

# IBEX: La Frontera de Nuestro Sistema Solar

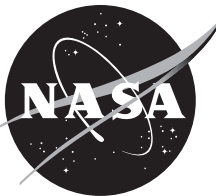
Sol

● Frente de Choque de Terminación

● Frente de Choque en arco

● Heliopausa

● Heliofunda



## ¿Qué define la frontera de nuestro sistema solar?

¿Qué queremos decir cuando hablamos de que algo posee un borde, o una frontera? Algunas cosas, como una mesa o un campo de fútbol, poseen bordes y fronteras claros. Otros objetos como las ciudades y pueblos, poseen fronteras que nos son tan fáciles de ver. Es difícil decir dónde acaban y alguna otra cosa empieza si las estas viendo desde cierta distancia. El Sistema Solar se parece más a un barrio que a una mesa o campo de fútbol.



Una imagen de Chicago vista desde la Estación Espacial Internacional. Determinar las fronteras de los barrios de Chicago a partir de esta imagen sería todo un reto. Crédito: NASA

¿Podría ser el alcance de la luz del Sol un buen modo de decidir hasta dónde se extiende el Sistema Solar? La luz del Sol se va debilitando a medida que te alejas, pero no hay una frontera donde la luz se detiene o donde se atenúa de forma repentina. ¿Y qué ocurre con la gravedad? Al igual que la luz, la influencia de la gravedad del Sol se extiende sin límite, aunque es más débil lejos del Sol. No hay una frontera en la que se detenga.

## ¿Qué más podemos emplear para definir la frontera del sistema solar?

Los científicos utilizan la interacción entre el viento solar y el medio interestelar para definir la frontera de nuestro Sistema Solar.

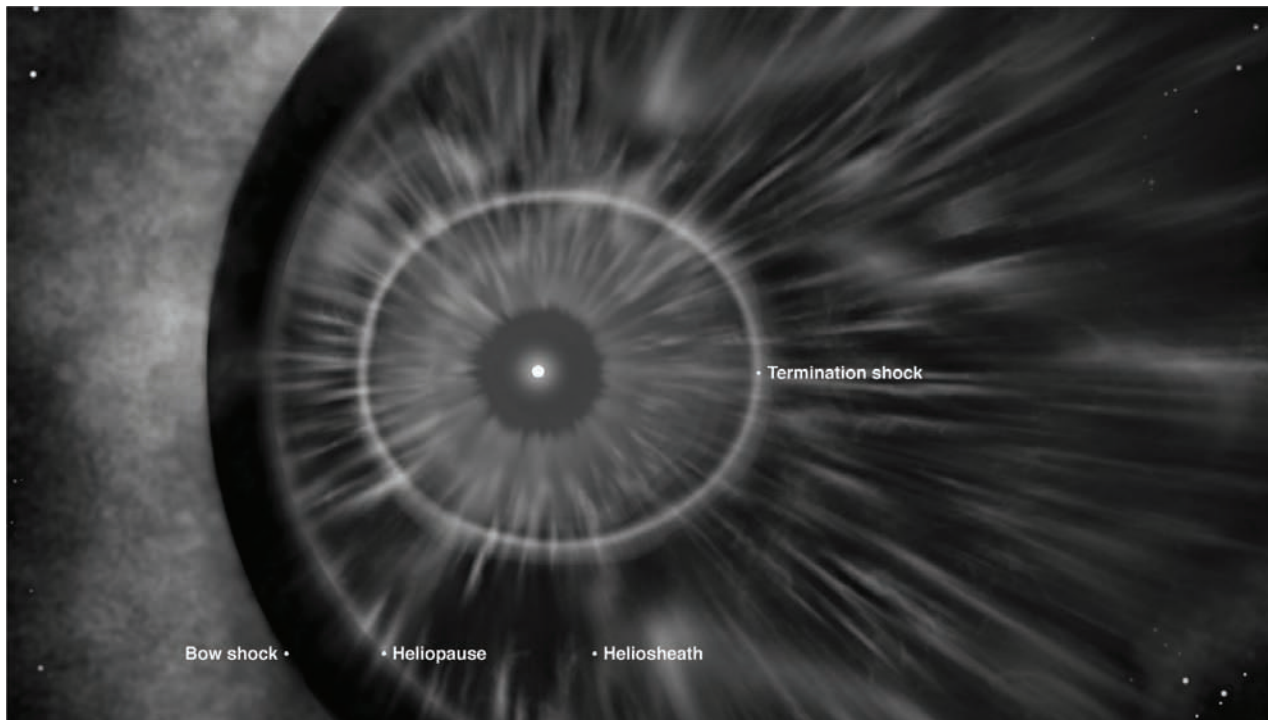


## ¿Qué más podemos emplear para definir la frontera del sistema solar?

La frontera de nuestro Sistema Solar es definida como la región donde el viento solar y el medio interestelar chocan. Aunque el medio interestelar tiene una densidad baja, todavía ejerce una presión similar a la del aire. El viento solar también ejerce una presión. Cerca del Sol, el viento solar empuja mucho y puede desplazar con facilidad el medio interestelar lejos del Sol. A mayor distancia del Sol, la presión del medio interestelar es suficiente como para frenar y eventualmente detener el flujo del viento solar a su alrededor.

Las partes de la frontera, tal como se muestran a la derecha, son:

- el frente de choque de terminación, la parte más interior de la frontera donde el viento solar decelera.
- la heliopausa, la parte más exterior de la frontera, y
- la heliofunda, la parte entre la frontera interior y la exterior



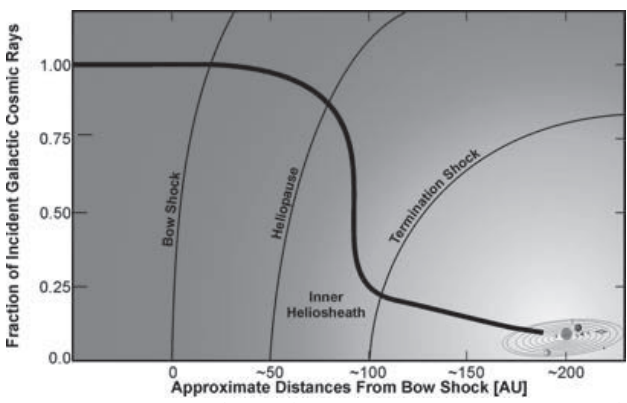
Créditos: NASA/IBEX/Adler Planetarium

Dado que el Sol se mueve, con relación al medio interestelar, a unas 500,000 millas por hora (800,000 kilómetros por hora) en su órbita en torno al centro de la Galaxia La Vía Láctea, la heliosfera forma una onda o frente de choque en el medio interestelar como un bote en el océano. A esto se le llama frente de choque en arco u onda en arco.



## ¿Qué más podemos emplear para definir la frontera del sistema solar?

Los rayos cósmicos son partículas energéticas que se producen a menudo cuando explota una estrella; otros rayos cósmicos provienen del Sol o de tan lejos como otras galaxias. Si los rayos cósmicos impactan sobre algo, pueden dañar los átomos y moléculas. Si el Sistema Solar no tuviese una frontera, o si la frontera cambiara de tamaño de tal forma que estuviera por dentro de la órbita de la Tierra, entonces habría por lo menos cuatro veces más rayos cósmicos que alcanzarían nuestra parte del Sistema Solar. Afortunadamente, la magnetosfera de la Tierra nos protege de algunos de los rayos cósmicos que provienen del exterior del Sistema Solar. Sin embargo, si se produjera un incremento importante del número de rayos cósmicos que entran al Sistema Solar, podría cambiar la cantidad de rayos cósmicos de alta energía capaces de alcanzar la superficie de la Tierra.



Hay una pequeña caída en el número que consigue atravesar la heliopausa. Más del 50% quedan detenidos entre la heliopausa y el frente de terminación. Sólo alrededor de un 25% del número original de rayos cósmicos penetra hasta la región de los planetas. (Nota: 1 AU= 1 Unidad Astronómica = 93 millones de millas). Crédito: Equipo Científico de IBEX.



## ¿Qué es el viento solar?

El viento solar es un flujo de partículas cargadas eléctricamente, también llamado plasma. El plasma es similar a un gas, pero sus partículas poseen una estructura diferente y carga eléctrica. El plasma se forma cuando un gas está extremadamente caliente. Cuando esto ocurre, los átomos del gas ganan mucha energía. Esta energía hace que los electrones se separen de los núcleos de los átomos del gas. Cuando los electrones con carga negativa se separan, quedan en los núcleos los protones de carga positiva y partículas neutras llamadas neutrones. Estos núcleos con carga positiva se llaman iones. Cuando un gas está tan caliente que los electrones y los protones se separan para formar electrones e iones, decimos que el gas ha sido ionizado. El plasma es un gas ionizado.

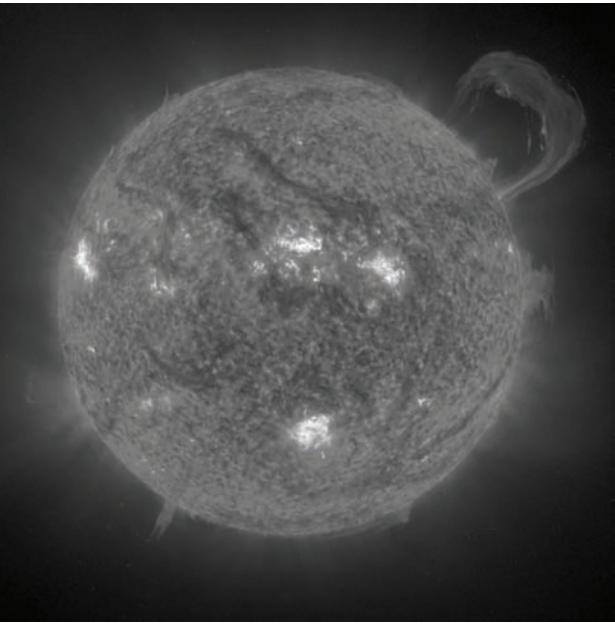
Las partículas del viento solar son expulsadas del Sol a cerca de un millón de millas por hora (1.6 millones de kilómetros por hora). Estas partículas provienen de la capa más externa del Sol, llamada la corona. La corona es un lugar muy caliente, a unos 1.8 millones °F (1 millón °C). Las altas temperaturas hacen que las partículas se muevan más velozmente, así que las partículas de la corona se mueven muy rápido. Algunas de las partículas se desplazan tan rápido que la gravedad del Sol no es suficiente para retenerlas, y por lo tanto escapan, convirtiéndose en parte del viento solar.

Cuando el viento solar llega a la Tierra, las partículas se están moviendo a unas 500,000 millas por hora (800,000 kilómetros por hora). Esto es 500 veces más rápido que la mayoría de los aviones supersónicos. El número de

partículas cargadas del viento solar y la rapidez con la que se mueven fluctúan con las variaciones del nivel de actividad del Sol durante su ciclo de 11 años.

Durante los 11 años, el nivel de actividad magnética del Sol crece gradualmente hasta alcanzar un máximo. En el máximo solar, el número y frecuencia de la actividad solar en forma de llamaradas, prominencias y manchas solares se encuentran generalmente en el punto más alto. El próximo máximo solar está previsto que ocurra alrededor del año 2012. La actividad magnética del Sol decrece después gradualmente hasta un punto llamado "mínimo solar", cuando aparecen menos (y a veces ninguna) manchas solares y hay poca actividad de llamaradas o prominencias.

Cuando el viento solar es particularmente fuerte, especialmente durante el máximo solar, las partículas cargadas pueden interferir con los satélites y las redes eléctricas de la Tierra.



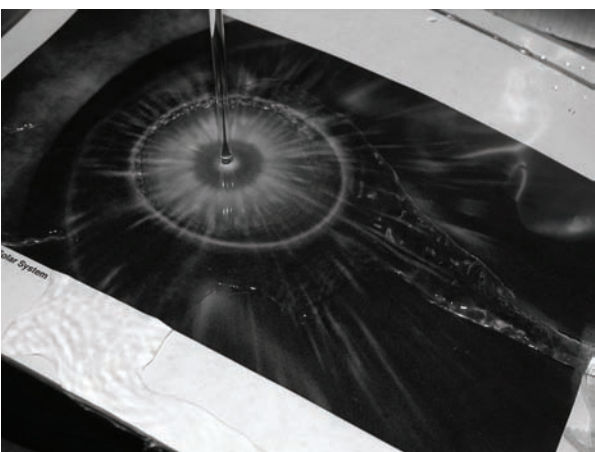
El Sol, visto por la nave espacial SOHO. Crédito: SOHO (ESA y NASA)



## ¿Qué es el frente de choque de terminación?

El frente de choque de terminación es la frontera que marca uno de los límites exteriores del Sistema Solar. En esta parte del Sistema Solar, las partículas del viento solar se mueven más despacio cuando empiezan a presionar contra el medio interestelar. El viento solar está constituido por plasma, y cuando se frena de este modo, sufre muchos cambios. El plasma del viento solar resulta estrujado, o comprimido, como gente amontonada en una pequeña habitación. Cuando se comprime también se calienta mucho, del modo en que una bomba de bicicleta se calienta en tu mano cuando empujas vigorosamente el aire a través de ella para inflar una rueda. Además, el iento solar transporta parte del campo magnético del Sol hacia el exterior, que ahora se hace más intenso y se retuerce en el frente de terminación. Sólo tenemos dos medidas directas de la velocidad del viento solar y de la intensidad del campo magnético en el frente de terminación; éstas fueron realizadas por las naves Voyager 1 y Voyager 2. Voyager 1 alcanzó el frente de terminación el 16 de diciembre de 2004, a una distancia de 8.4 billones de millas (14.1 billones de kilómetros) del Sol. Voyager 2 alcanzó el frente de terminación el 30 de agosto de 2007, a una distancia de 7.8 billones de millas (12.6 billones de kilómetros) del Sol. La discrepancia en distancias y fechas se explica por el hecho de que Voyager 1 está viajando más rápido que Voyager 2, y que el frente de terminación no se encuentra a una distancia uniforme del Sol.

Un frente de choque similar se forma cuando cae agua desde un grifo en un lavabo. Cuando el flujo de agua golpea el fondo, el agua se esparce a una velocidad relativamente rápida, formando un disco poco profundo de agua que se mueve rápidamente hacia afuera, como el viento solar dentro del frente de terminación. Alrededor del borde del frente, el agua se mueve relativamente más despacio, como ocurre fuera del frente de terminación. Sin embargo, el frente de choque del agua es sólo bidimensional. La frontera de nuestro Sistema Solar es tridimensional, como una esfera.



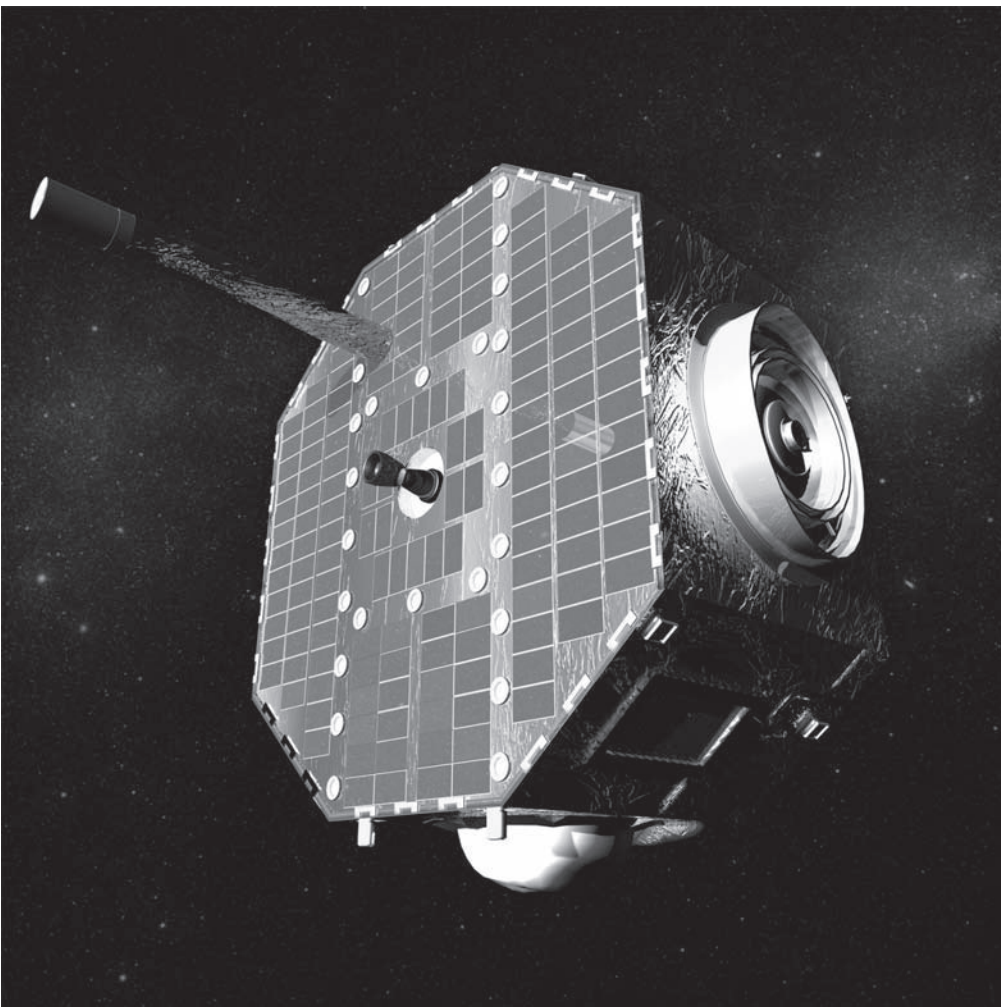
Créditos: NASA/IBEX/Adler Planetarium



## ¿Qué más podemos emplear para definir la frontera del sistema solar?

La misión de NASA Explorador de la Frontera Interestelar (IBEX) nos ayudará a crear el primer mapa de la frontera de nuestro Sistema Solar mientras la nave orbita alrededor de la Tierra. Analizando los mapas creados con los datos de IBEX, los científicos pueden determinar cómo es la interacción del viento solar y el medio interestelar en todas las direcciones hacia la heliopausa. Por ejemplo, los científicos están intentando descubrir si hay regiones donde el medio interestelar frena rápidamente el viento solar, u otros lugares donde se produce una parada gradual del viento solar. Además, los científicos están intentando determinar la forma global de la "burbuja". Toda esta información nos ayudará a comprender cómo nuestra Tierra es protegida de los peligrosos rayos cósmicos y nos ayudará a estudiar cómo pueden los humanos viajar de forma segura a otros planetas y, en un futuro lejano, a otras estrellas.

Para conocer más sobre la misión IBEX, encontrar juegos, y registrarse para recibir noticias mensuales de la misión, visita: <http://ibex.swri.edu>



Crédito: NASA/Goddard Space Flight Center Conceptual Image Lab



## ¿Qué es el medio interestelar?

Cuando el viento solar fluye alejándose del Sol, se dirige hacia el espacio entre las estrellas. Pensamos en este espacio como "vacío", pero contiene rastros de gas y polvo, llamados medio interestelar (ISM por sus siglas en inglés). El viento solar sopla contra este material y crea una región con forma de burbuja en este gas. Esta burbuja que rodea al Sol y al Sistema Solar es llamada la heliosfera. Ésta no es una burbuja como las del jabón, sino más bien como una nube de aliento neblinoso que expulsas al respirar en el aire frío del invierno. Los científicos creen que las partes más cercanas de la frontera de la heliosfera se encuentran unas 90 veces más lejos de la distancia entre la Tierra y el Sol, a unos 9 billones de millas. Esto es unas dos veces y media más lejos que la distancia de Plutón al Sol. El ISM está compuesto principalmente por nubes de hidrógeno y helio. El resto del ISM consiste sobre todo de elementos más pesados como el carbono. Cerca de un por ciento del ISM se encuentra en forma de polvo, normalmente silicatos.

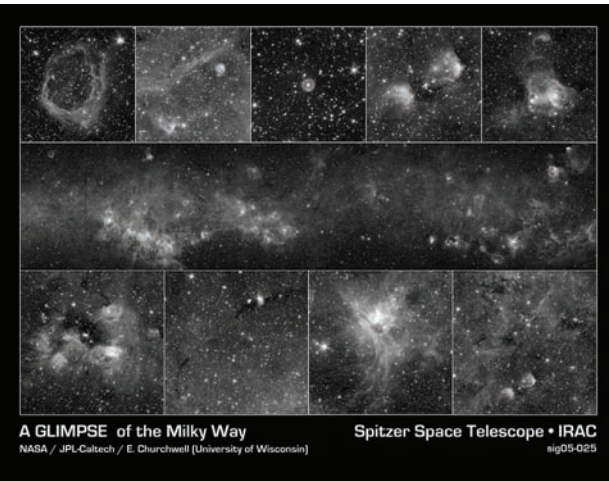
En algunos lugares del espacio, el ISM no es en absoluto denso, pero es mucho más denso en otras regiones. Sin embargo, incluso las partes más densas del ISM son 10<sup>14</sup> (100,000,000,000,000 o 10 trillones) de veces menos densas que la atmósfera de la Tierra. La densidad del ISM varía entre las 0.003 partículas por centímetro cúbico en regiones de gases calientes ionizados, o plasma, hasta más de 100,000 partículas por centímetro cúbico en regiones

donde se forman estrellas. Como comparación hay, en promedio, unas 2.5 x 10<sup>19</sup> (25 quintillones o 25,000,000,000,000,000,000) moléculas de aire al nivel del mar en la atmósfera de la Tierra.

Las estrellas se forman en regiones del ISM que son suficientemente densas como para que la gravedad agrupe el gas y el polvo para formar esferas compactas calientes. Estas protostrellas se vuelven eventualmente tan densas y calientes que se inicia la fusión nuclear, y se convierten en estrellas.

Aunque no están vivas, las estrellas tienen ciclos vitales. Nacen del ISM, crecen, y mueren. Una estrella que es mucho más masiva que nuestro Sol muere en una explosión llamada supernova. Después de que explota, el material de lo que era la estrella se recicla en el ISM.

Las estrellas que explotan enriquecen continuamente el ISM con sus materiales. A cambio, la gravedad junta el material del ISM para formar más estrellas.



Nubes de gas y polvo en nuestra Vía Láctea, vistas por el Telescopio Espacial Spitzer. Crédito: NASA/JPL-Caltech/E. Churchwell (Universidad de Wisconsin)

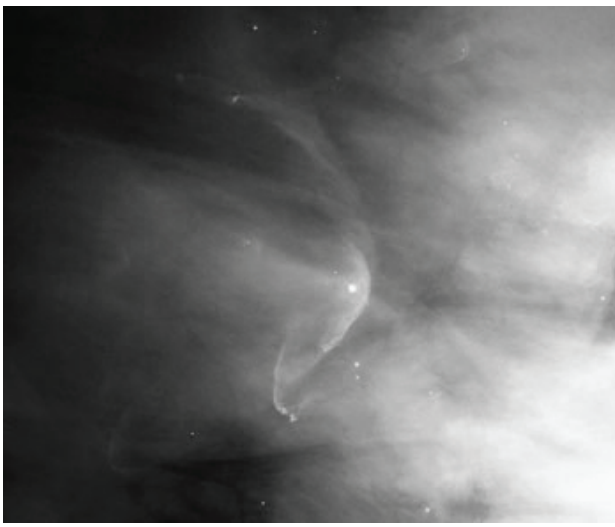


## ¿Qué es la heliopausa?

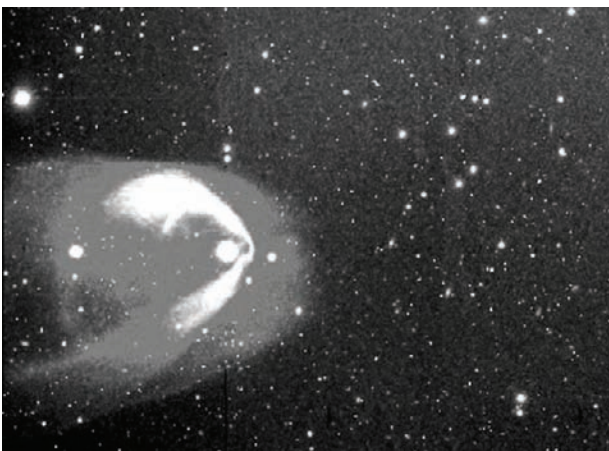
La heliopausa es la frontera entre el viento solar y el medio interestelar. El viento solar crea una burbuja conocida como heliosfera en el medio interestelar. En la frontera externa de esta "burbuja" es donde la fuerza del viento solar no es suficiente para empujar al medio interestelar. Esto se conoce como la heliopausa, y con frecuencia se la considera la frontera exterior del Sistema Solar.

## ¿Qué más podemos emplear para definir la frontera del sistema solar?

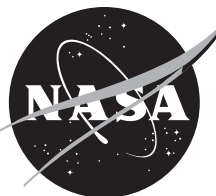
Hay dos configuraciones posibles de nuestro Sistema Solar basadas en cuán rápido se está moviendo el Sistema Solar y la densidad del medio a través del cual está viajando. Una onda o frente de choque en arco se forma delante de la heliosfera mientras el Sol se mueve por el medio interestelar. Una onda en arco es similar a la estructura y movimiento del agua en la proa de un barco, y un frente de choque en arco es similar a la onda de choque que se forma delante de un chorro supersónico.



LL Ori, una estrella en la Nebulosa de Orión. Crédito: NASA/Hubble Heritage Team



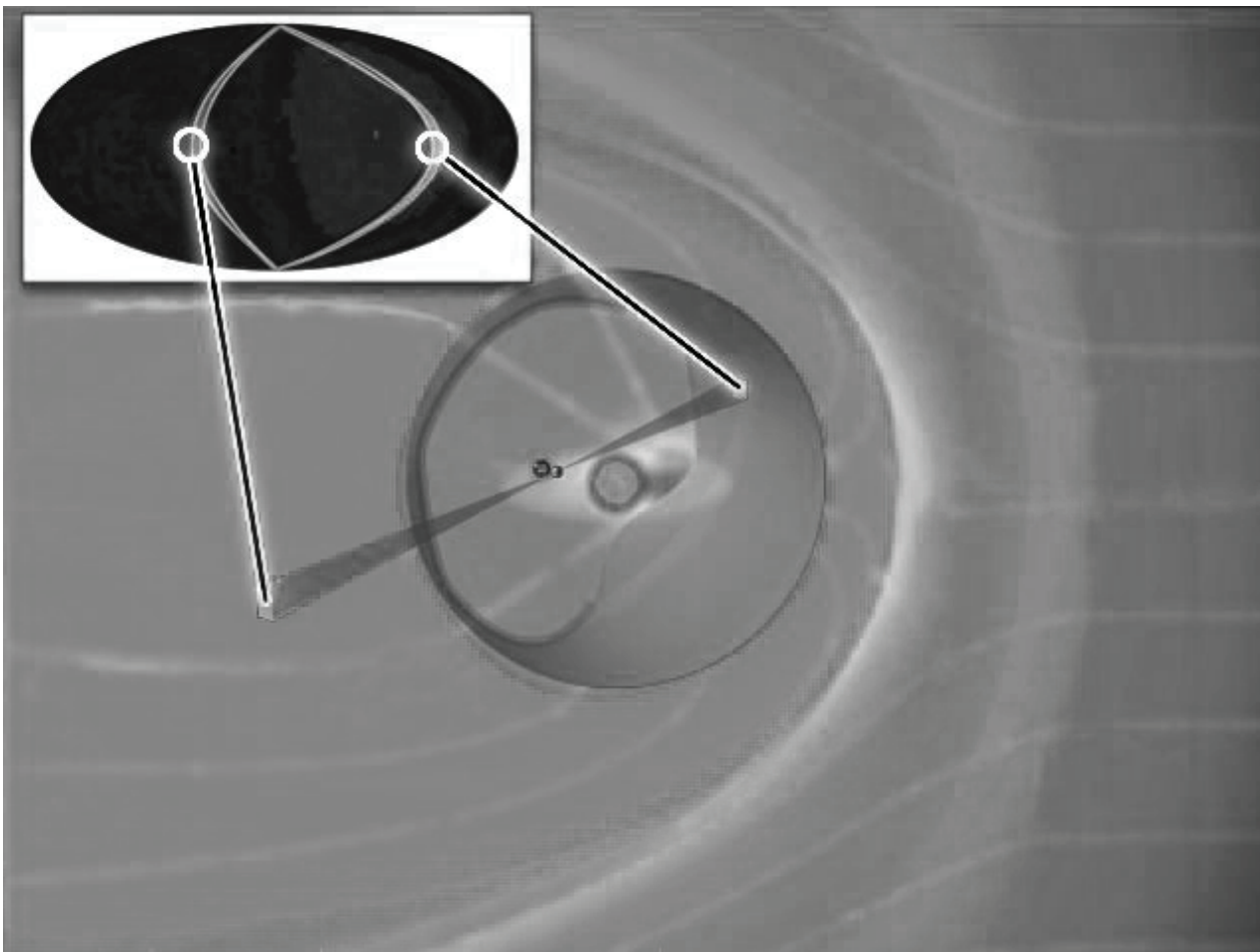
BZ Cam, estrella en la constelación de Camelopardalis. Crédito: R. Casalegno, C. Conelise et al, WTYN, NOAO, MURST, NSF



## ¿Cómo crearán los datos de IBEX un mapa de la frontera?

La nave IBEX girará una vez cada 15 segundos, permitiendo que los sensores IBEX-Hi y IBEX-Lo "vean" las mismas zonas del cielo. La dirección y cantidad de partículas en cada una de las bandas de energía será registrada en cada región del cielo durante el curso de los 2 años de la misión IBEX, permitiendo la creación de un mapa de los datos.

El objeto en el centro de la imagen de la derecha es el Sol, el punto más pequeño es la Tierra, y el punto diminuto que orbita a la Tierra es IBEX (no a escala). IBEX orbita a la Tierra, y la Tierra orbita al Sol. Mientras IBEX orbita a la Tierra, los sensores IBEX-Hi y IBEX-Lo "miran" en direcciones opuestas mientras gira la nave. IBEX sabrá hacia qué dirección está encarándola y la dirección de la que proceden las partículas que puede detectar. Mientras IBEX orbita durante un año entero, sus sensores tendrán la oportunidad de cubrir el cielo entero, permitiendo la construcción de un mapa a partir de los datos. La imagen muestra un instante de una simulación de la "construcción" de un mapa, y en la imagen separada se muestra, en escala de grises, el aspecto que tendría una porción del mapa. (Nota: el mapa final será en color).



Crédito: Equipo Científico de IBEX