

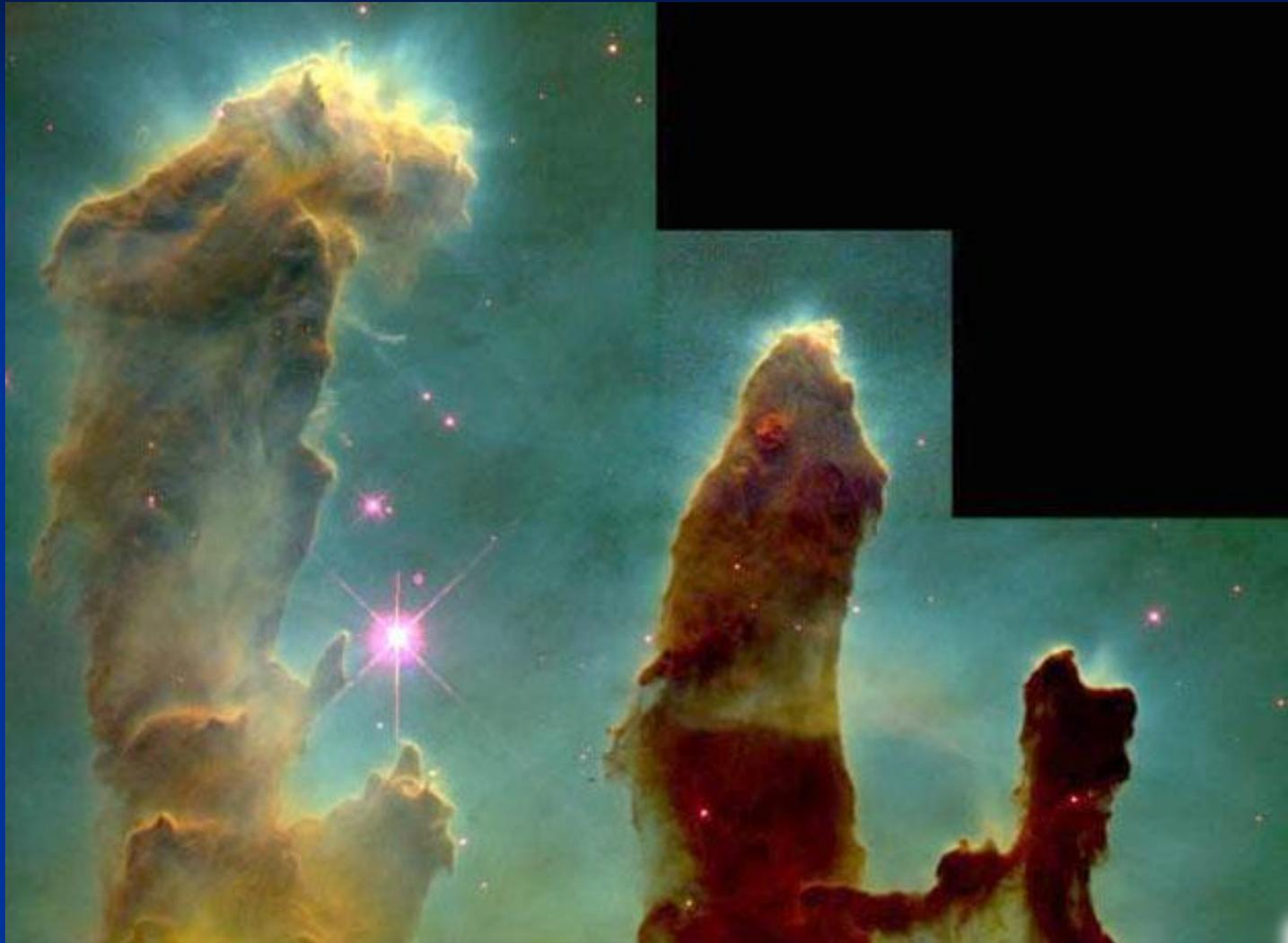
El Sistema Solar

Magda Stavinschi, Beatriz García, Andrea Sosa

*International Astronomical Union
Instituto Astronómico de la Academia Rumana, Rumania
ITeDA y Universidad Tecnológica Nacional, Argentina
Universidad de la Republica, Uruguay*

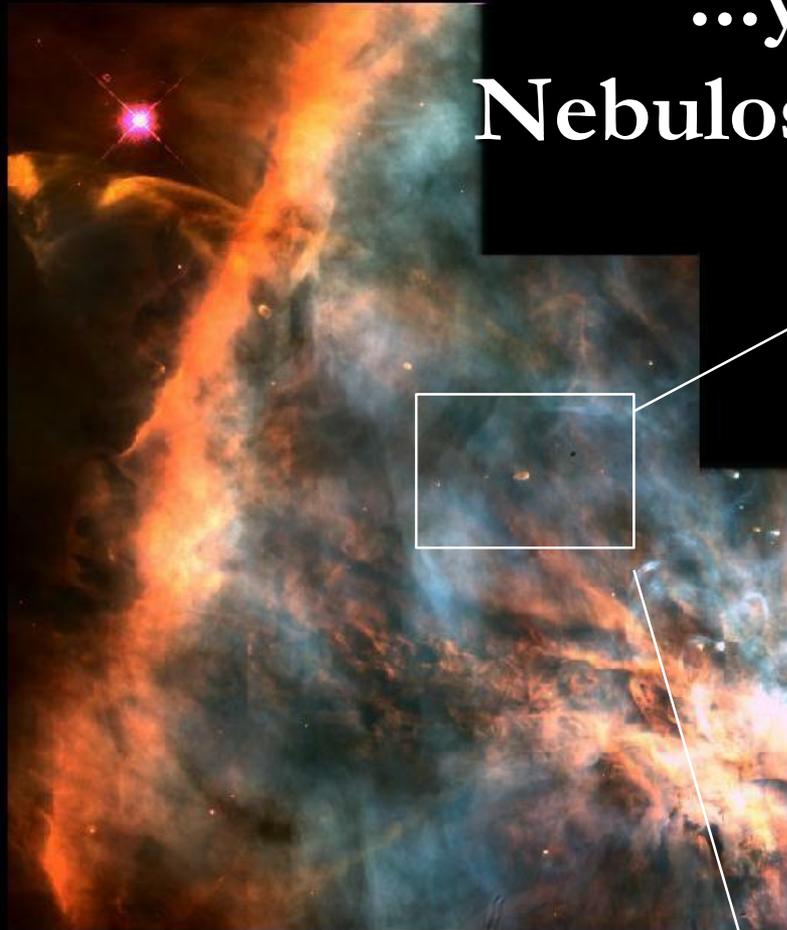


Aquí nacen las estrellas



Messier 16, los Pilares de la creación.
Crédito: Telescopio Espacial Hubble

...y aquí:
Nebulosa de Orión



Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2

Los planetas de la Antigüedad: los visibles a simple vista

Mercurio

Venus

Marte

Júpiter

Saturno

Visibles al
atardecer o
amanecer

La “alineación” planetaria
de Mayo 2002



El Sistema Solar hoy

Está constituido por el Sol y todos los cuerpos que giran en torno a él, bajo la acción de la gravedad:

- 8 planetas
- Cientos de satélites naturales de los planetas
- Decenas de planetas enanos (entre ellos Ceres, Plutón, Haumea, Makemake y Eris)
- Multitud de cuerpos menores: asteroides, cometas y objetos transneptunianos (residuos de los procesos de formación planetaria).



¿Dónde está el Sistema Solar?

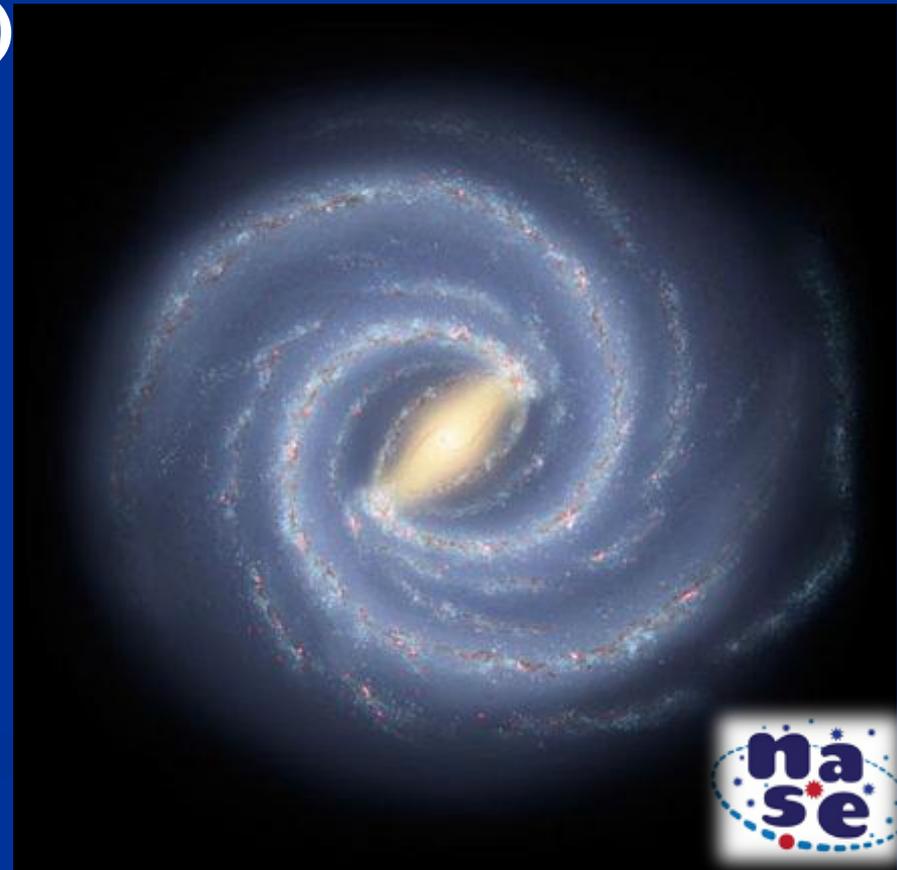
Está en el **Brazo de Orión**, uno de los brazos de **la Vía Láctea**.



- La Vía Láctea contiene unos 200.000 millones de estrellas y su diámetro es de unos 100.000 a.l.

El Sistema solar está a una distancia de ~ 25.000 años luz de centro de la Galaxia (\sim la mitad del radio), y tarda en dar una vuelta alrededor del centro, 250 millones de años. La velocidad es de 220 km/s (800.000 km/h)

Modelo de la Vía Láctea a partir de observaciones infrarrojas del Spitzer (2005); nuestra Galaxia es una espiral barrada



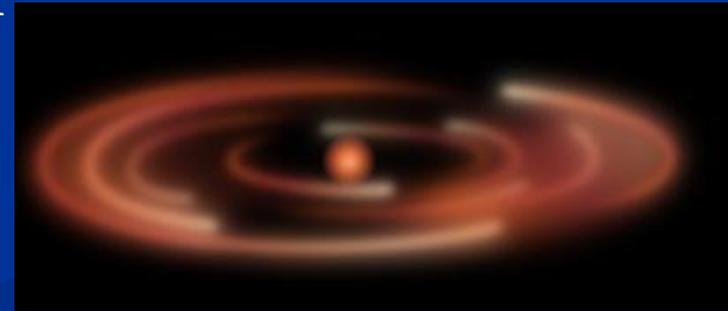
La formación del Sistema Solar

- De acuerdo a la teoría estándar, hace unos 4.600 millones de años el sistema solar se formó a partir de la **contracción gravitatoria de una nube de gas y polvo interestelar**. El colapso de la nube se inició a partir de una perturbación fuerte (posiblemente un estallido de supernova), que hizo que la fuerza gravitatoria venciera a la presión de los gases.
- La conservación del momento angular hizo que la nebulosa girará cada vez más rápido, se fuera achatando, y diera lugar a un **protosol** en su centro, y a un **disco protoplanetario** de gas y polvo a su alrededor.



La formación del Sistema Solar

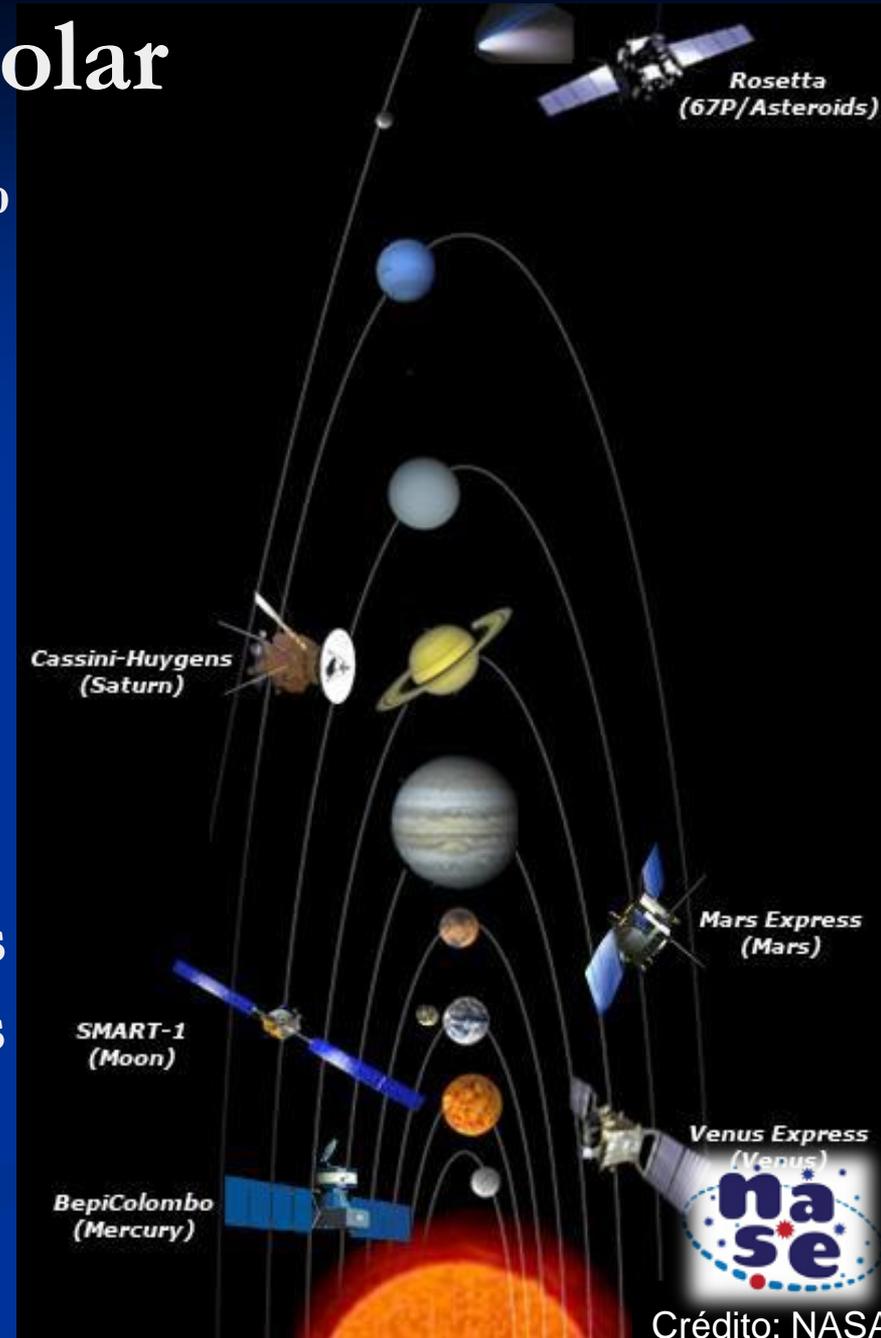
- En el disco protoplanetario fueron condensando pequeños núcleos sólidos (*planetesimales*), que luego se fueron acumulando por un proceso de acreción hasta formar los planetas.
- La teoría estándar descrita anteriormente es aceptada por haberse encontrado, a través de imágenes de radio de alta resolución, sistemas protoplanetarios alrededor de muchas estrellas jóvenes y debido a la posibilidad de explicar la formación de planetas dentro de esos sistemas.



Estudio del Sistema Solar

El Sol concentra más del 99.8% de la masa del SS, mientras el 98% del momento angular se encuentra en los movimientos orbitales de los planetas.

En la actualidad el estudio de los cuerpos del Sistema Solar se realiza desde Tierra, pero también a través de telescopios espaciales y enviando misiones al espacio e, inclusive, descendiendo sobre su superficie



Nuestra estrella: el SOL

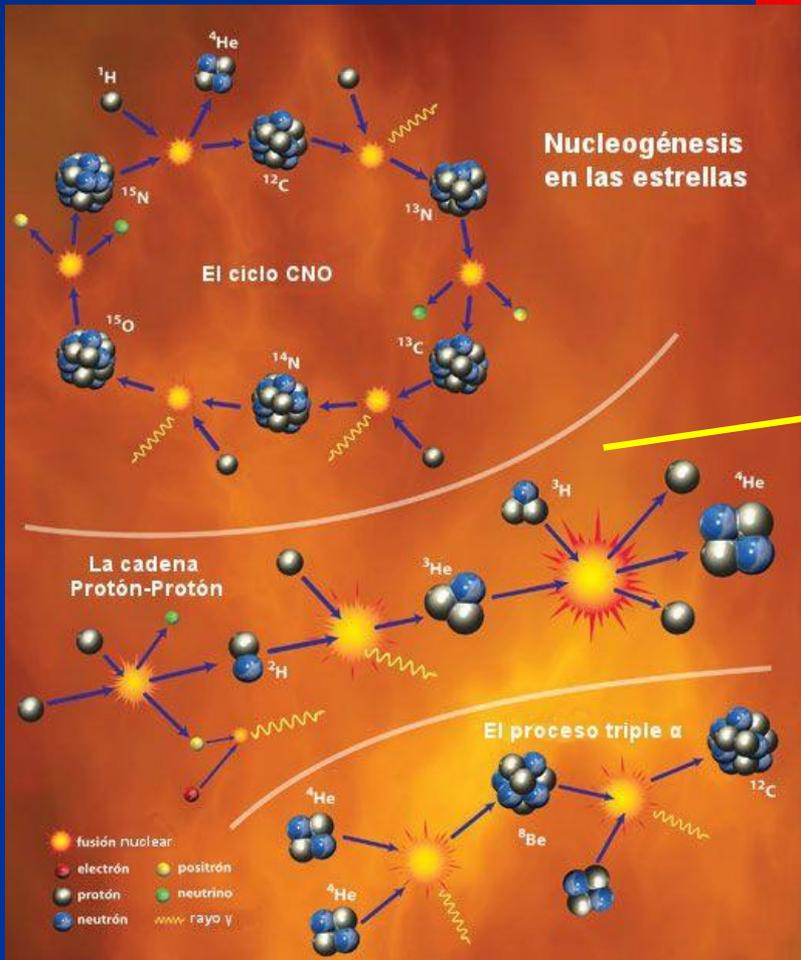
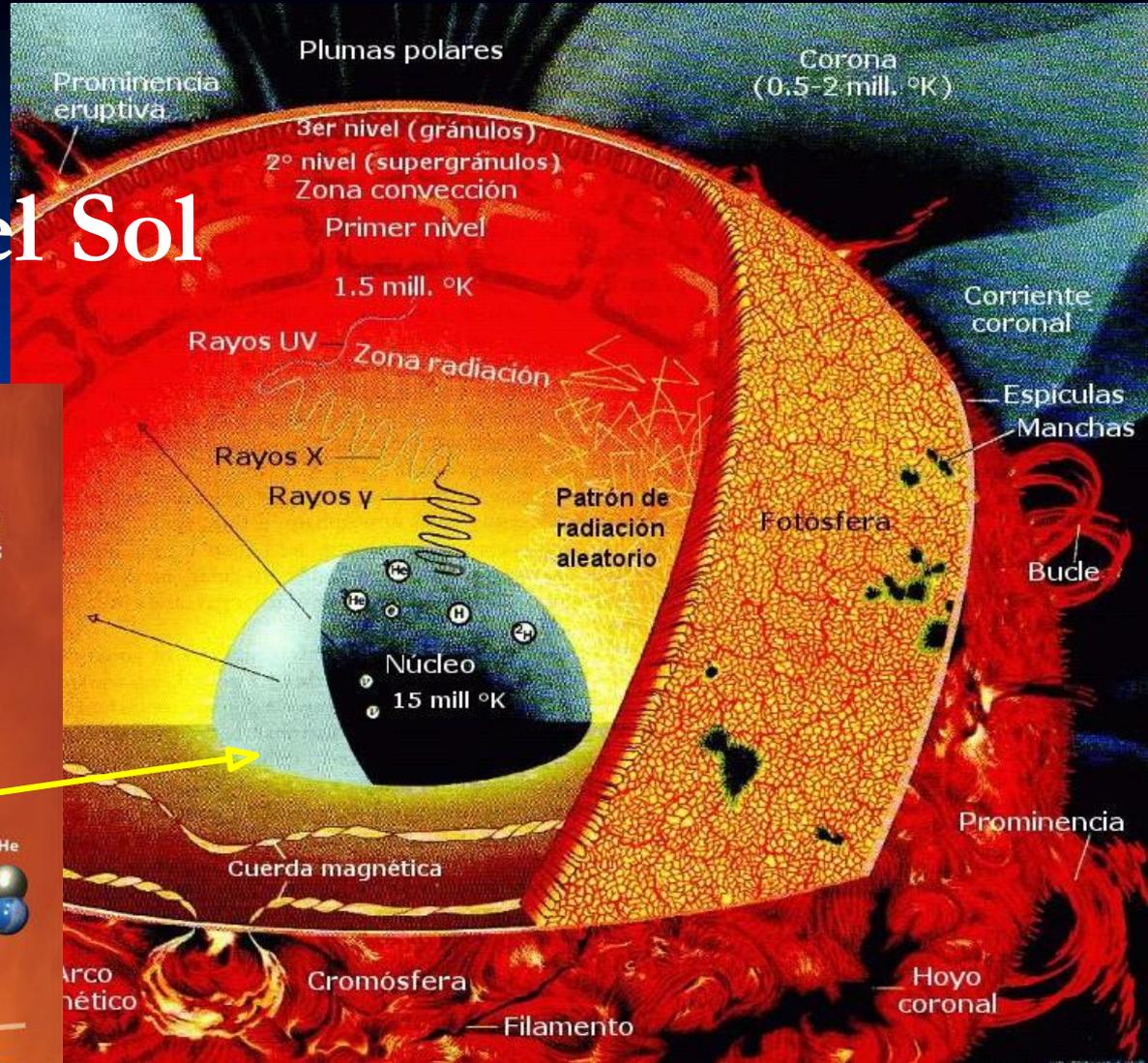
- ❑ Con una edad de 4.600 millones de años, el Sol está aproximadamente en la mitad de su ciclo de vida
- ❑ Cada segundo, en el núcleo del Sol se convierten 4 millones de toneladas de materia en energía, generando una gran cantidad de neutrinos, positrones y radiación.



74% del Sol es H, 25% es He, el resto son elementos más pesados.



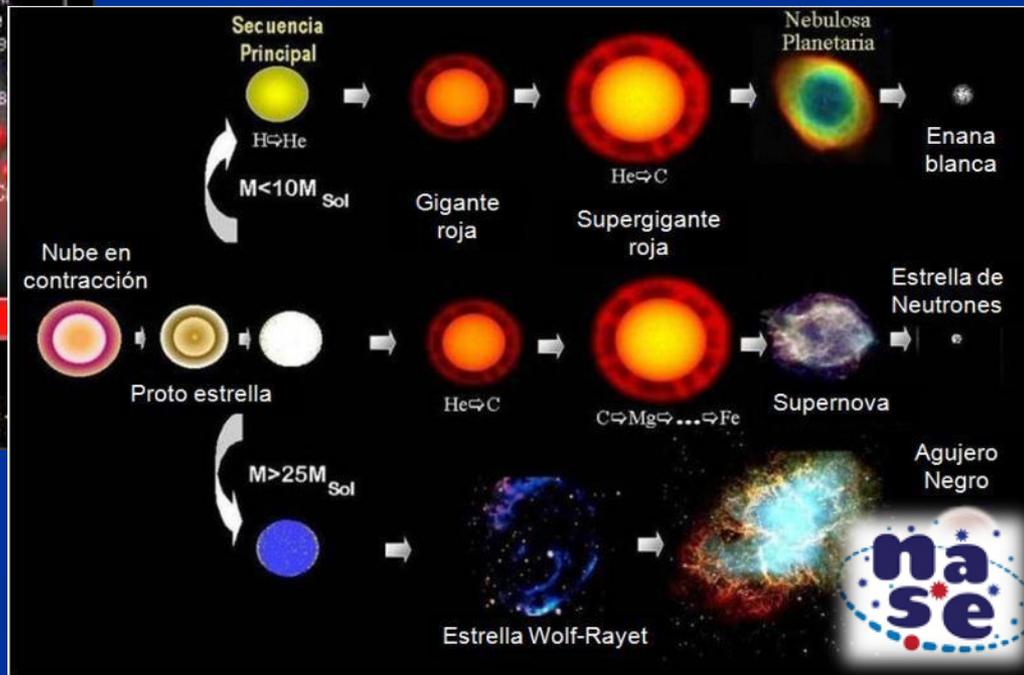
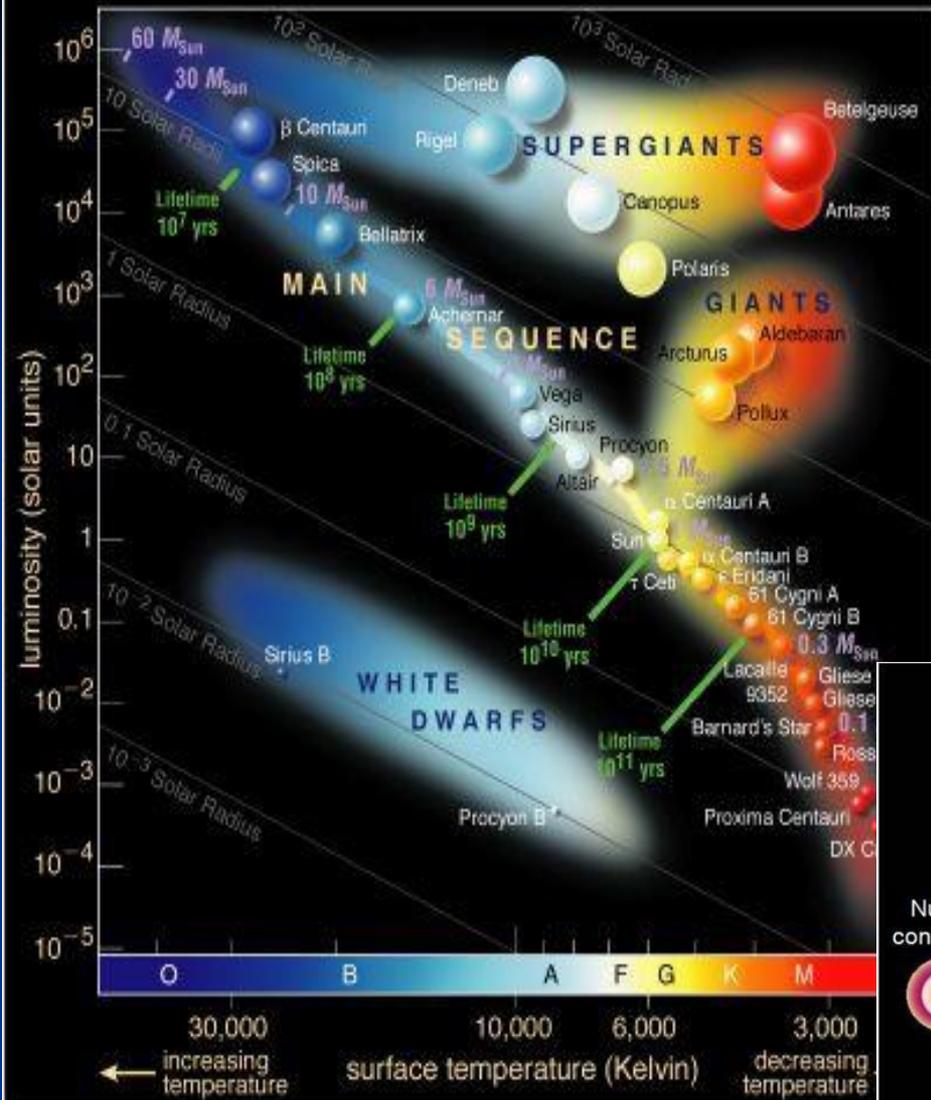
Estructura del Sol



La producción de energía ocurre por fusión, en el

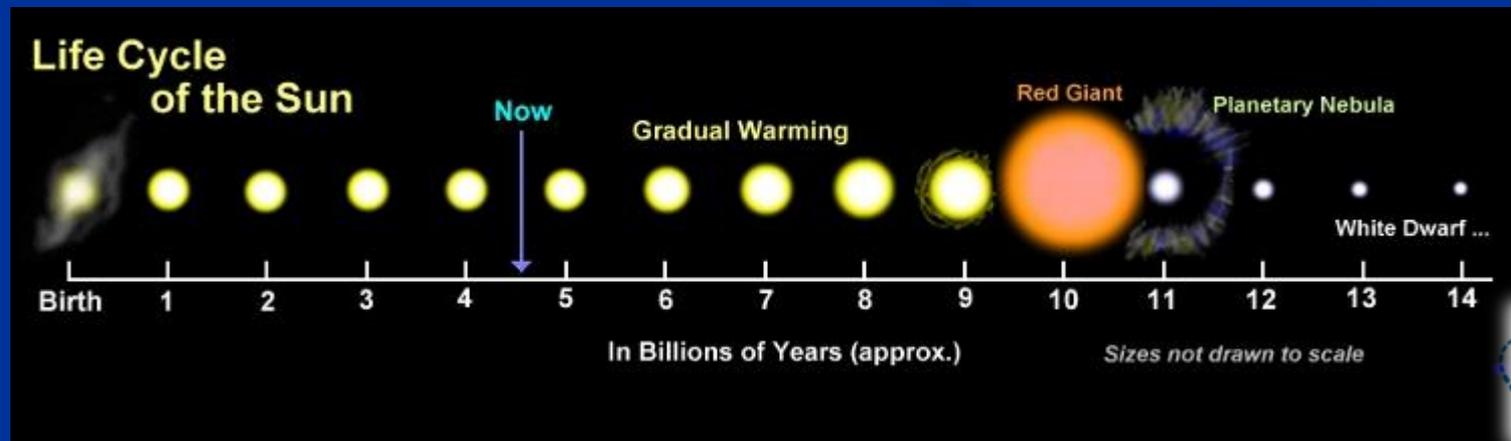


La vida de las estrellas depende de su masa



El ciclo de la vida del Sol

Dentro de 5.000 millones de años, el Sol se hinchará y se convertirá en una gigante roja. Luego expulsará las capas exteriores, creando una nebulosa planetaria, y en el centro quedará una pequeña estrella llamada enana blanca, que se irá enfriando lentamente.



Los Planetas



Resolución de la XXVI IAU-AG, Praga, 2006:

En el SS, un “**planeta**” es un cuerpo celeste que:

- Está en órbita alrededor del Sol.
- Tiene suficiente masa para que su auto-gravedad (que es una fuerza central) se imponga a las fuerzas de cohesión de un cuerpo rígido de modo que asume una forma en equilibrio hidrostático (cuasi-esférica).
- Ha limpiado de otros objetos la vecindad a lo largo de su órbita.

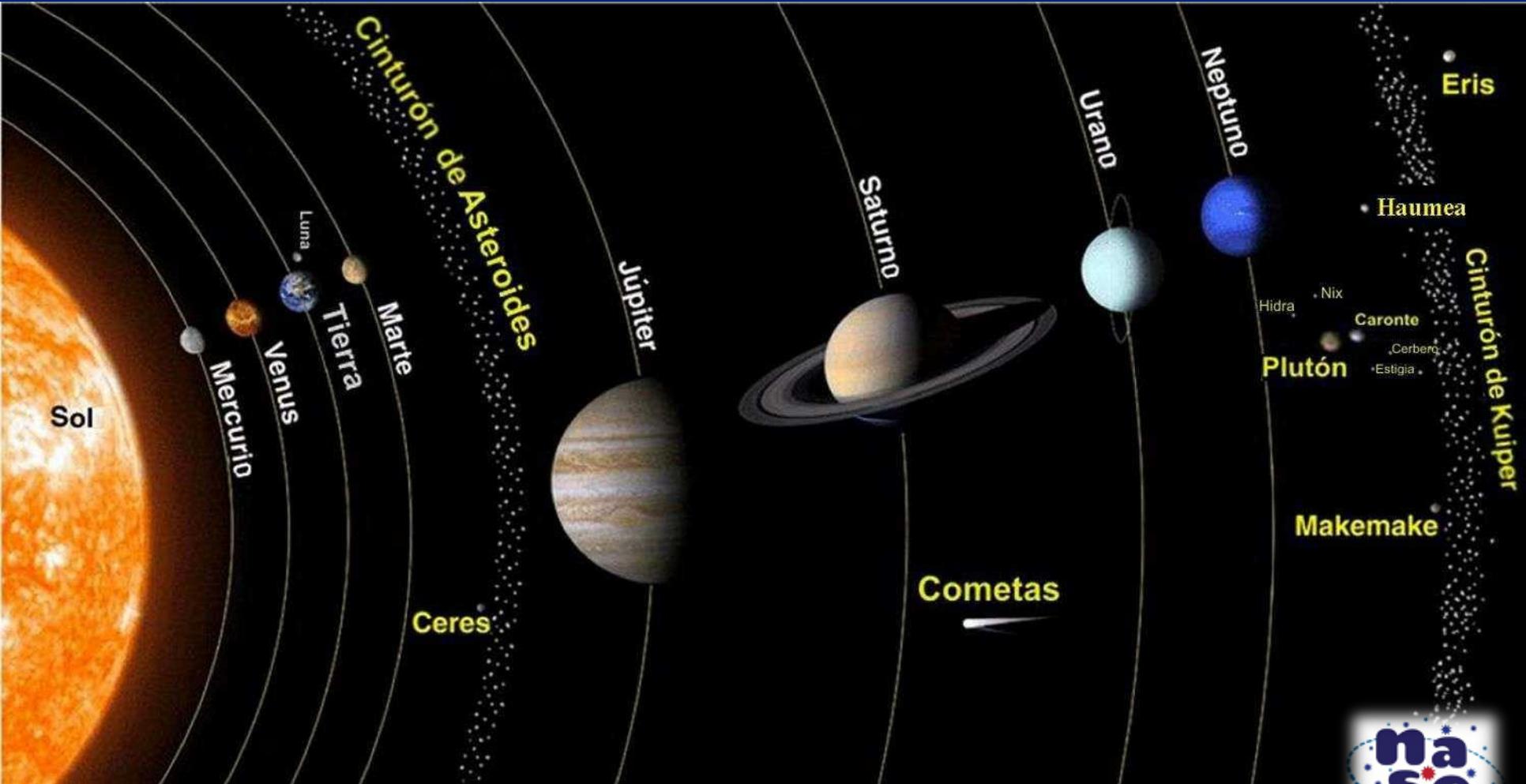
Un cuerpo que cumpla sólo los dos primeros criterios, y que no sea un satélite, es clasificado como “**planeta enano**”.

A un cuerpo que cumpla sólo el primer criterio, y que no sea un satélite, se le llama “**pequeño cuerpo** (o cuerpo menor) del Sistema Solar”.



El Sistema Solar Actual

(cuerpos en escala de tamaño)



El límite real del Sistema Solar

Todas las órbitas planetarias yacen dentro de la Heliosfera, región del espacio que contiene campos magnéticos y plasma (“viento”) de origen solar.

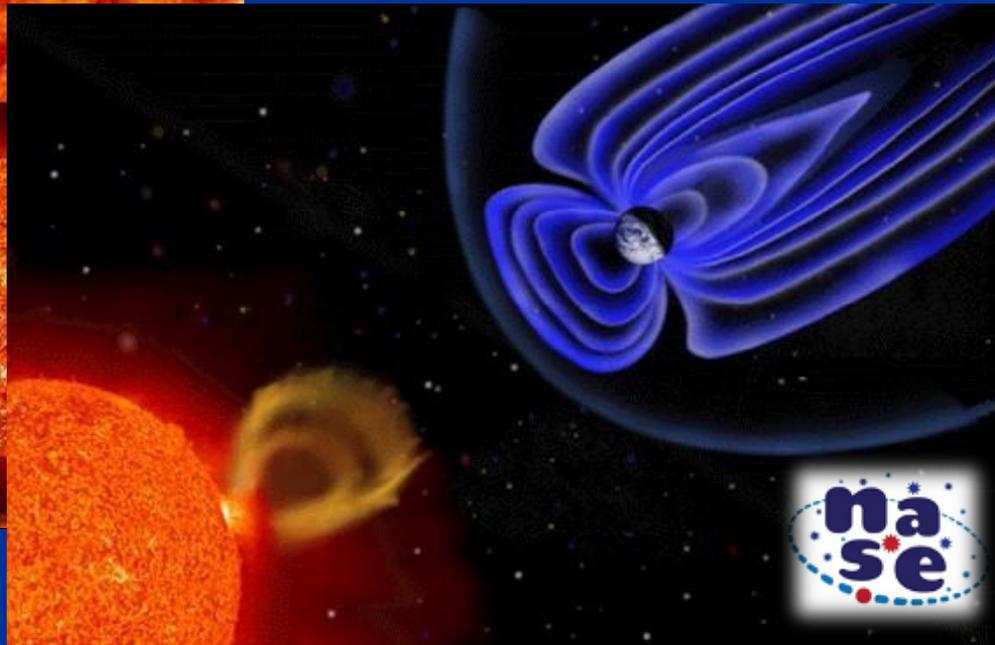
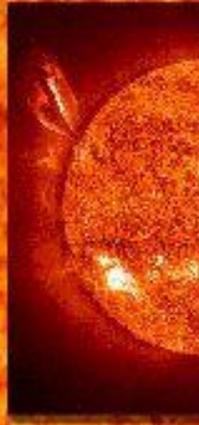
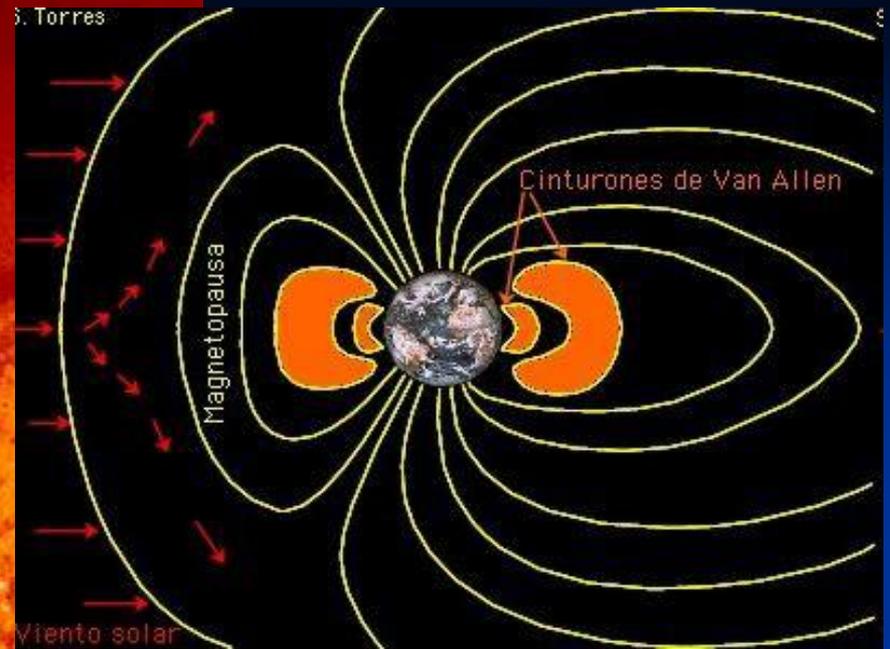
La Heliopausa es el límite de la Heliosfera, donde el viento solar se funde con el medio interestelar.



En 2012 la sonda Voyager 1 cruzó la Heliopausa a una distancia heliocéntrica de más de 100



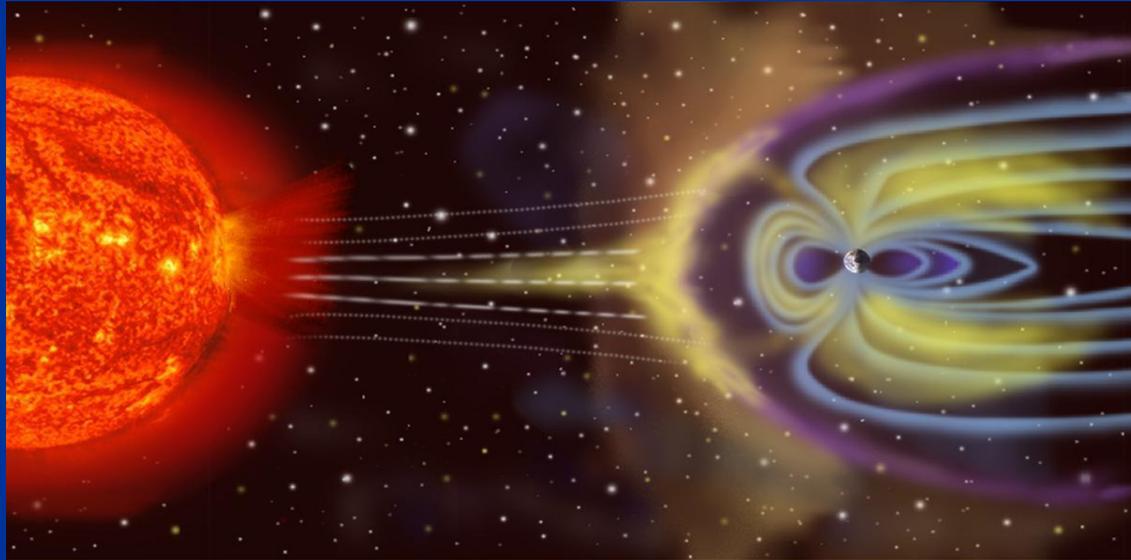
Earth shown
for size comparison



Ambiente Sol-Tierra

El medio interplanetario

El Sol emite radiación electromagnética y viento solar (un flujo continuo de partículas cargadas, plasma).



Este se disipa a una velocidad de 1.5 millones de km/h, creando la heliosfera, una fina atmósfera que baña todo el SS hasta aprox. 100 UA, marcando la heliopausa.



El campo magnético terrestre protege a la atmósfera del viento solar y da lugar a las auroras polares (boreales y australes)



La Heliósfera asegura una protección parcial al SS de los rayos cósmicos, protección que es más fuerte en los planetas con campo magnético.



El "clima espacial" se monitorea permanentemente

SpaceWeather.com -- News and information about meteor showers, solar flares, auroras, and near-Earth asteroids - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://www.spaceweather.com/

Google cinturones de van allen Search Share Bookmarks Check Translate AutoFill cinturones

SpaceWeather.com -- News and info...

 **spaceweather.com**
News and information about the Sun-Earth environment

Subscribe to SpaceWeatherNews go!

AURORA ALERTS | **SUBMIT YOUR PHOTOS!** | **3D SUN** | **CONTACT US** | **SUBSCRIBE** | **FLYBYS** | **SCIENCE@NASA**

Current Conditions

Solar wind
speed: **347.4** km/sec
density: **1.1** protons/cm³
[explanation](#) | [more data](#)
Updated: Today at 0546 UT

X-ray Solar Flares
6-hr max: **B8** 0032 UT Mar29
24-hr: **B8** 0032 UT Mar29
[explanation](#) | [more data](#)
Updated: Today at: 0500 UT

Daily Sun: 28 Mar 11



What's up in space

Tuesday, Mar. 29, 2011

Metallic photos of the sun by renowned photographer Greg Piepol bring together the best of art and science. Buy one or a whole set. They make a stellar gift.



SOLAR RADIO STORM: Did you know sunspots can make noise? Consider the following: "Over the past few days, I have been recording a sustained solar radio storm at 180 MHz," reports amateur radio astronomer [Thomas Ashcraft](#) of New Mexico. "It consists of Type I radio bursts and sounds like ocean surf. [Here is an audio sample](#) from March 27th at 1930 UT. The sun seems to be entering a new phase of dynamism."

Radio emissions like these are caused by plasma instabilities in the sun's atmosphere above sunspots. With the sun becoming 'radio-active,' it's no coincidence that sunspots are emerging in abundance. Leading the way is behemoth active region AR1176, shown here in a photo taken yesterday by Larry Alvarez of Flower Mound, Texas:



archives

March
29
2011

space toys.com



Averted Im
ASTROPHOTO

Los planetas

Los 8 planetas de nuestro SS pueden dividirse en:

- **4 planetas Terrestres**, en la región más interna (Mercurio, Venus, Tierra y Marte). Rocosos, con densidades aproximadas entre 4 y 5 g/cm³.
- **4 planetas Gigantes**, en la región más externa, que a su vez se dividen en:
 - **Gigantes Gaseosos**: Júpiter y Saturno. Más ricos en H y He, con una composición química similar a la solar.
 - **Gigantes Helados**: Urano y Neptuno. Predominan los hielos con respecto a los gases. Su composición química difiere bastante de la solar.
- Los planetas gigantes son más ligeros que los terrestres, con densidades entre 0.7 g/cm³ (Saturno) y 2 g/cm³.



No se formaron “in situ”, hubo una migración causada por el intercambio de momento angular entre los planetas gigantes en formación y los planetesimales que eran barridos hacia otras regiones del Sistema Solar o eyectados del Sistema Solar

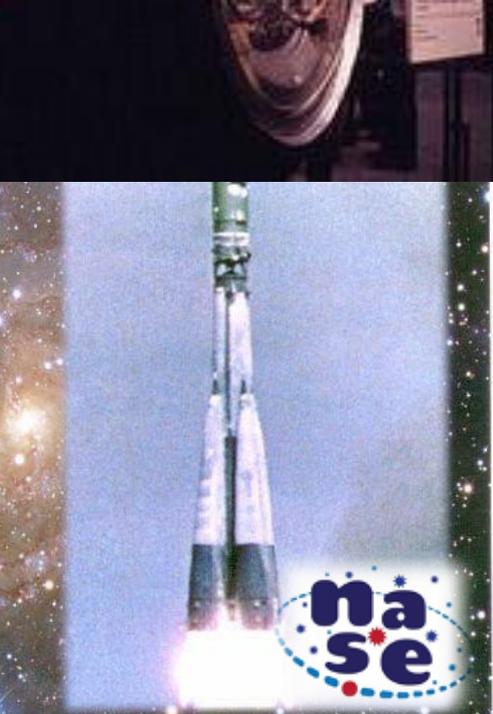
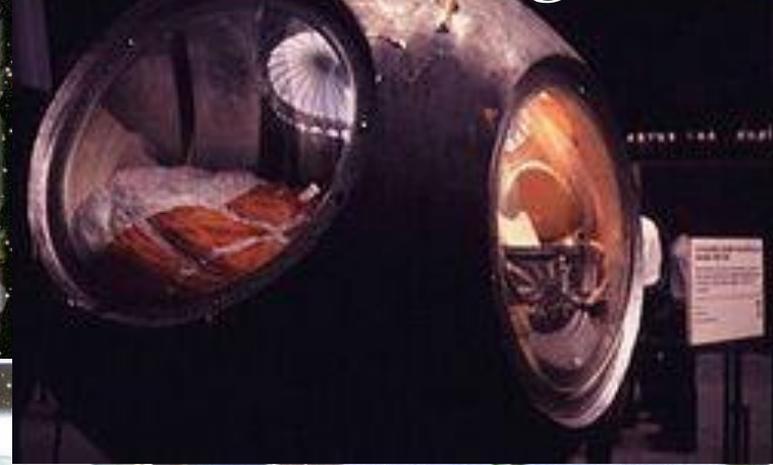


La Tierra

Sistema Tierra-Luna,
fotografiado por la
nave Galileo, en su
camino a Júpiter (1998)

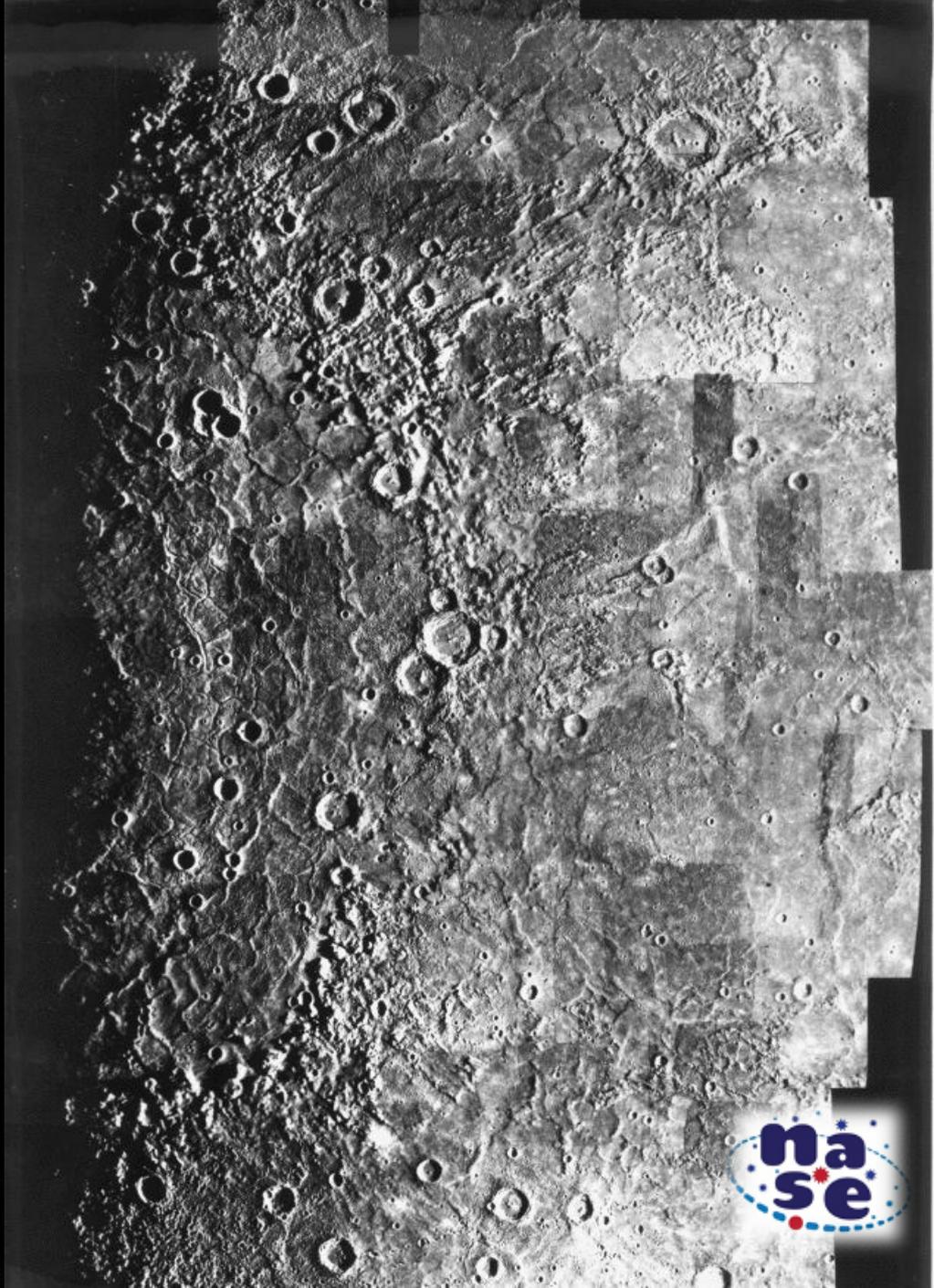


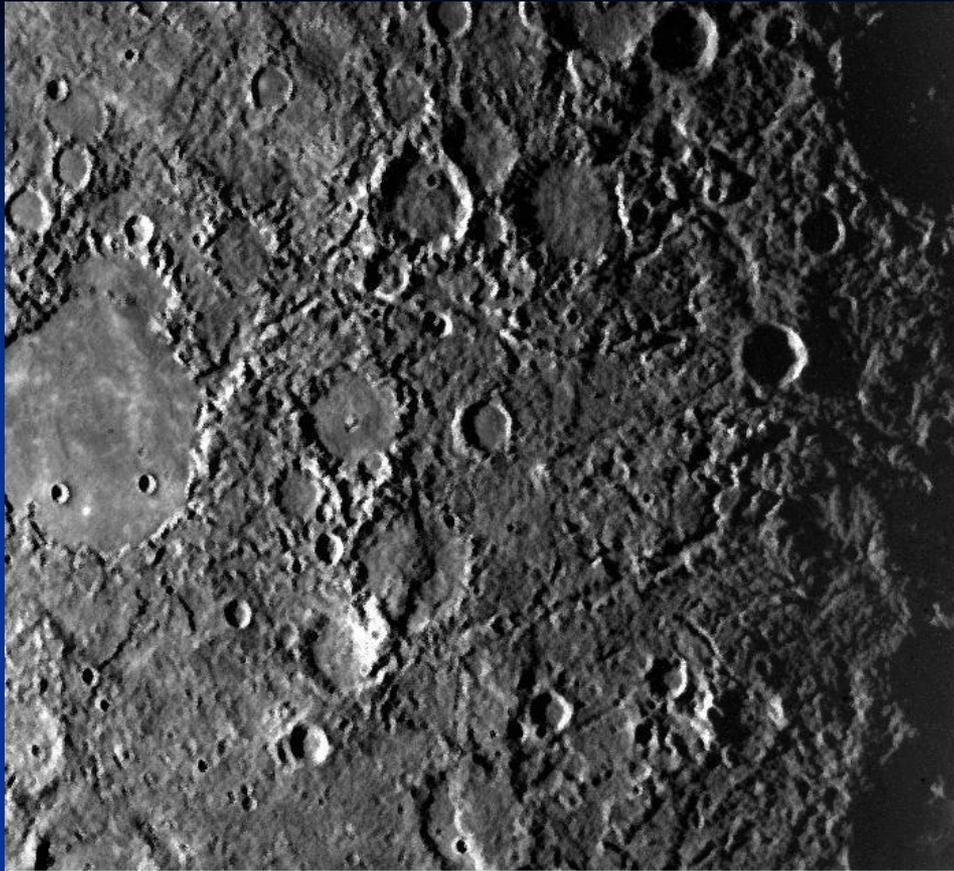
12 de abril de 1961,
primer vuelo de
circunnavegación a la
Tierra, Yuri Gagarin



Mercurio

El más cercano al Sol,
presenta una
superficie accidentada
por impactos





El cráter más importante es “Caloris Basin” (1.500 km de diámetro): el impacto que lo originó produjo ondas que rompieron la superficie en las antípodas (ver foto)

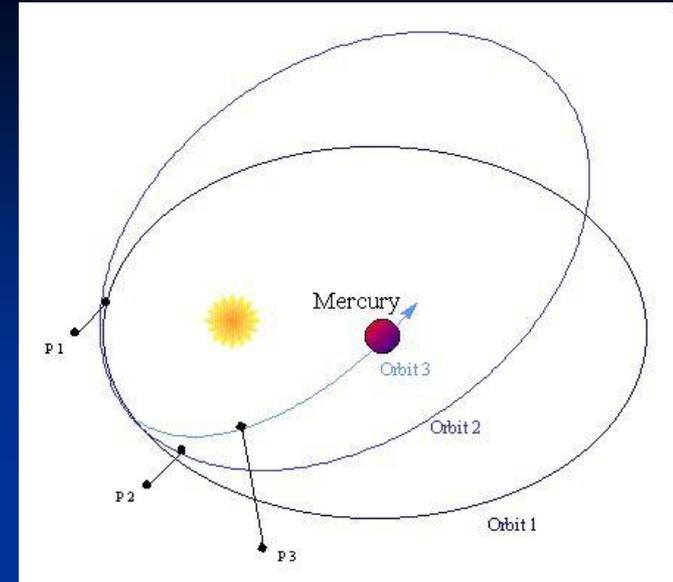


La precesión de perihelio de Mercurio

La precesión del perihelio de Mercurio es más rápida que las previsiones de la mecánica celeste clásica de Newton.

Ese adelanto del perihelio fue predicho por la Teoría general de la relatividad de Einstein.

Es debido a la curvatura del espacio causada por el Sol. Fue una prueba definitiva de esa Teoría.



Venus



Observado con un
pequeño telescopio
en Tierra



Observado con el
telescopio Hubble
en el espacio.





ВЕНЕРА-9 22.10.1975 ОБРАБОТКА ИППИ АН СССР 28.2.1976



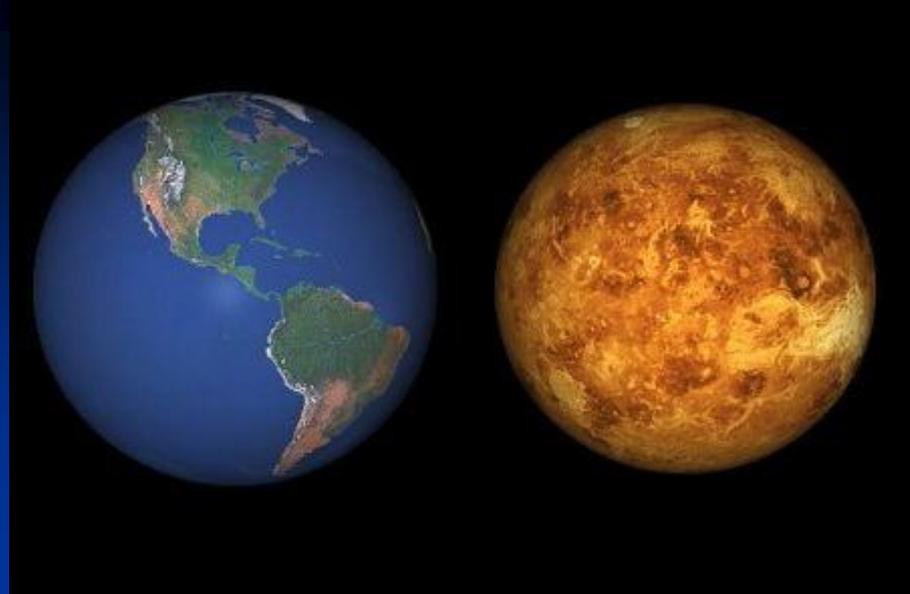
Magallanes (1990-1994)



Con dimensiones y estructura geológica similares a las de la Tierra, fue visitada por varias misiones.



Venus y Urano son los únicos planetas con movimiento retrógrado (giran sobre sí mismos en sentido inverso a como giran alrededor del Sol).



- **año venusino = 224 días terrestres**
- **día venusino = 243 días terrestres.**

La mezcla de CO_2 y densas nubes de dióxido de azufre crean el mayor efecto invernadero de todo el SS, con temperaturas hasta los 460°C , mayores que las de Mercurio.

La presión atmosférica es 100 veces la terrestre, hay nubes y quizá lluvia de ácido sulfúrico.



El tránsito de Venus

Cuando Venus pasa entre la Tierra y el Sol, su sombra cruza el disco solar.

Por la inclinación de la órbita de Venus ocurre dos veces en 8 años, y el siguiente tarda más de un siglo (105.5 ó 121.5 años).

En junio de 2004 y junio de 2012 tuvieron lugar los últimos. No habrá otro hasta el 11 de diciembre de 2117.





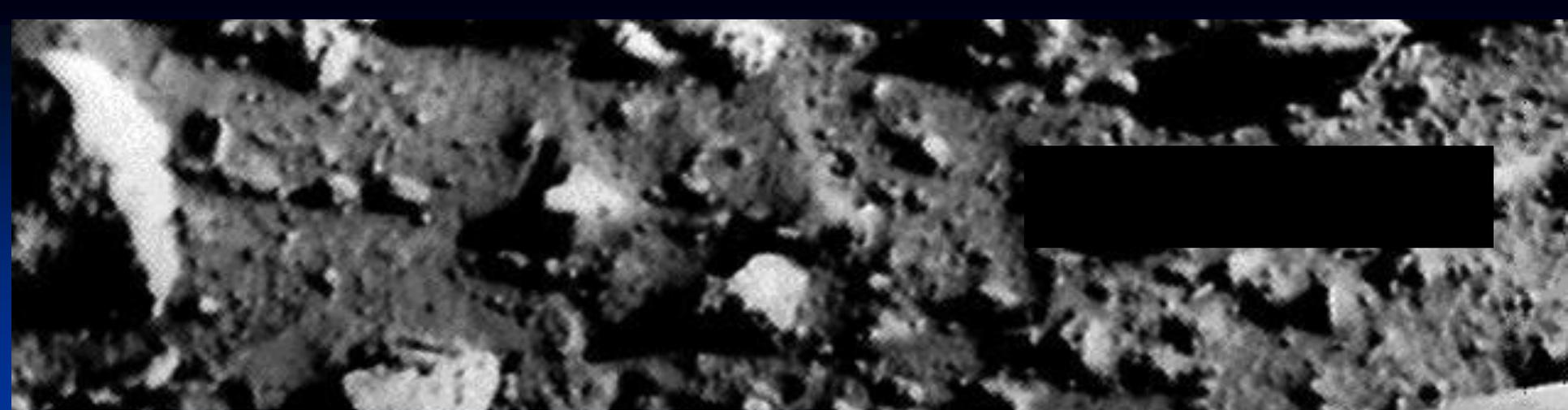
Marte



Monte Olimpo (26000 m)

Tiene una fina atmósfera,
compuesta principalmente de
 CO_2 La presión atmosférica
es una centésima parte de la
terrestre.

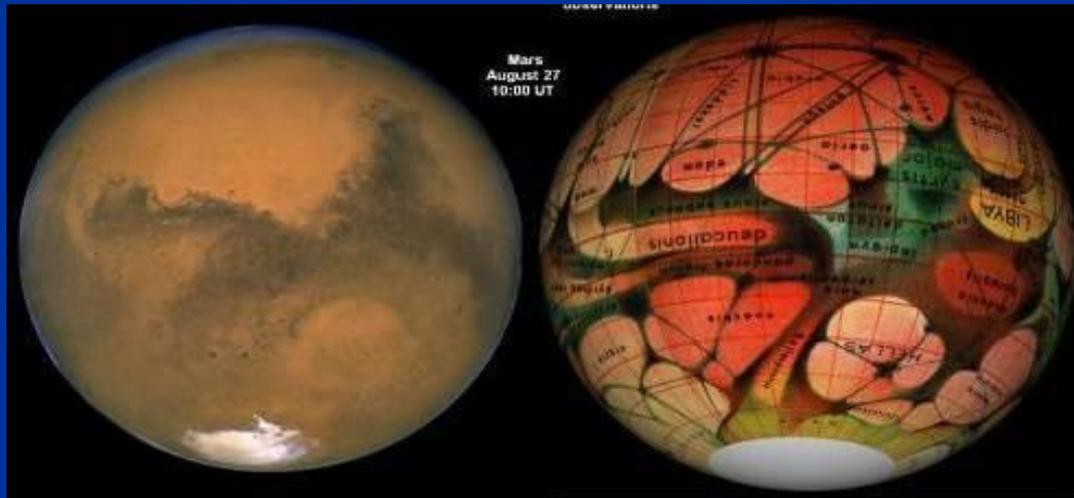




Primera foto de la
superficie de Marte:
Vikingo I, 1976



Fuente de inspiración para muchos autores de ciencia ficción (“extraterrestre” = “marciano”), debido a los famosos “canali” observados por Giovanni Schiaparelli a finales del siglo XIX: el término se tradujo al inglés como “canals” como si fueran construcciones humanas.



Su color rojo se debe al óxido de Fe (hematita), que se encuentra en los minerales de la superficie

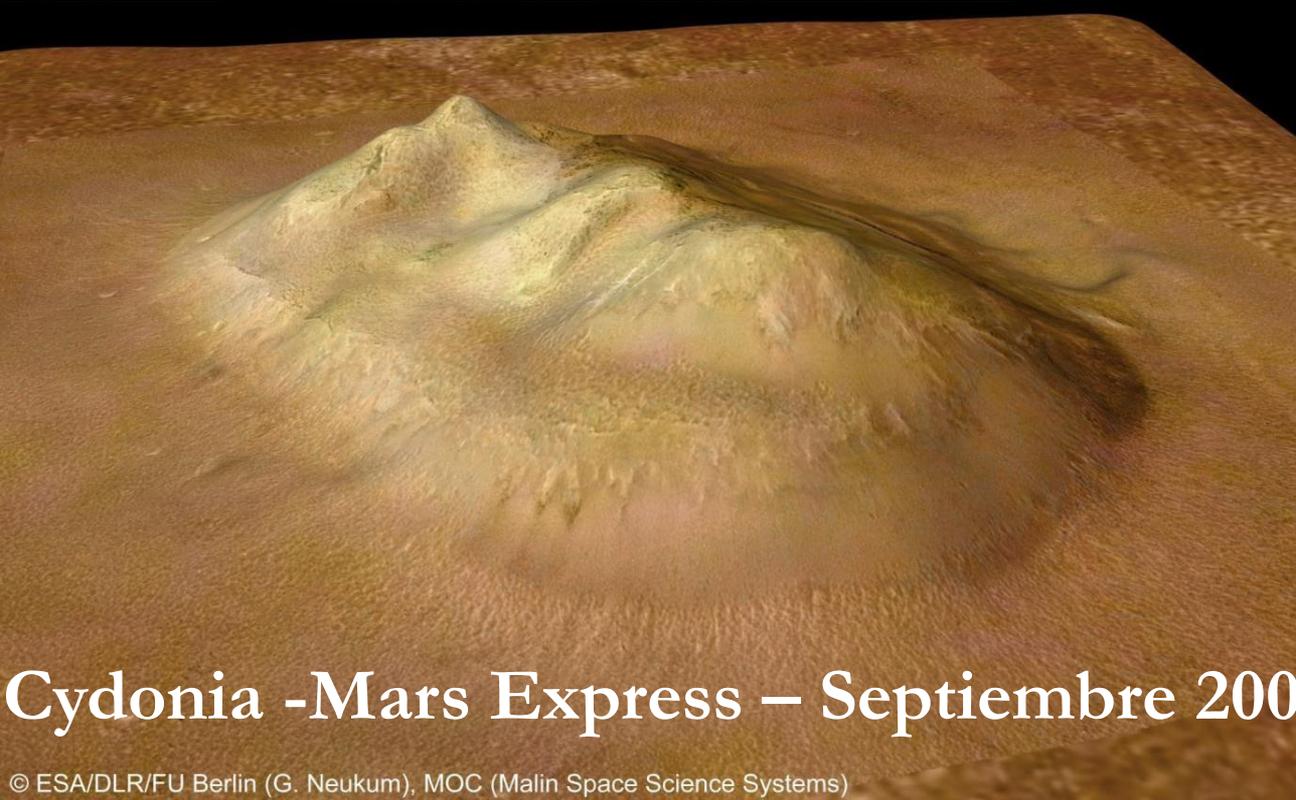


Cydonia – Vikingo I - 1976

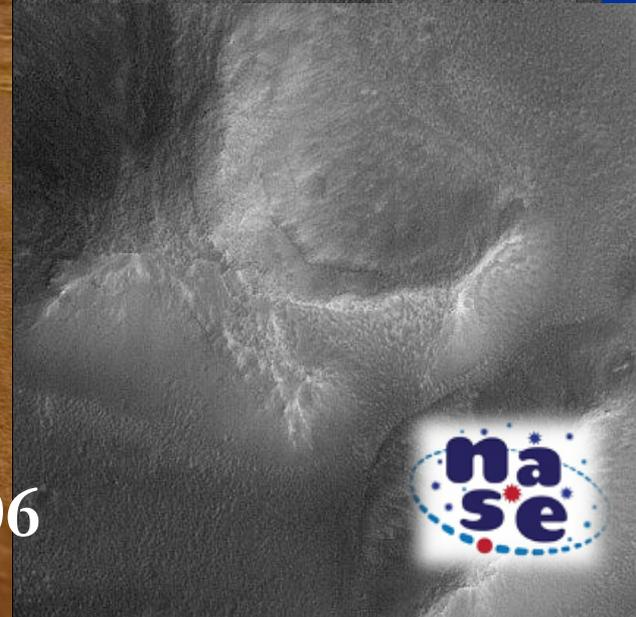


Cydonia

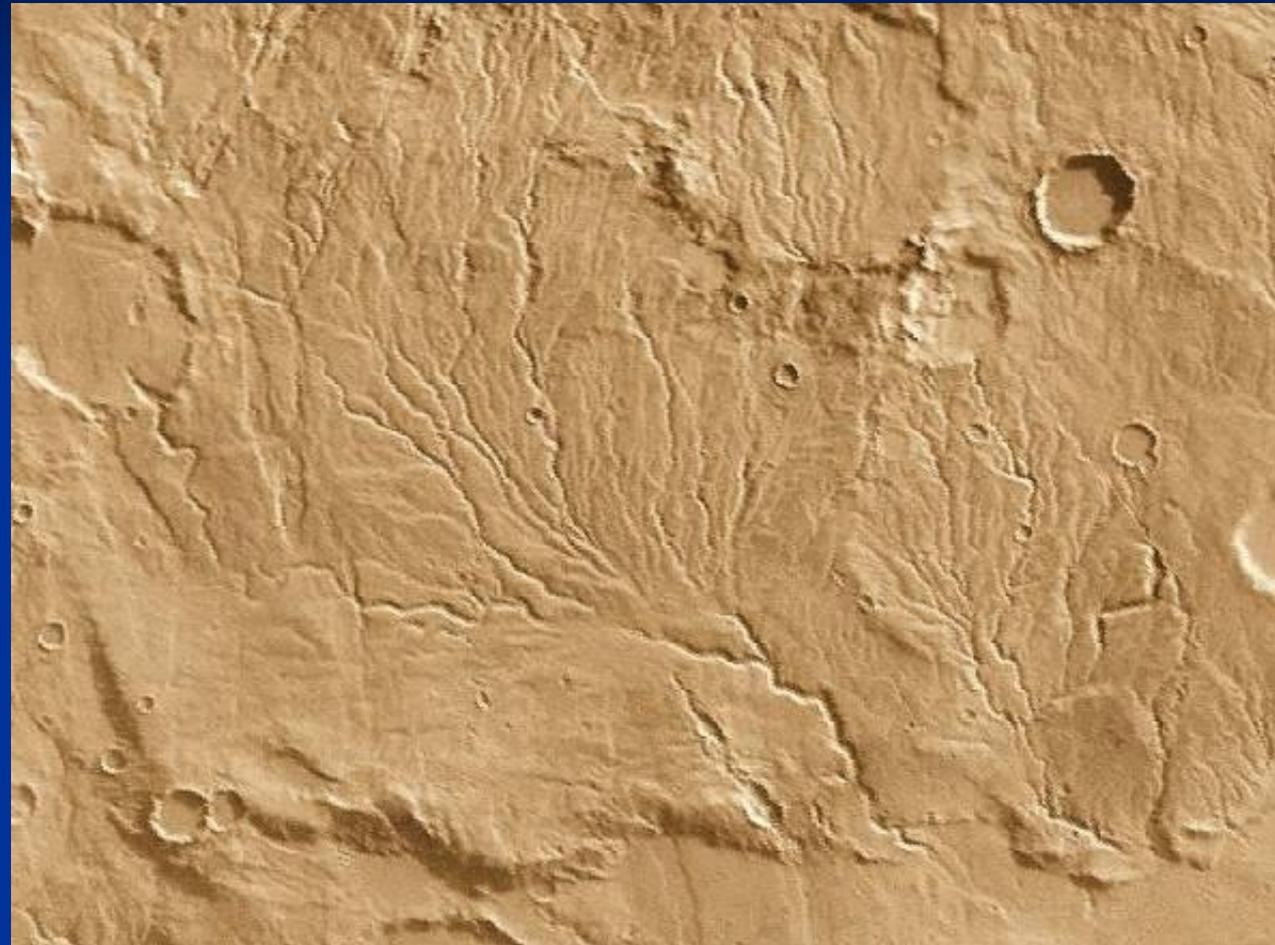
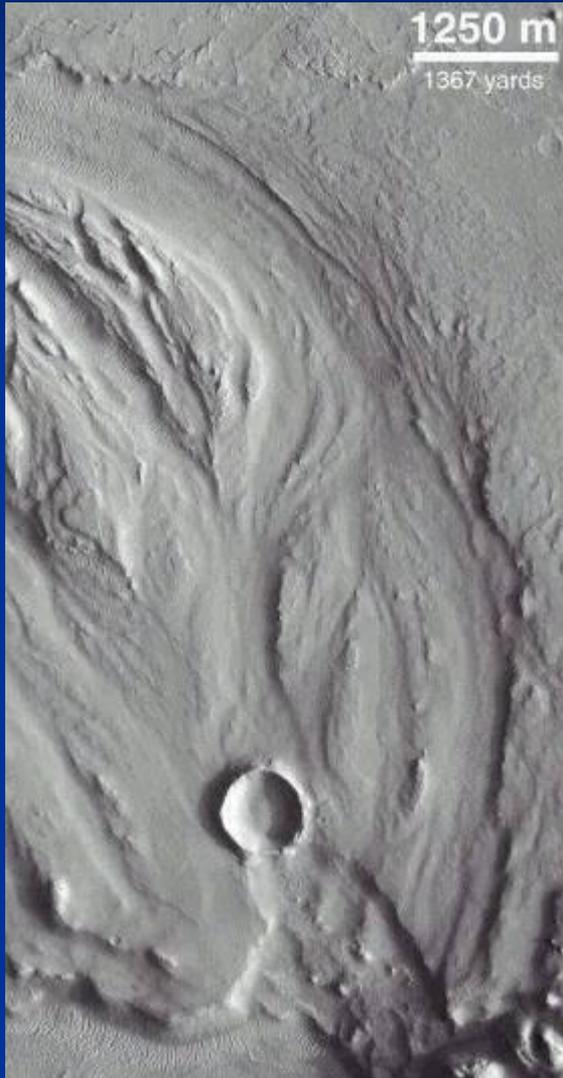
Mars Global Surveyor 1998



Cydonia -Mars Express – Septiembre 2006



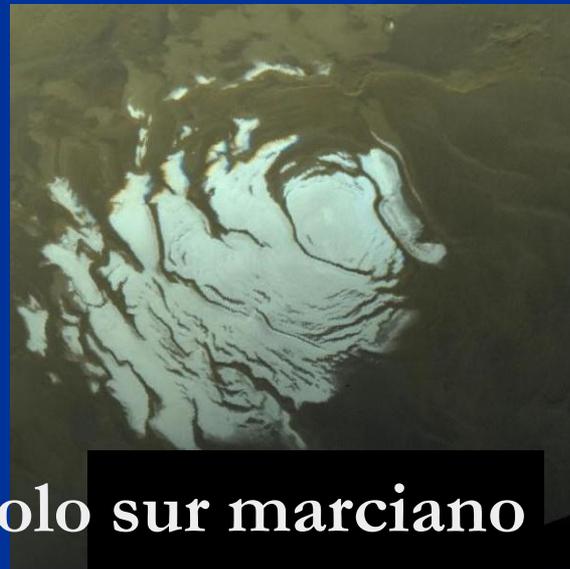
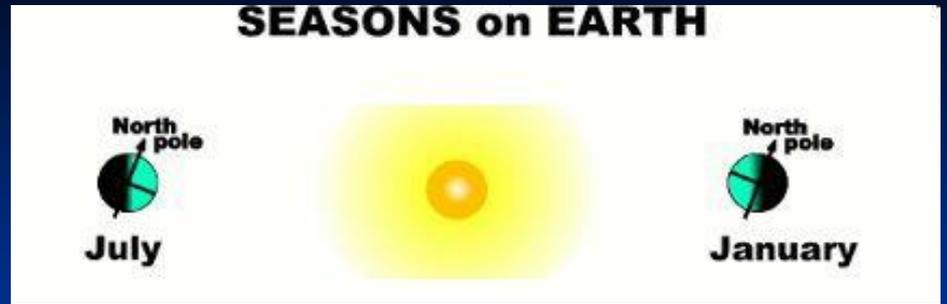
Hay huellas que indican que hubo agua en Marte.



El agua quizá esté ahora helada en el subsuelo.



Al igual que en la Tierra, en Marte hay estaciones debido a que el eje de rotación está inclinado respecto al plano orbital, y a que los planetas se trasladan en torno al Sol manteniendo constante la inclinación del eje.

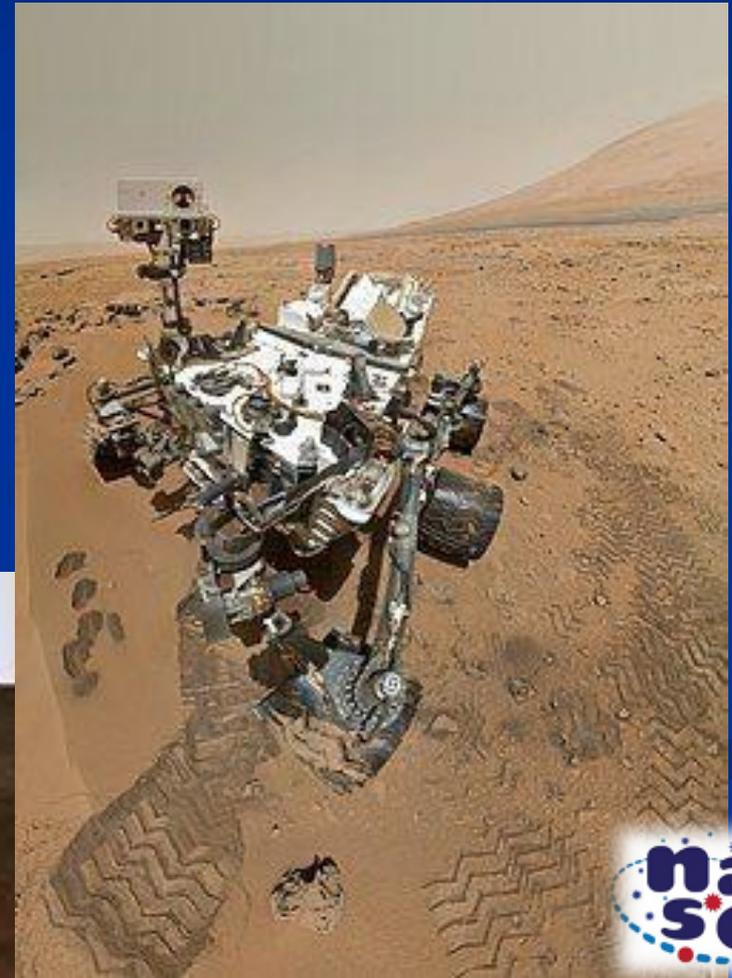


Polo sur marciano

Tiene dos casquetes polares, de hielo y CO₂ cuya extensión varía con las estaciones.



Curiosity en Marte (2004-actualidad): una historia exitosa de ciencia y tecnología: un laboratorio de microbiología



Insight: amartizó el 28 de noviembre de 2018

InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport, en castellano: Exploración Interior utilizando Investigaciones Sísmicas, Geodesia y Transmisión de Calor)

Primera luz del InSight



OBJETIVO: colocar un robot geofísico, equipado con instrumentos de alta tecnología para estudiar el interior, el subsuelo, la transmisión de calor y los movimientos del suelo marciano y analizar la evolución geológica temprana del planeta.



Jupiter

El planeta más masivo del SS, posee más de 60 lunas. En 1610 Galileo observó por primera vez 4 de ellas que llamó “Mediceas”. Ese mismo año Simon Marius las bautizó como Io, Europa, Ganímedes y Calisto.



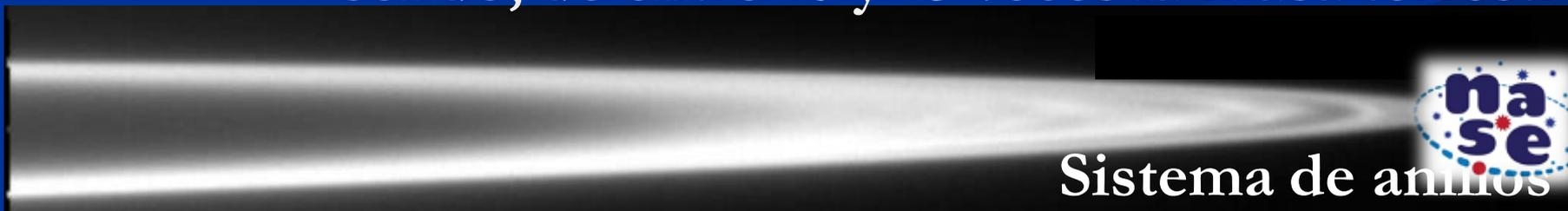
Auroras fotografiadas por el Telescopio Hubble



Grand mancha roja (un ciclón)



Probablemente tiene un pequeño núcleo sólido, de entre 10 y 15 veces la masa terrestre.



Sistema de anillos



Saturno

El planeta menos denso del SS.

Tiene más de 60 lunas y algunas de ellas se encuentran entre los anillos, organizando dinámicamente el sistema. Algunas se llaman “satélites pastores”



Sistema de Anillos, formados por polvo y trozos muy pequeños de hielo.

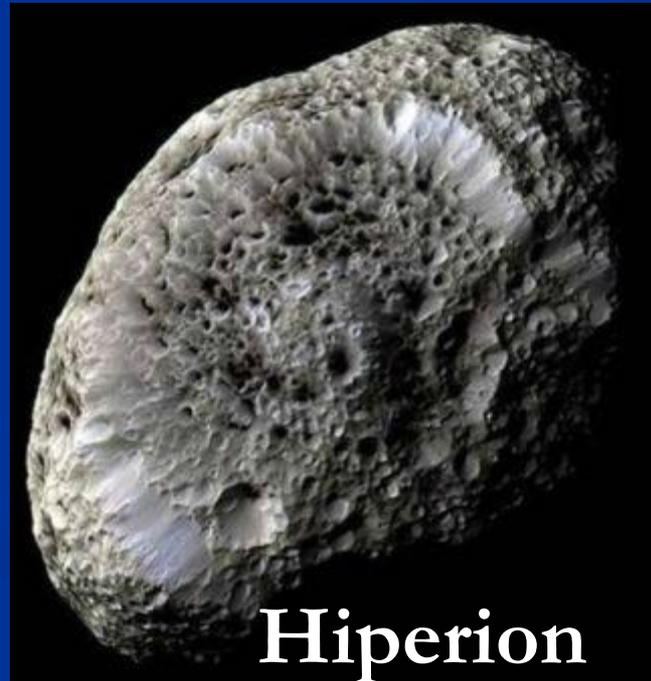


Auroras en Saturno, fotografiadas por el Telescopio Hubble



- Saturno tiene más de 60 satélites pero 7 son suficientemente grandes como para tomar una forma esférica.
- Titán es el mayor (más grande que Mercurio y Plutón) y el único en el SS con una atmósfera densa.

Titán

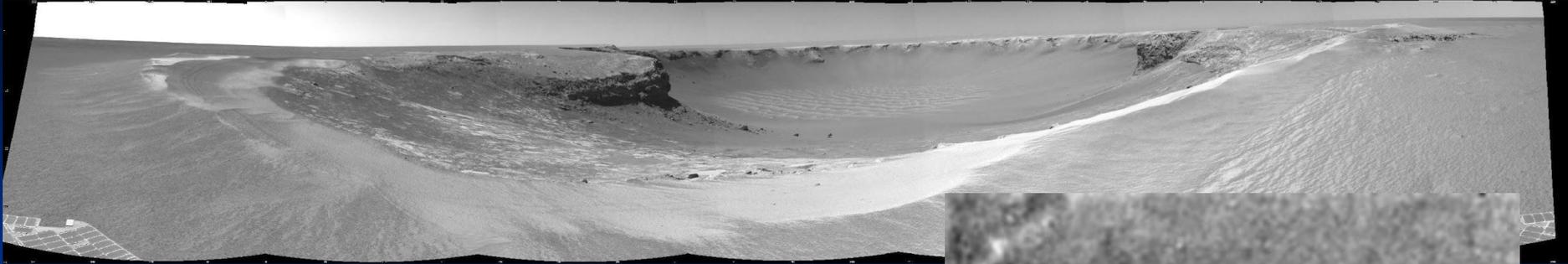


Hiperion

Misión Cassini-Huygens

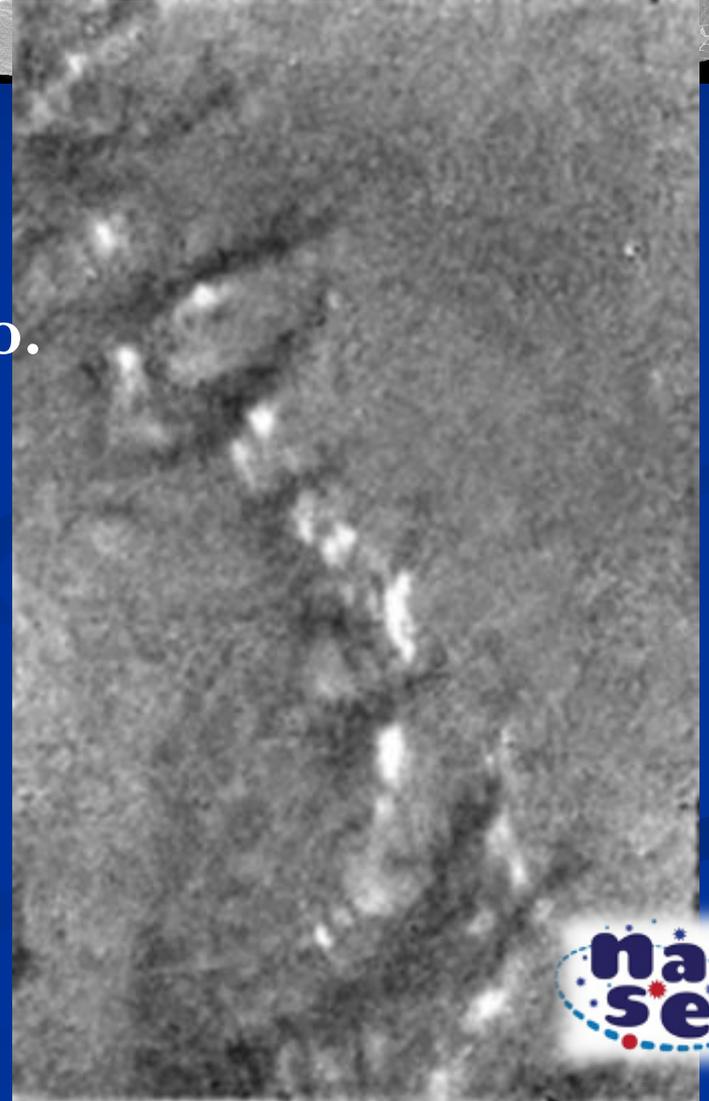
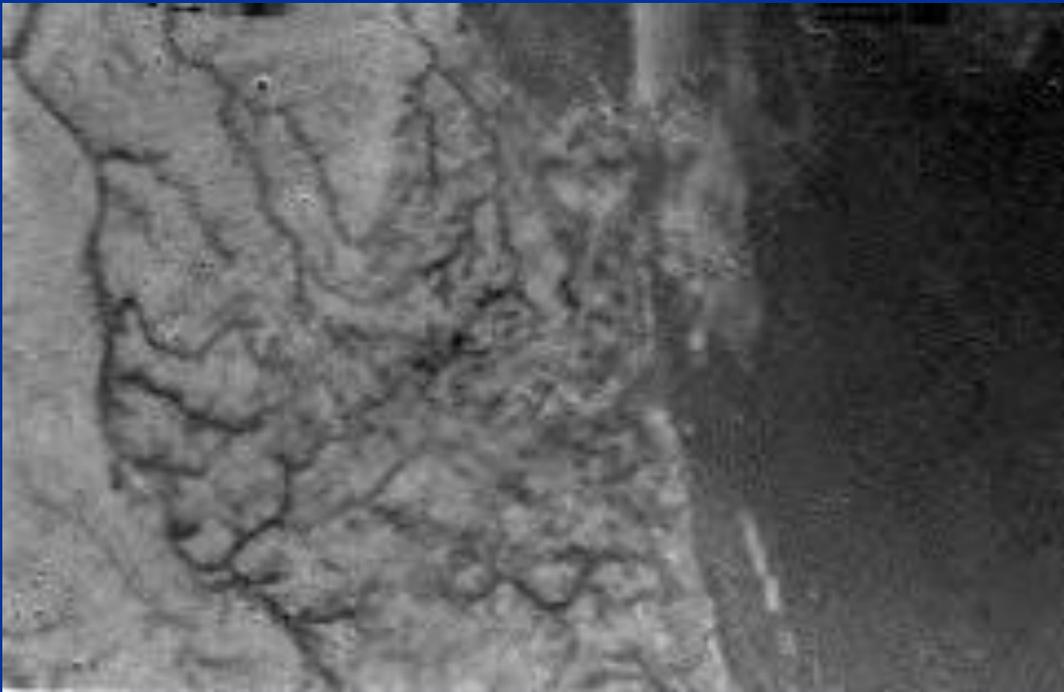
Sonda Huygens
descenso en Titán
(visión artística)



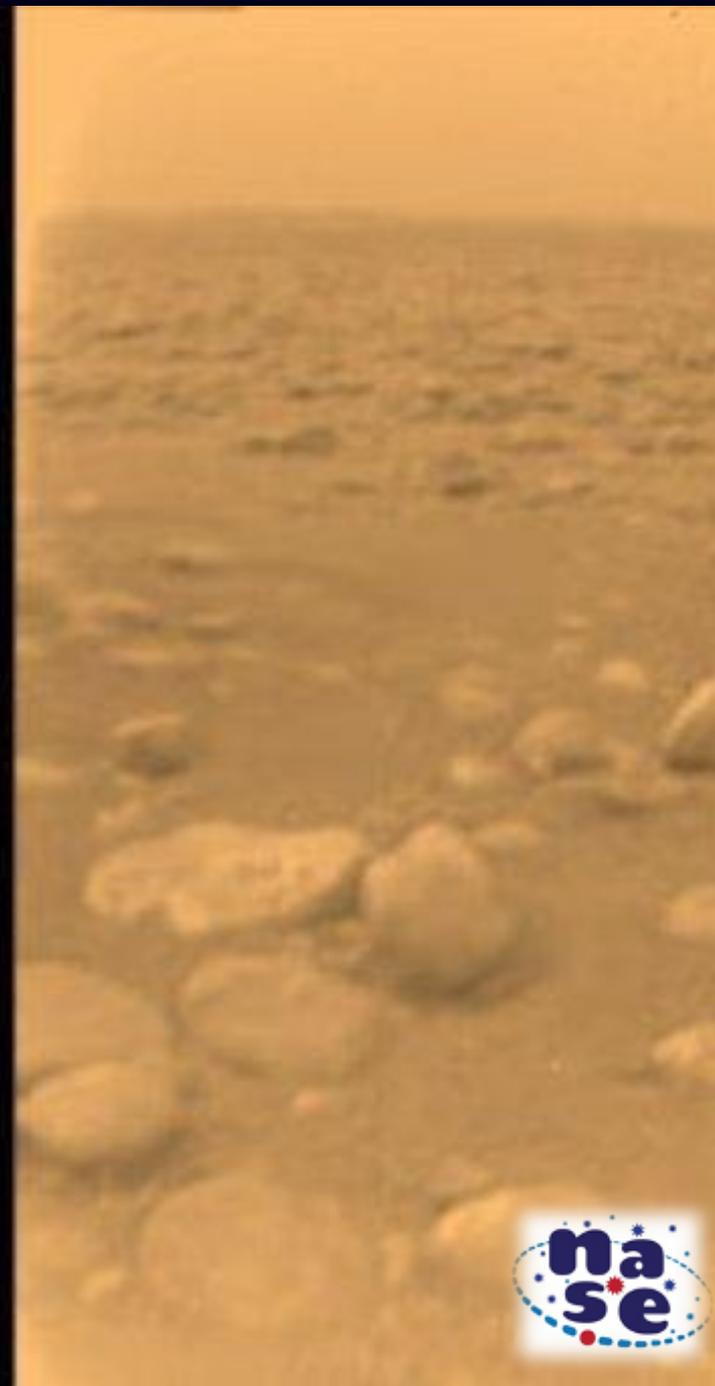
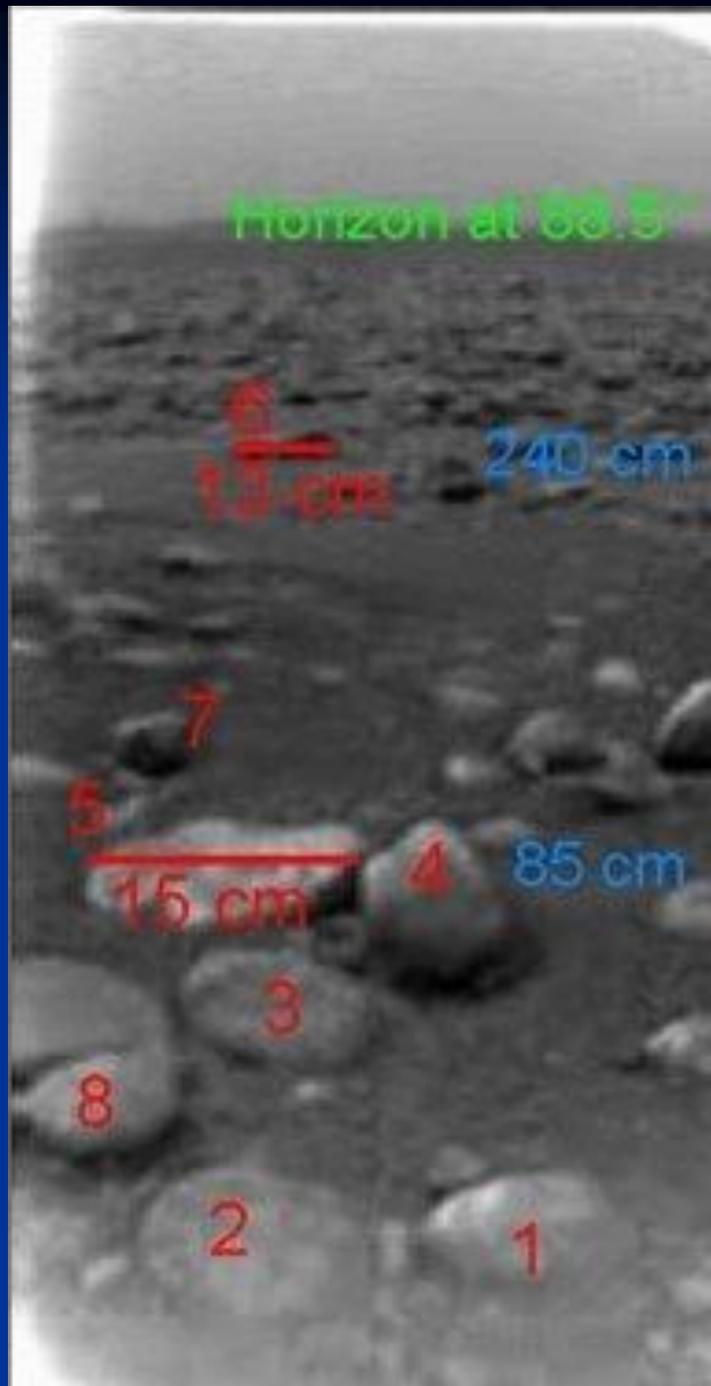


Sonda Huygens descenso en Titán (Primera foto panorámica)

Titán: mares, ríos y lagos de metano.

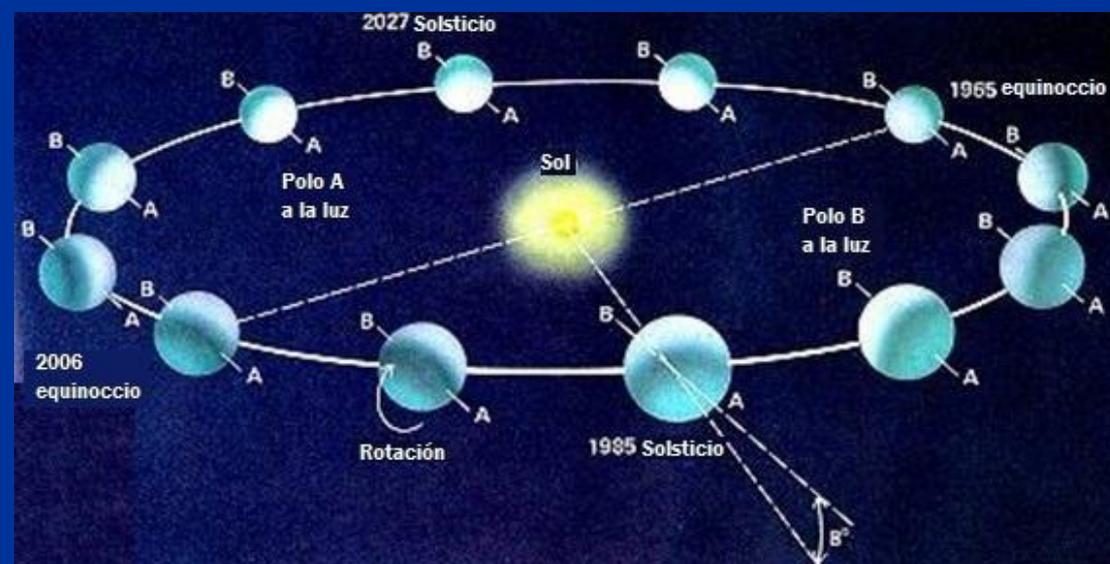
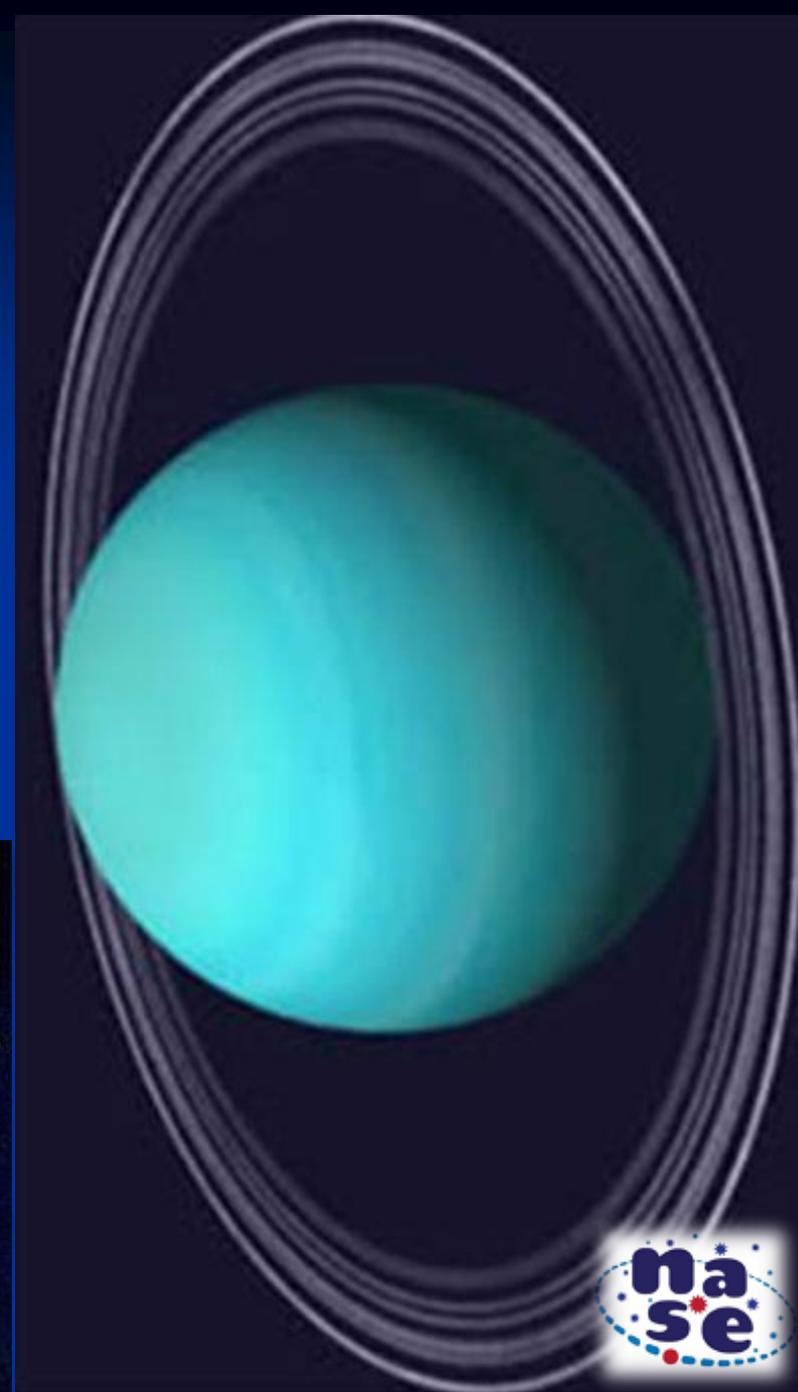


Última foto
de la sonda
Huygens
sobre
Titán



Urano

Su eje de rotación está prácticamente en su plano de traslación

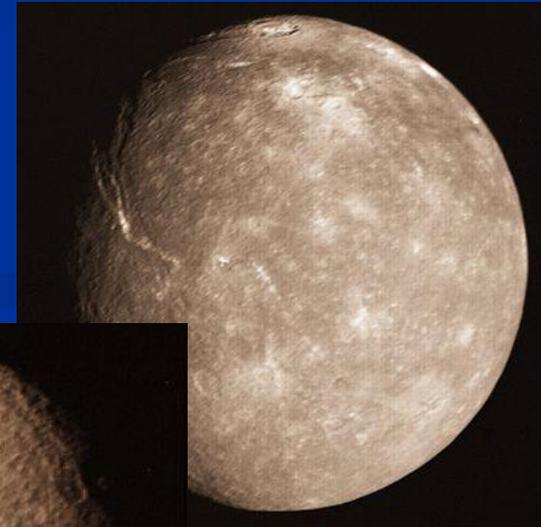


Sistema de anillos de Urano

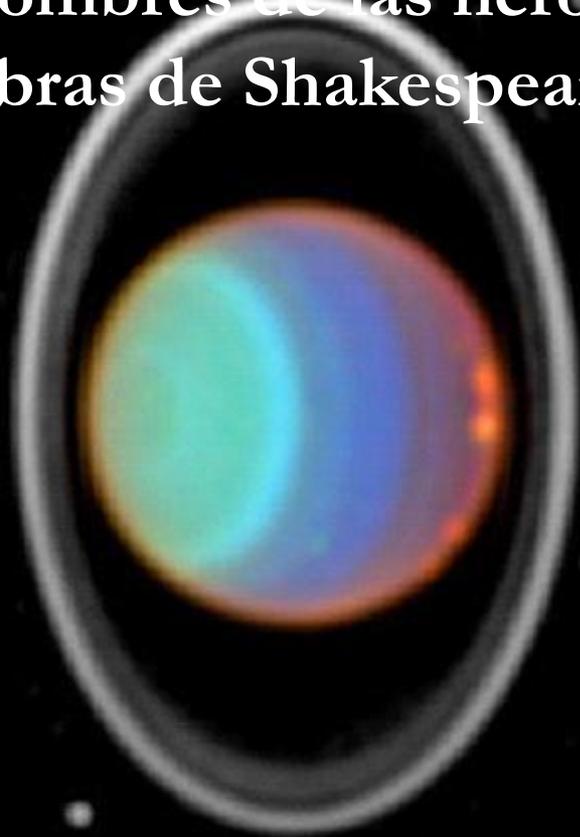


Urano tiene al menos 27
satélites naturales.

Los primeros dos fueron
descubiertos por William
Herschel en 1787: Titania y
Oberon.



Los satélites de Urano llevan los nombres de las heroínas de las obras de Shakespeare



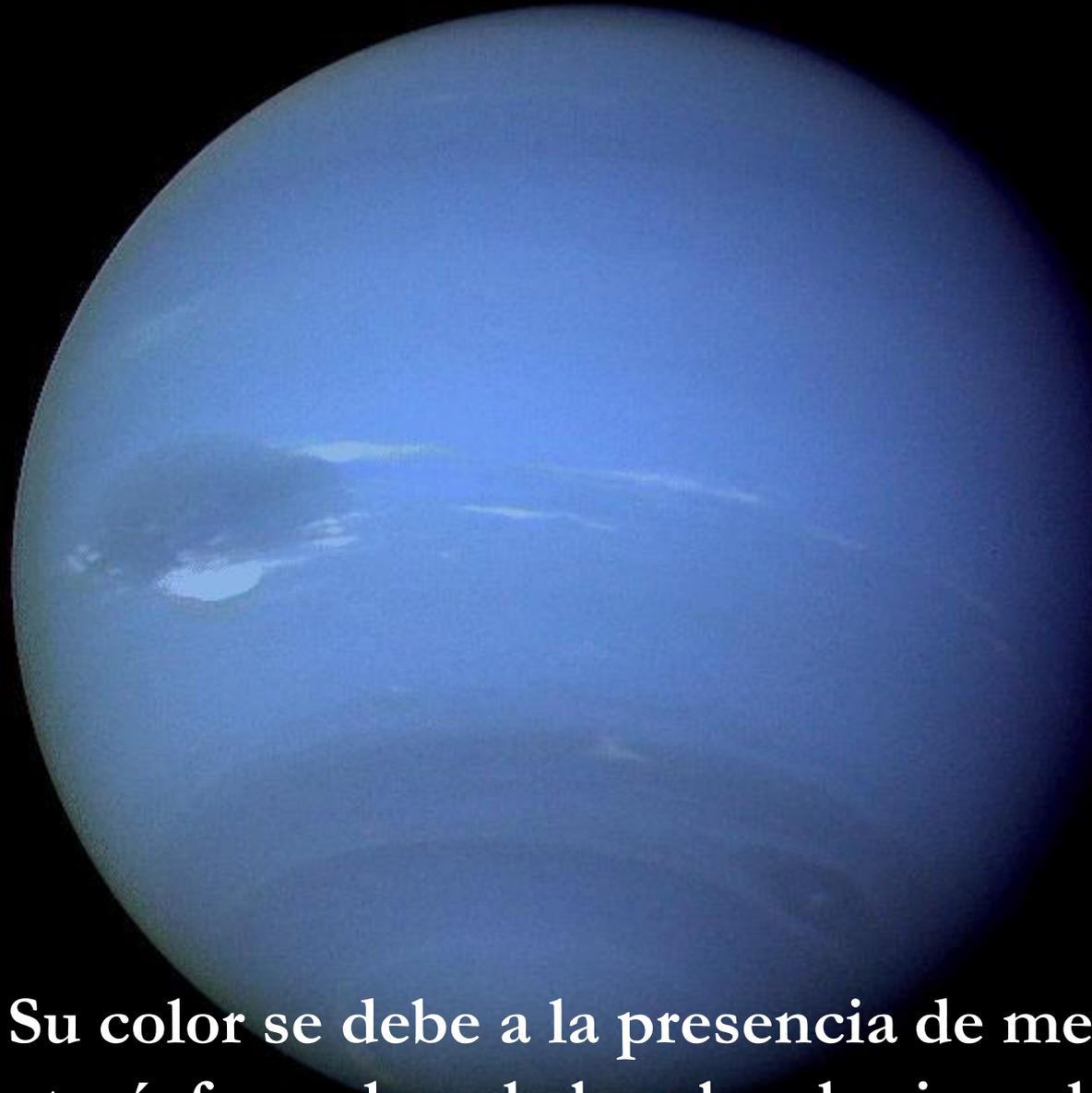
Urano • Julio 28, 1997

PRC97-36a • November 20, 1997 • ST Sci OPO

E. Karkoschka (University of Arizona Lunar & Planetary Lab) and NASA



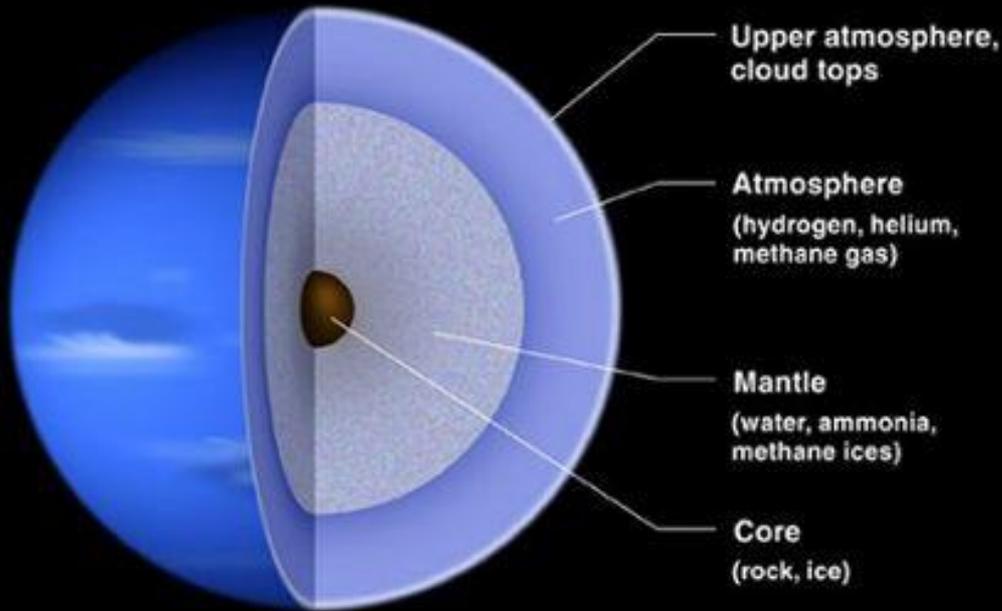
Neptuno



Su color se debe a la presencia de metano en la atmósfera, el cual absorbe el rojo y el infrarrojo.

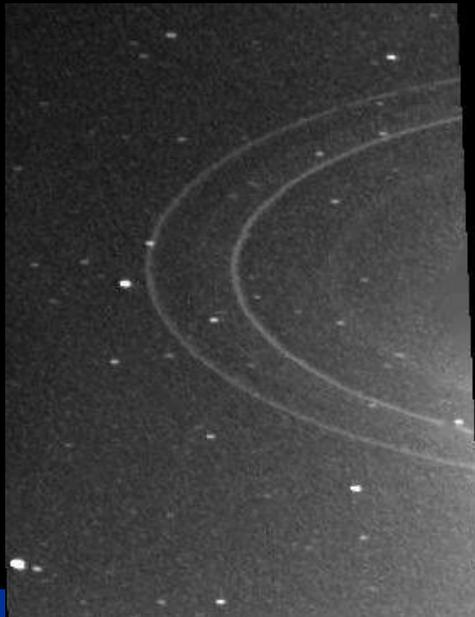


Neptuno



Se cree que tiene un núcleo sólido de silicatos y hierro, casi tan grande como la Tierra.

Por encima del núcleo hay un manto de hielo, metano, H y un poco de He



Posee anillos muy oscuros, de origen aún desconocido.



Clyde Tombaugh,
descubrió Plutón el
18 de febrero de
1930.

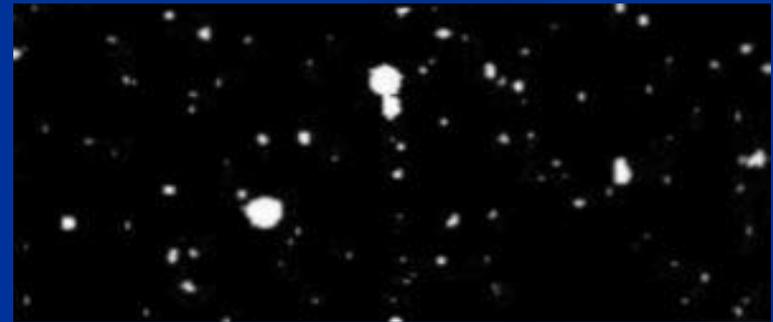


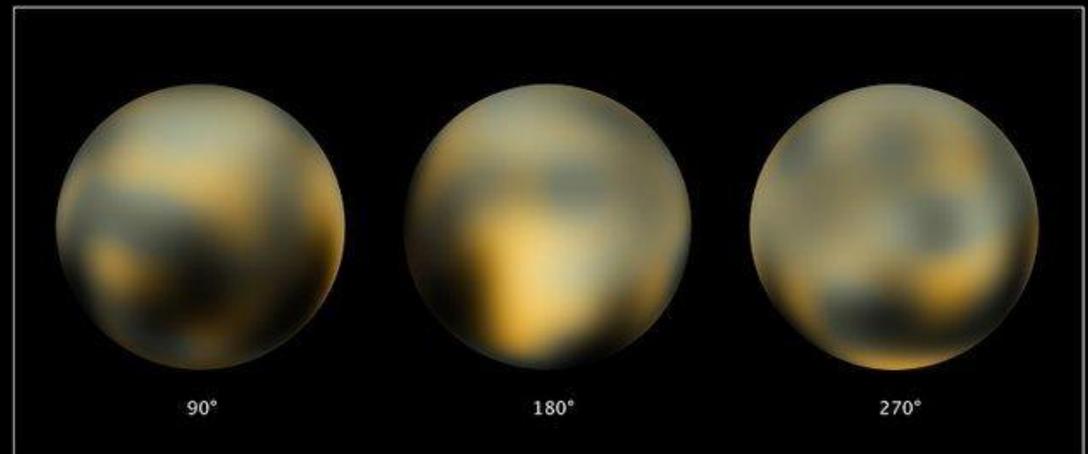
Imagen del
descubrimiento.
(1930)



Plutón es demasiado pequeño para perturbar la órbita de Neptuno el tiempo suficiente para traicionar su presencia, por mucho que Lowell haya calculado para localizarlo. Clyde Tombaugh encontró a Plutón (magnitud ~ 13.5) fotografiando de manera sistemática el plano de las SS.



Plutón y Caronte
Telescopio
Hubble 1999



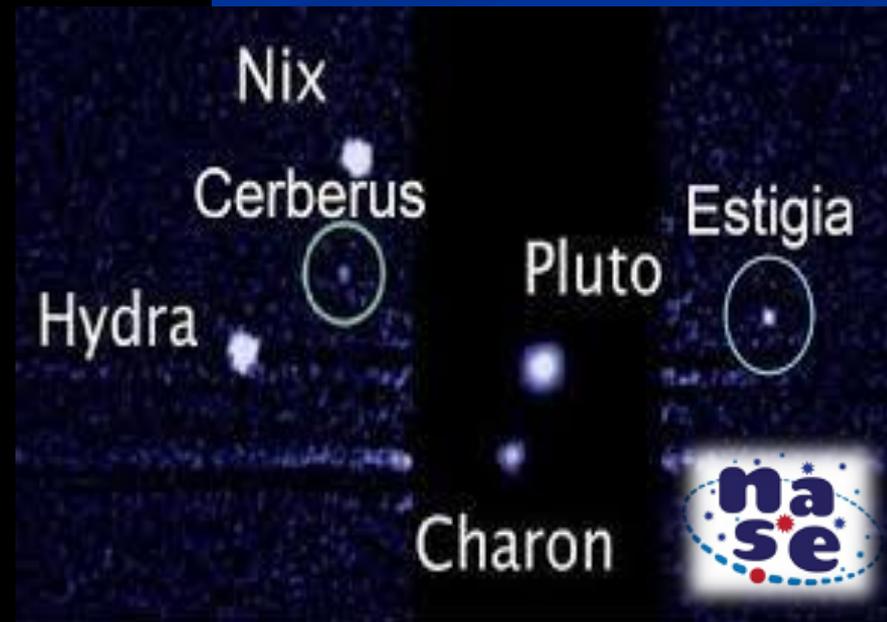
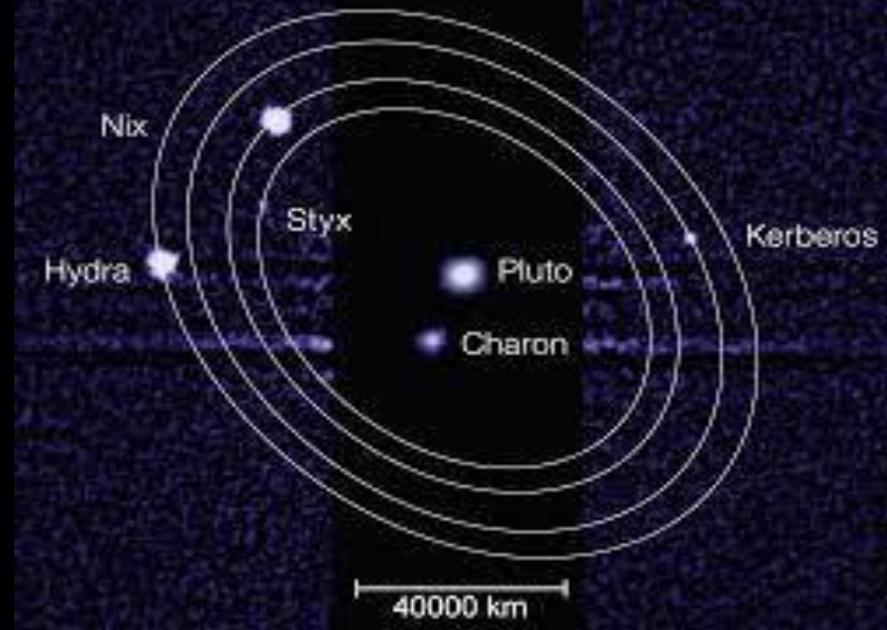
Pluto Faces
Hubble Space Telescope • ACS/HRC

Sistema de Plutón.

Hubble Space Telescope ■ ACS/HRC
Febrero 15, 2006



Sistema de Plutón. 2011-2012



NASA, ESA, H. Weaver (JHU/APL), A. Stern (SwRI),
and the HST Pluto Companion Search Team





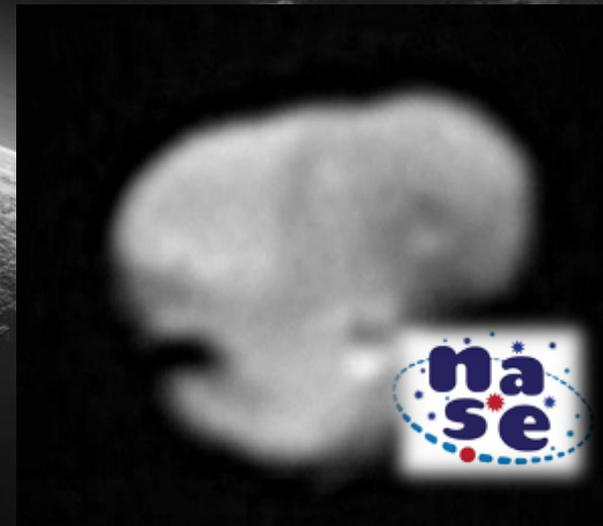
Plutón y Caronte
New Horizons, 2015

20 miles



NASA

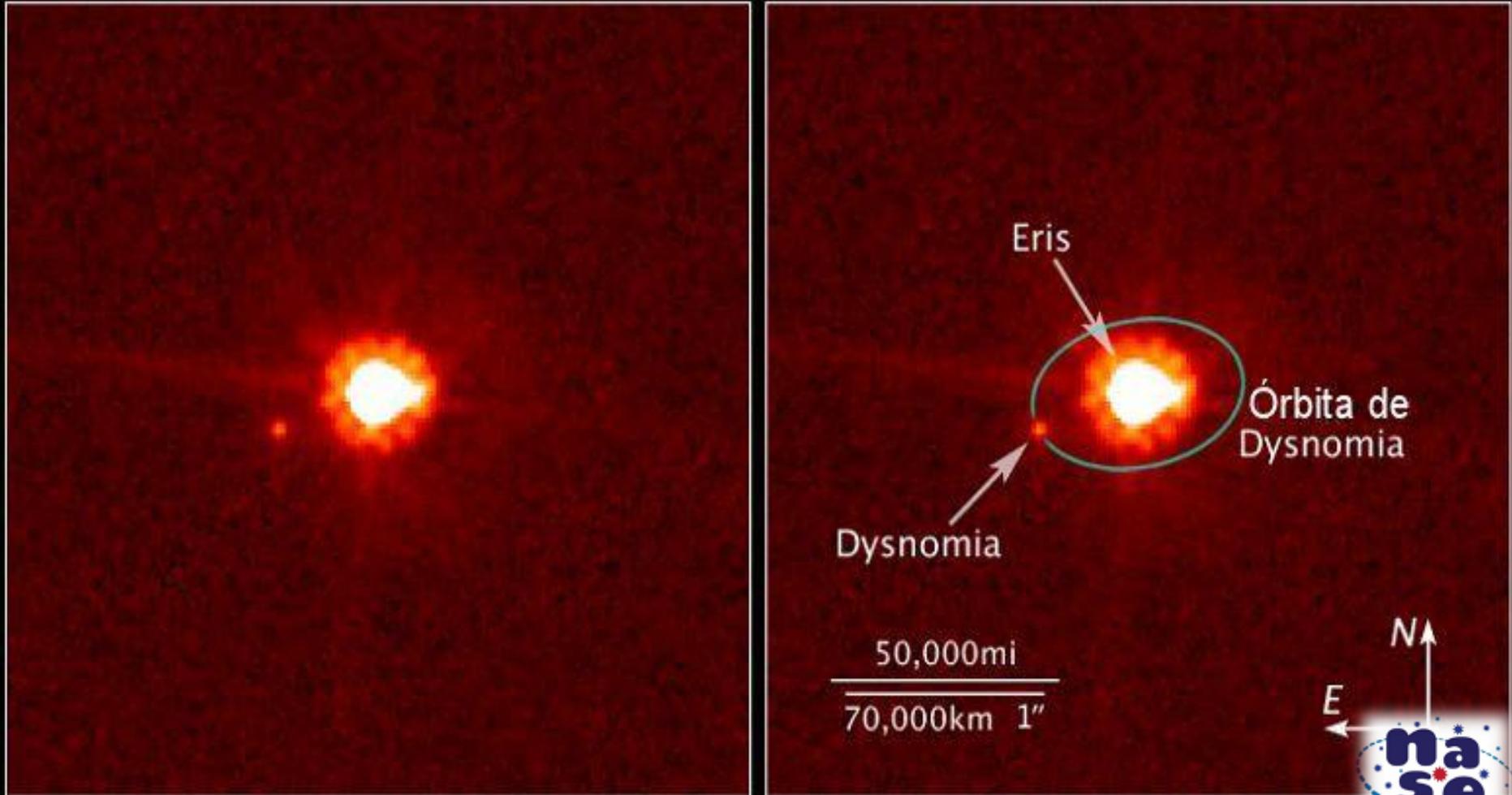
**Sobrevuelo de Plutón
(14 de julio de 2015)
Se observa la tenue
atmósfera de
nitrógeno**



Descubrimiento de Eris

Planeta enano Eris y satélite Dysnomia. Agosto 30, 2006.

HST • ACS/HRC



NASA, ESA, and M. Brown (California Institute of Technology)

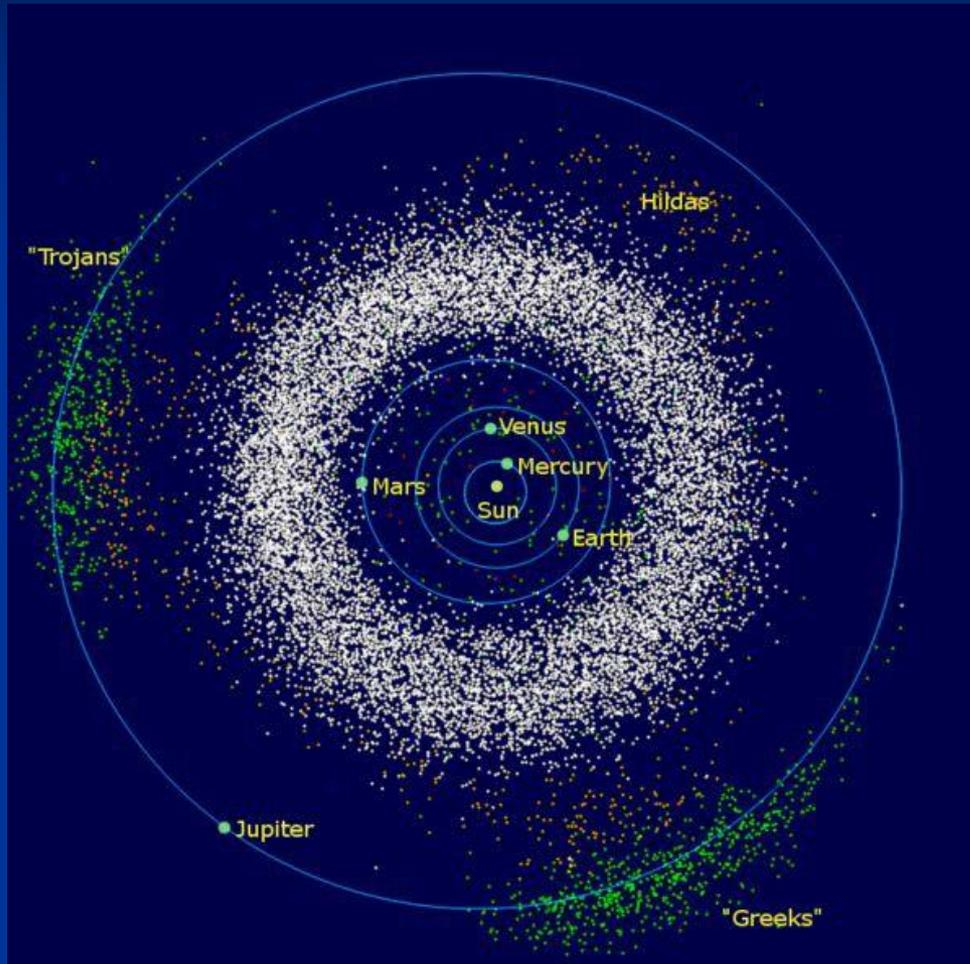
STScI PR07-24

Cuerpos Menores del Sistema Solar

- **Son los remanentes de la acreción planetaria.**
- Comprenden diversas poblaciones de asteroides, cometas y objetos transneptunianos.
- Los asteroides son esencialmente rocosos y metálicos, mientras los cometas son objetos más frágiles y porosos, formados básicamente por hielos (predominando el agua) y partículas de polvo.
- La gran mayoría de los asteroides se encuentra en una región entre las órbitas de Marte y Júpiter, conocida como el “Cinturón Principal de Asteroides”.
- Los objetos transneptunianos contendrían importantes cantidades de hielo, y se ubican en una región más allá de Neptuno, conocida como “Cinturón Transneptuniano” (o Cinturón de Kuiper, en reconocimiento a uno de los primeros en predecir su existencia).



Cinturón principal de Asteroides



Existen cientos de miles o millones, y la masa total superaría a la milésima parte de la Tierra.

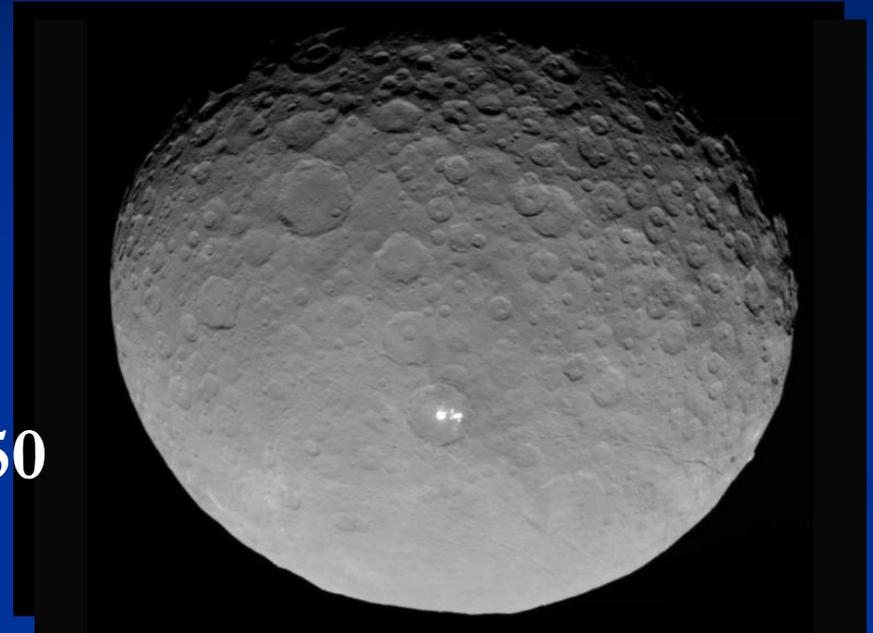


El tamaño de los asteroides va desde varios cientos de km hasta metros y fracciones de m.

Ceres

Descubierto en 1801 por Giuseppe Piazzi fue considerado planeta hasta 1850 cuando se encontraran otros muchos objetos similares.

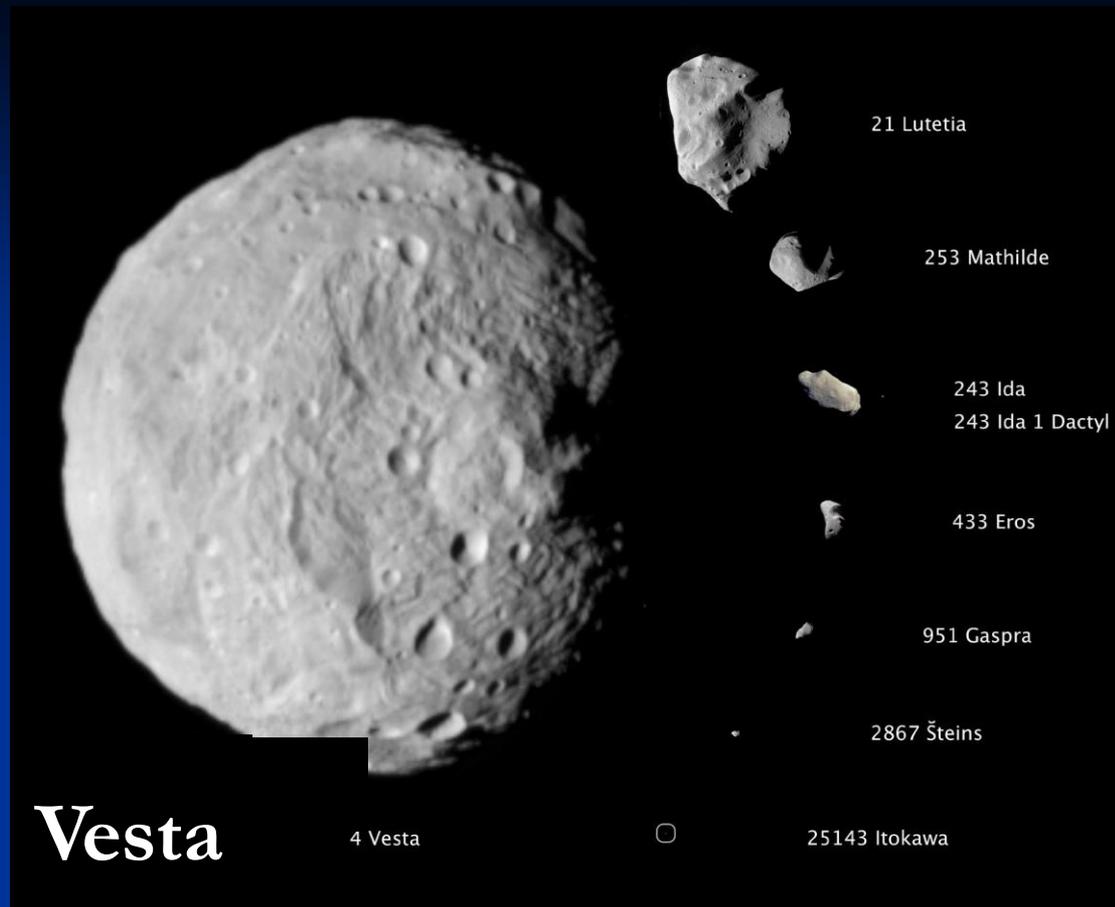
Es el cuerpo más grande del cinturón de asteroides, y el único de ellos catalogado en el 2006 como planeta enano.



Con un diámetro de casi 1.000 km, es bastante grande como para que su gravedad le dé forma esférica.



Todos los demás asteroides se consideran cuerpos pequeños, irregulares, aunque algunos de ellos como Pallas y Vesta podrían ser clasificados como planetas enanos si se demuestra que llegan al equilibrio hidrostático.



Pallas



Los reservorios de cuerpos menores en el SS

Los reservorios son regiones relativamente estables, donde los objetos pueden permanecer durante tiempos comparables a la edad del SS, hasta que alguna fuerza perturbativa les cambie la órbita.

Hay tres grandes reservorios en el SS:

- El **Cinturón Principal de Asteroides**. De esta región provendrían otras poblaciones, como la de los asteroides que se acercan a la Tierra (conocidos como NEAS por sus siglas inglés).
- El **Cinturón Transneptuniano**. Es la región de donde provienen los cometas de corto período.
- La **Nube de Oort**. Tiene una distribución esférica y está formada por los planetesimales helados barridos hacia afuera por planetas gigantes durante la formación del SS. Gracias a perturbaciones debidas al pasaje cercano de estrellas o de nubes moleculares gigantes, o a las mareas galácticas, las órbitas de algunos de estos objetos pueden cambiar desviándose hacia el interior del SS, transformándose en cometas de largo periodo.



Datos al 17 de abril de 2019.

Fuente: NASA/JPL (<https://ssd.jpl.nasa.gov>)

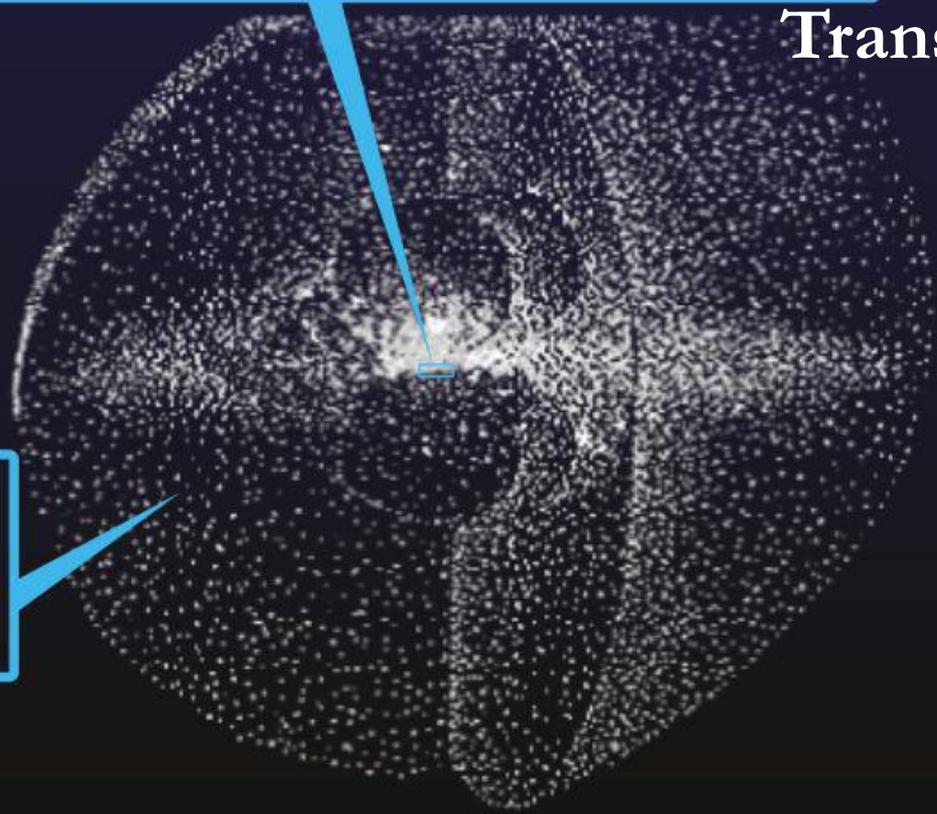
- Total de asteroides conocidos: 798.130. Incluyen:
 - Cinturón Principal: 705913
 - Troyanos de Júpiter: 7236
 - Asteroides con órbitas interiores a la de Marte: 3.573
 - NEAs: 19.006
 - Asteroides Potencialmente Peligrosos (PHAs): 1.973
- Cometas:
 - Elípticos: 420 de largo periodo ($P > 200$ años) + 860 de corto período ($P < 200$ años).
 - Parabólicos: 1.837
 - Hiperbólicos: 347 (origen extrasolar)
- Objetos Transneptunianos (TNOs): 3.218



Cinturón Transneptuniano y Nube de Oort



**Cinturón
Transneptuniano**



Nube de Oort
(contiene miles de millones de cometas)

Los más grandes son planetas enanos.



Principales objetos transneptunianos (TNOs)



Eris



Plutón



Makemake



Haumea



Sedna



Orcus

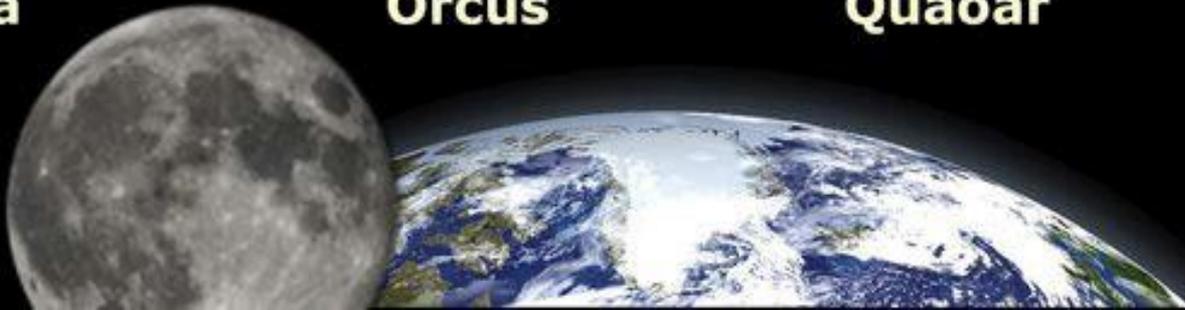


Quaoar



Varuna

Luna



Cometas

- Los cometas son pequeños cuerpos de unos pocos km, hechos fundamentalmente de materiales volátiles (hielos de agua, dióxido de carbono, metano, amoníaco, etc) y partículas de polvo.

- Cuando se acercan al Sol puede ser visibles

- Se piensa que el H₂O e
Tierra podría venir de ellos.



- En general los cometas tienen órbitas bastante excéntricas. Los de largo período tienen inclinaciones aleatorias y pueden tener órbitas tanto retrógradas como directas: los de corto período tienen en general inclinaciones pequeñas y sus órbitas son directas.

- Al acercarse al Sol, los hielos superficiales del cometa se subliman creando una coma o “cabellera”, y las “colas”: una cola de polvo formada por las partículas de polvo arrastradas por el gas, y una cola iónica formada por los átomos y moléculas ionizados que interactúan con el viento solar. La cola de polvo se va curvando, mientras la cola iónica de color azulado apunta recta y opuesta al Sol



Halley: el más famoso de los cometas

Fue nombrado en honor a Edmond Halley, quien predijo su acercamiento al Sol, aplicando la Ley de Gravitación Universal y el cálculo de perturbaciones. Halley no vió confirmada su predicción. Regresa cada 76 años.



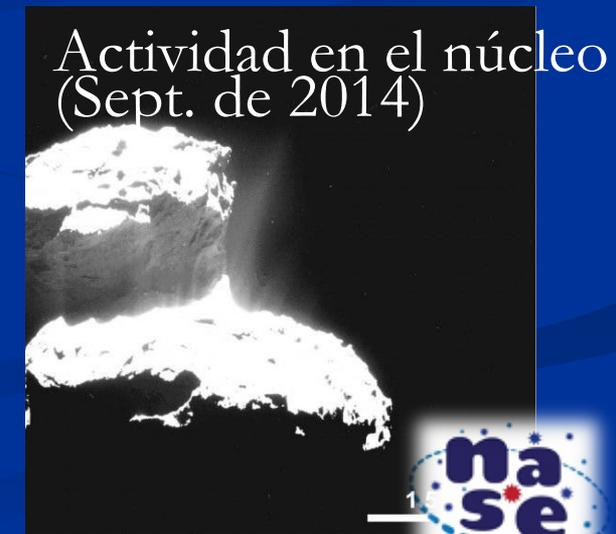
Distance: 3625 km
Time to encounter: 52 sec

En 1986 fue visitado el primer cometa por la sonda espacial Giotto, que fotografió su núcleo.



Mision Rosetta: encuentro con el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko

Philae descende en el cometa el 12 de nov de 2014



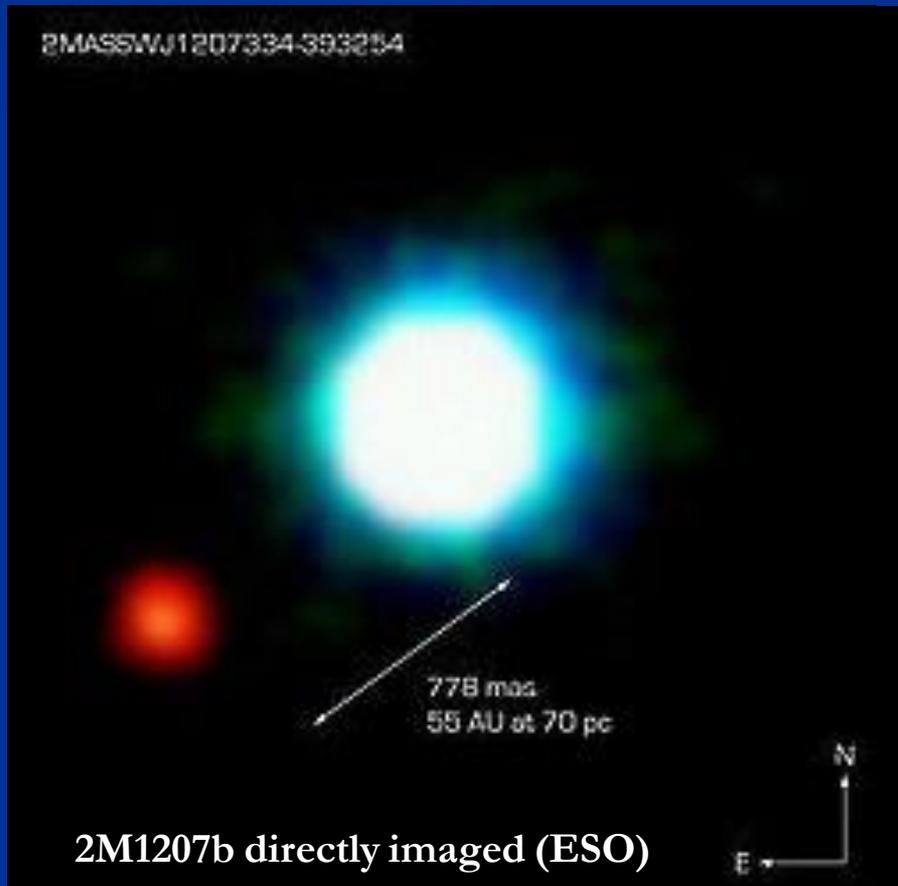
Cámara OSIRIS/ESA



Otros sistemas planetarios



En 1995 los astrónomos suizos Michael Mayor y Didier Queloz anunciaron la detección de un exoplaneta orbitando 51 Pegasi



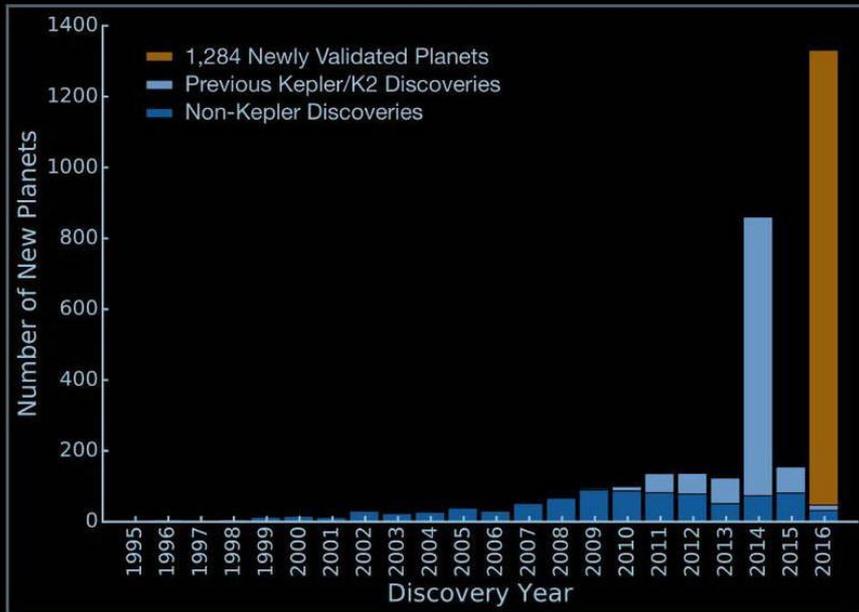
- Esta estrella y su planeta fueron bautizados como Helvetios y Dimidio en 2015, tras una votación pública, impulsada por la IAU

1ª foto de un planeta extrasolar orbitando alrededor de la enana marrón 2M1207.
Marzo 16, 2003



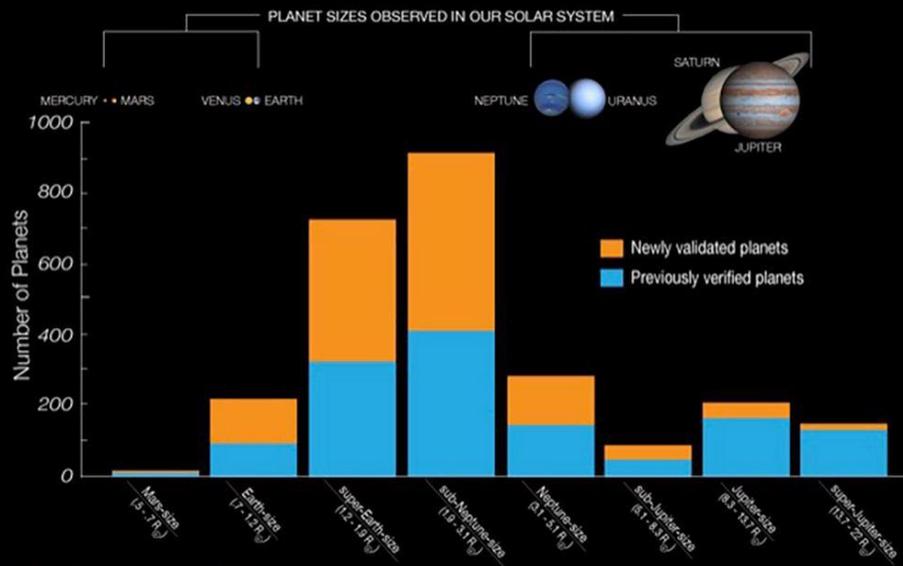
Exoplanet Discoveries Through the Years

As of May 10, 2016



Kepler's Planets by Size

As of May 10, 2016



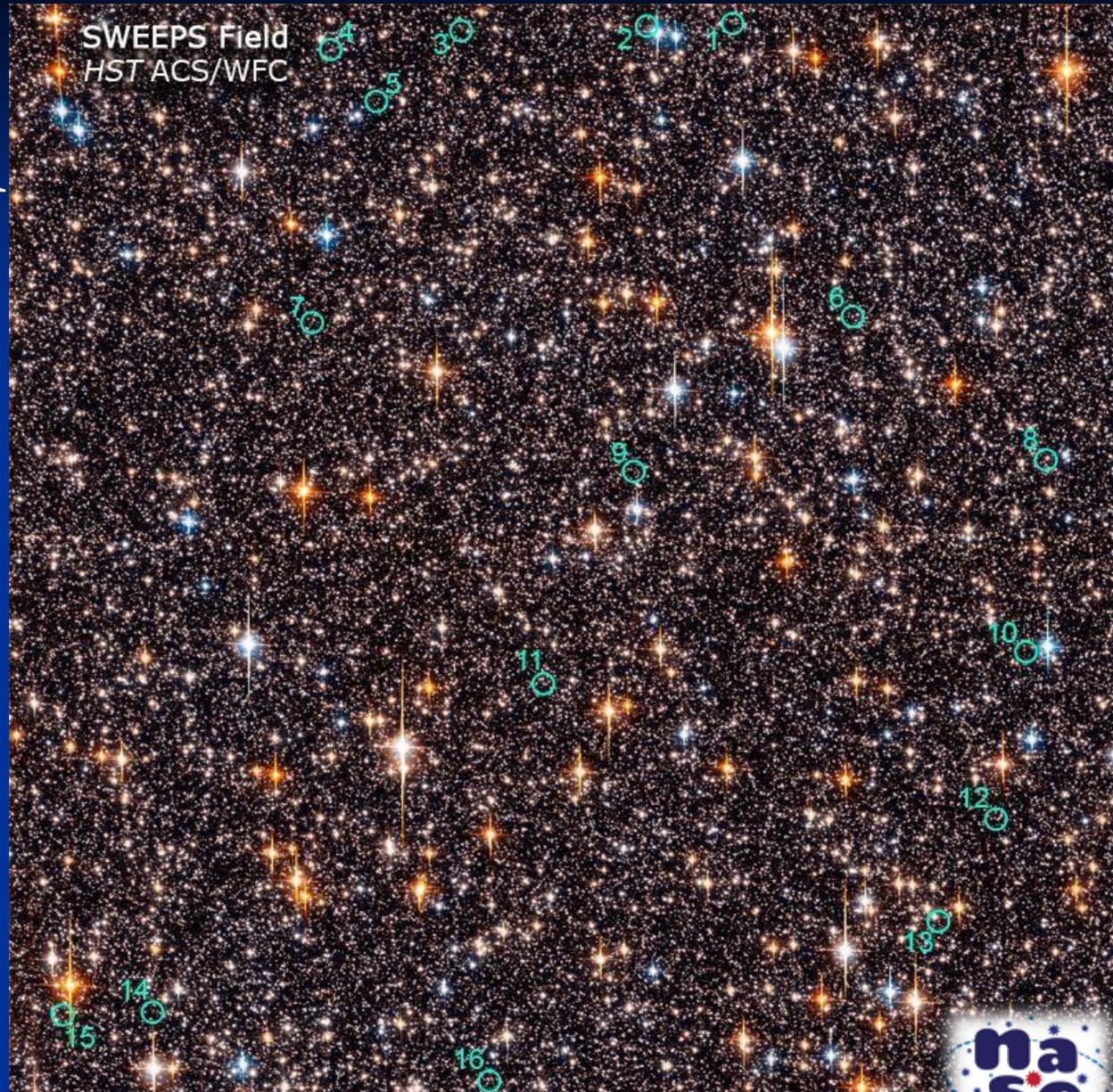
Kepler (marzo de 2009), es la primera misión de NASA destinada a encontrar planetas potencialmente habitables, del tamaño de la Tierra.

El 10 de mayo de 2016 anunció la colección de exoplanetas más grande de la que se tenga noticias

De un total de unos 5.000 candidatos, más de 3.200 han sido verificados, y 2.325 de estos fueron descubiertos por el telescopio Kepler.



A partir de 2018, el satélite de la NASA “Transiting Exoplanet Survey” usará el mismo método que el telescopio Kepler para monitorear 200.000 estrellas brillantes cercanas y buscar planetas, especialmente del tamaño de la Tierra o mayores (las super Tierras).



¿Cuántas estrellas tienen planetas?

¿Cuántos de esos planetas son habitables?

¿En cuántos se desarrolló alguna forma de vida?

**Preguntas que la astronomía
busca responder**



¡Muchas gracias
por su atención!

