La primera densidad de electrones medida por el instrumento de onda de plasma Voyager 2 en el medio interestelar, ± 0.039 cm^{-3} . El salto de densidad, confirma que la Voyager 2 cruzó la heliopausa. La nueva densidad es muy similar a la primera densidad medida en el medio interestelar por el instrumento de onda de plasma Voyager 1, 0.055 cm^{-3} , en octubre de 2013. Estas pequeñas diferencias en las densidades y las distancias radiales se deben probablemente a las ubicaciones relativas de la nave espacial en la capa límite que se forma en el plasma interestelar justo más allá de la heliopausa.



Gráfica de frontera. [Enlace foto pincha aquí](#)

"Las sondas Voyager nos muestran cómo nuestro Sol interactúa con las partículas que llenan la mayor parte del espacio entre las estrellas en la galaxia de la Vía Láctea", dijo Ed Stone, científico del proyecto Voyager y profesor de física en Caltech. "Sin estos nuevos datos de la Voyager 2, no sabríamos si lo que estábamos viendo con la Voyager 1 era característico de toda la heliosfera o específico solo de la ubicación y la hora en que se cruzó".

Las dos naves espaciales Voyager ahora han confirmado que el plasma en el espacio interestelar local es significativamente más denso que el plasma dentro de la heliosfera, como esperaban los científicos. La Voyager 2 ahora también midió la temperatura del plasma en el espacio interestelar cercano y confirmó que es más frío que el plasma dentro de la heliosfera.

Una observación del instrumento del campo magnético de la Voyager 2 confirma un resultado sorprendente de la Voyager 1: el campo magnético en la región más allá de la heliopausa es paralelo al

campo magnético dentro de la heliosfera. Con la Voyager 1, los científicos solo tenían una muestra de estos campos magnéticos y no podían decir con certeza si la alineación aparente era característica de toda la región exterior o solo una coincidencia. Las observaciones del magnetómetro de la Voyager 2 confirman el hallazgo de la Voyager 1 e indican que los dos campos se alinean, según Stone.

En resumen, estas dos antiguas sondas, con un software de 40 años, y una envidiable vejez para el medio donde se encuentran, nos han enseñado más sobre nuestro espacio próximo que toda la carrera espacial humana, lo que confirma que el estudio del universo con sondas robóticas es más productivo y "barato" que el hacerlo con humanos, si no fuera por nuestro continuo afán explorador que nos lleva a viajar siempre más allá, ese debería ser el rumbo que tomara la ciencia, pero no nos podemos resistir a ver al hombre flotando en el espacio, soñando que podríamos ser uno de nosotros algún día. **AMB**

Fuentes¹



Enrique Bordallo
Presidente de la AAB

¹ Fuentes:

<https://www.nature.com/natastron/>

<https://www.sondasespaciales.com/portada/tag/voyager/>

<https://www.lanasa.net/misiones/sondas>

https://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/12sep_voyager1