

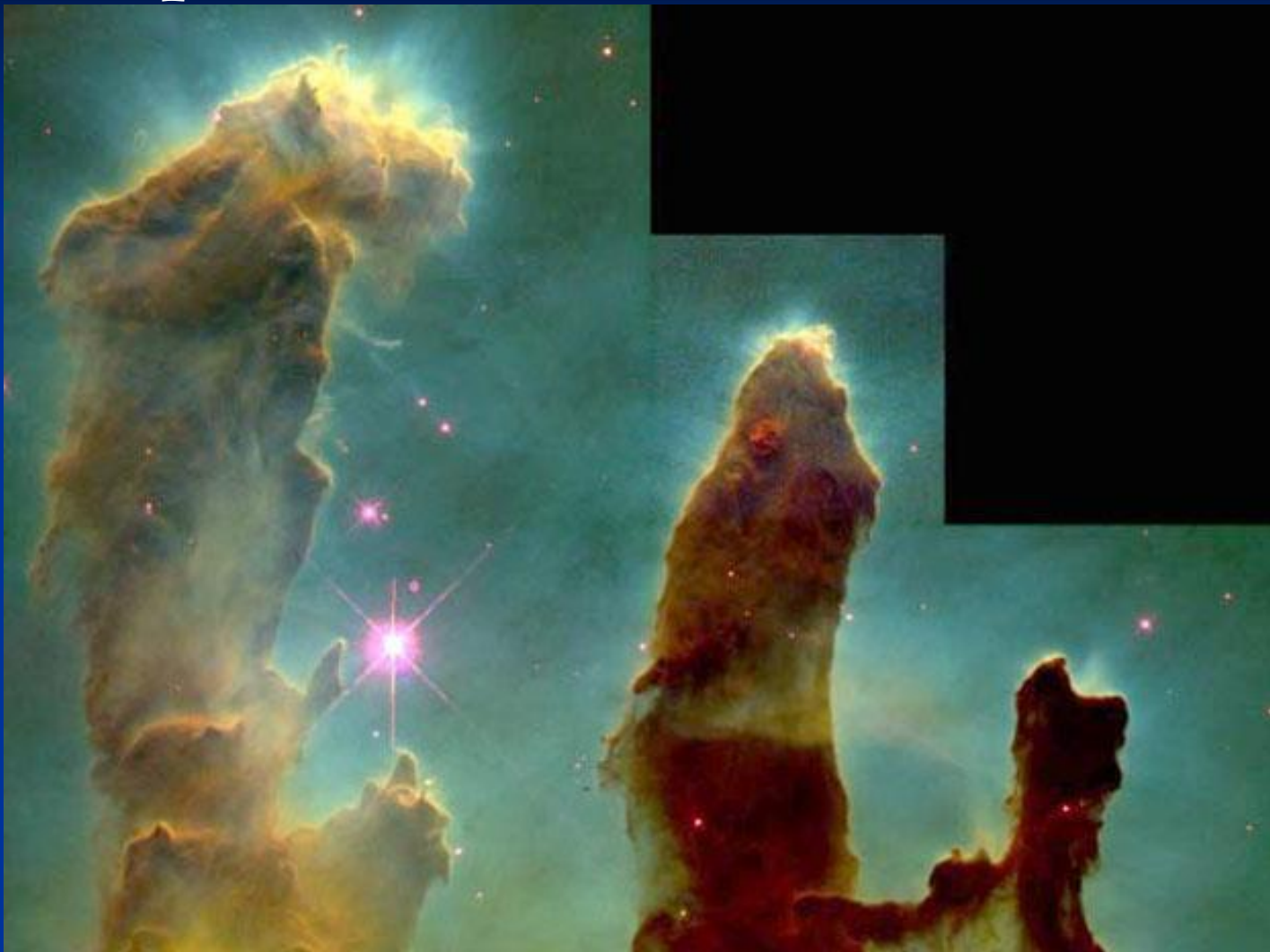
El Sistema Solar

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*



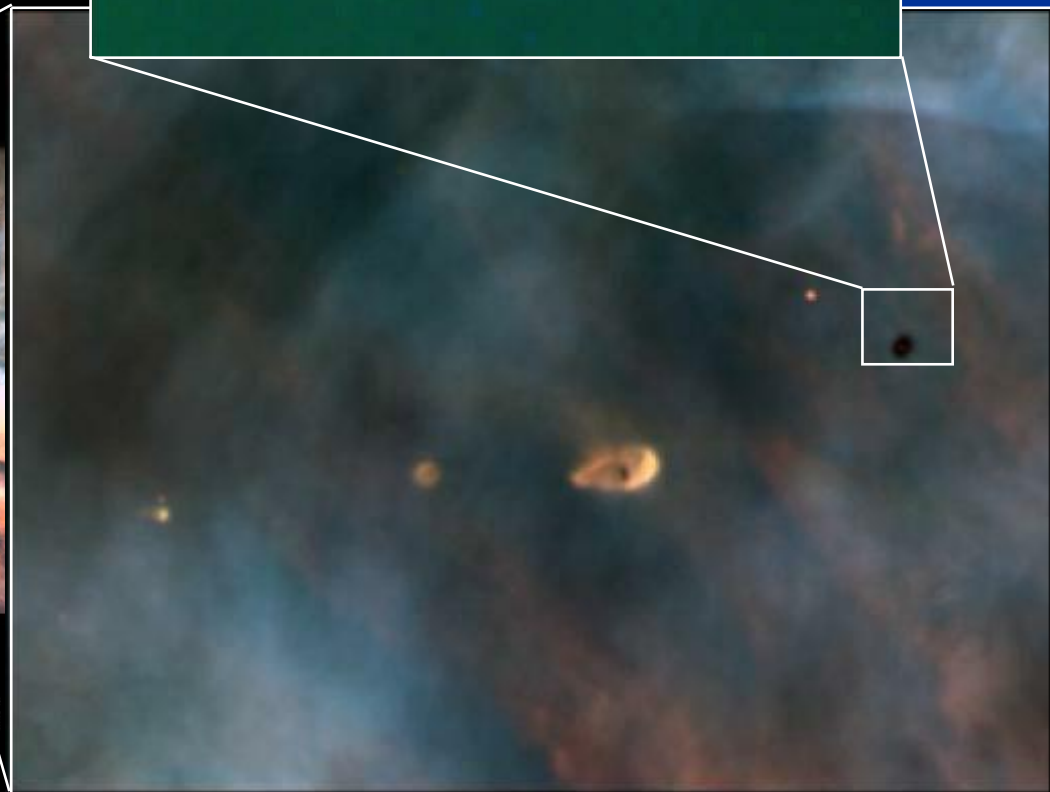
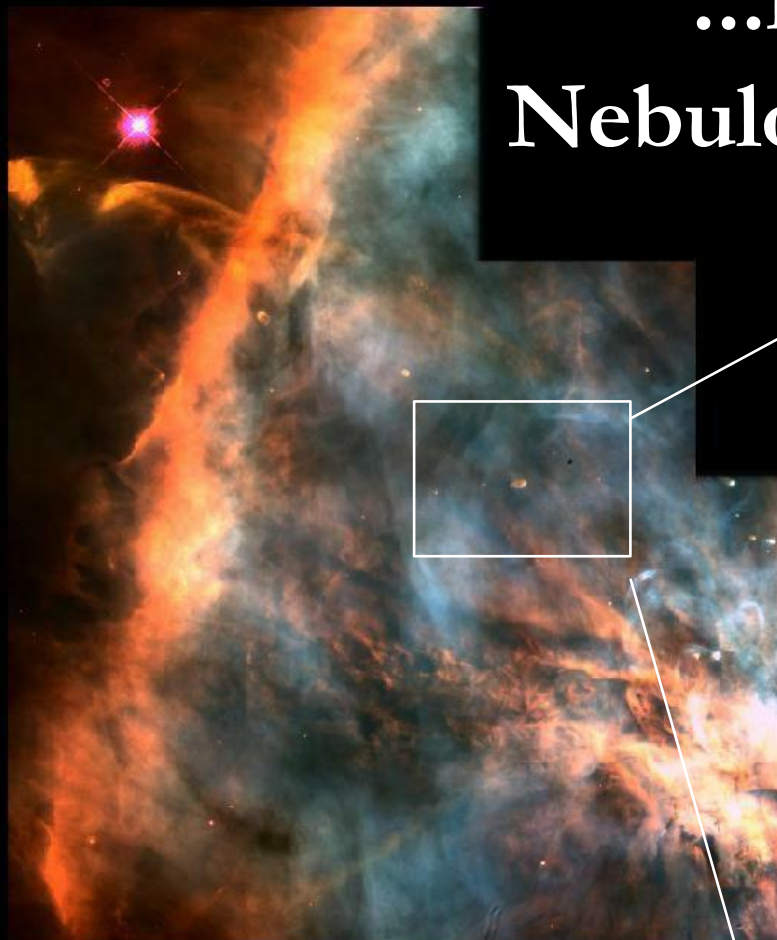
Aquí neixen les estrelles



Messier 16, els Pilars de la creació.

Crédit: Telescopio Espacial Hubble

...i aquí:
Nebulosa d'Orió



Hubble Space Telescope
Wide Field Planetary Camera 2

Els planetes de l'Antigüitat: els visibles a ull nu

Mercuri
Venus
Mart
Júpiter
Saturn

Visibles a
la vesprada
i a l'albada

“Alineació” planetaria de
Maig 2002



El Sistema Solar avui

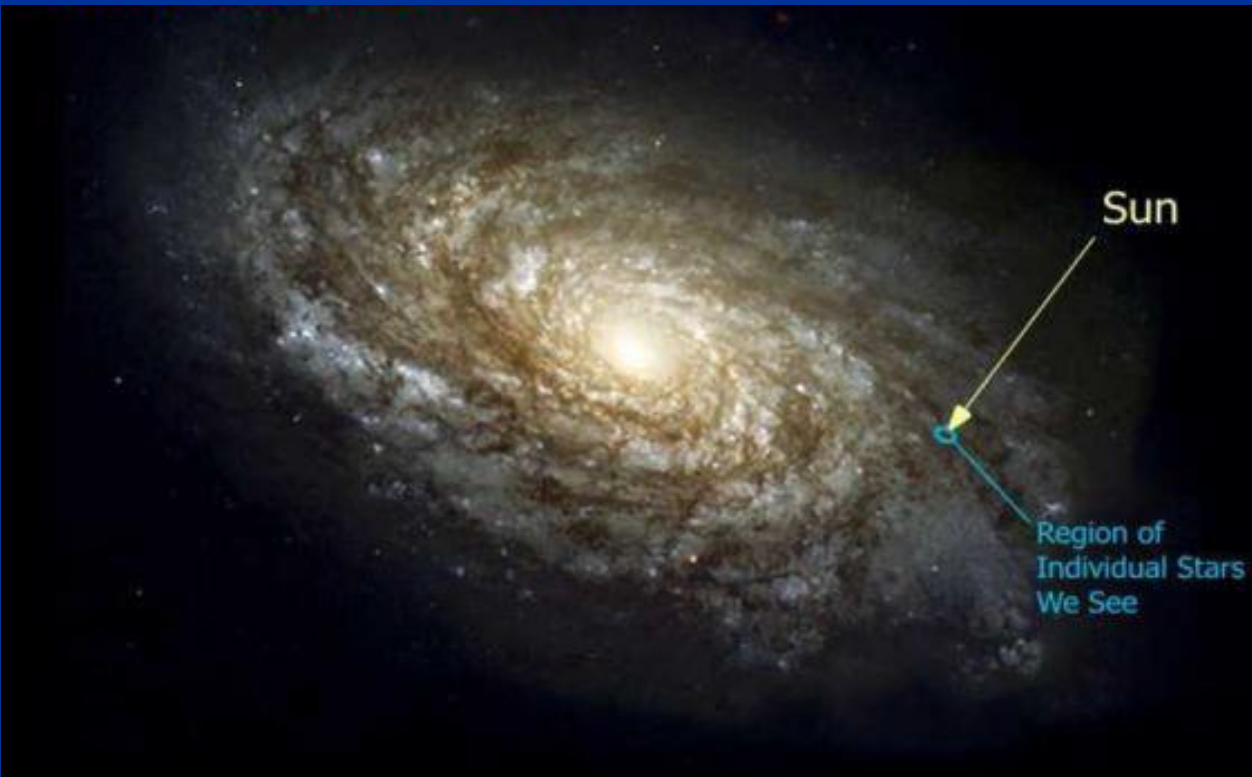
Està constituït pel Sol i tots els cossos que giren entorn d'ell, sota l'acció de la gravetat:

- ❑ 8 planetes
- ❑ Centenars de satèl·lits naturals dels planetes
- ❑ Desenes de planetes nans (entre ells Ceres, Plutó, Haumea, Makemake i Eris)
- ❑ Multitud de cossos menors: asteroides, cometes i objectes transneptunians (residus dels processos de formació planetària).



¿On està el Sistema Solar?

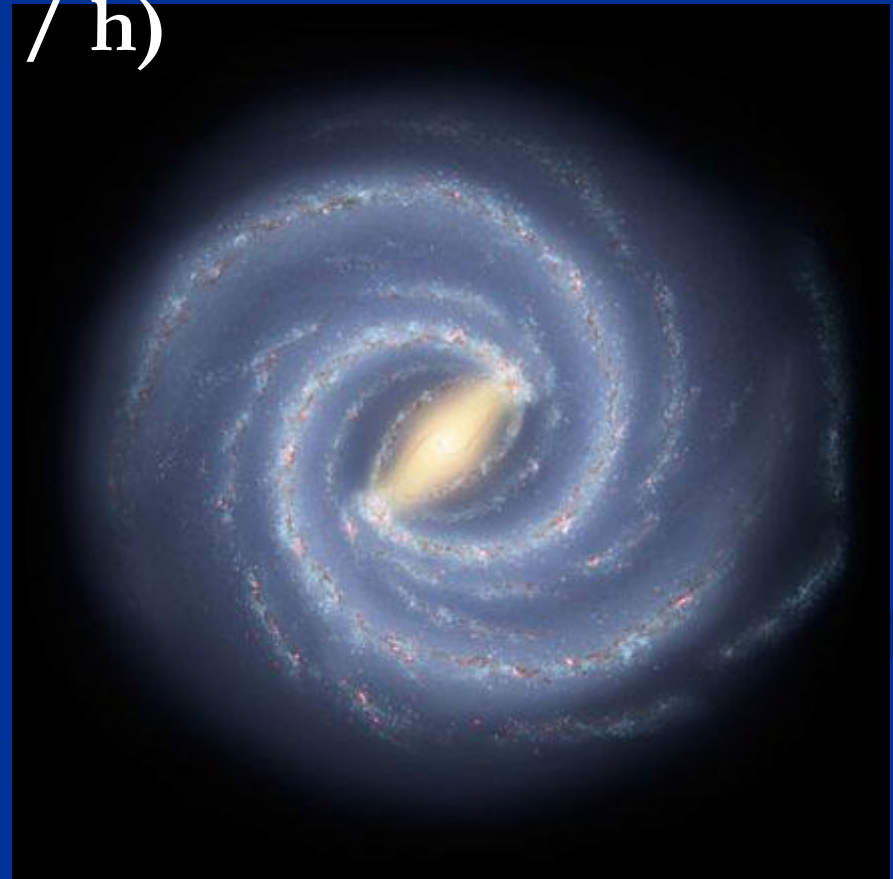
Està al Braç d'Orió, un dels braços de la Via Làctia.



- La Via Làctia conté uns
- 200.000 milions d'estrelles i el seu diàmetre és d'uns 100.000 a.l.

El Sistema solar està a una distància de ~ 25.000 anys llum de centre de la Galàxia ($\sim$ la meitat del radi), i tarda a fer una volta al voltant del centre, 250 milions d'anys. La velocitat és de 220 km/s (800.000 km/h)

Model de la Via
Làctia a partir
d'observacions
infraroges del
Spitzer (2005); la
nostra Galàxia és
una espiral barrada



La formació del Sistema Solar

- D'acord a la teoria estàndard, fa uns 4.600 milions d'anys el sistema solar es va formar a partir de la contracció gravitatòria d'un núvol de gas i pols interestel·lar. El col·lapse del núvol es va iniciar a partir d'una pertorbació forta (possiblement un esclat de supernova), que va fer que la força gravitatòria vencés a la pressió dels gasos.
- La conservació del moment angular va fer que la nebulosa girés cada vegada més ràpida, s'anés aplatant, i donés lloc a un protosol en el seu centre, i a un disc protoplanetari de gas i pols al seu voltant.



La formació del Sistema Solar

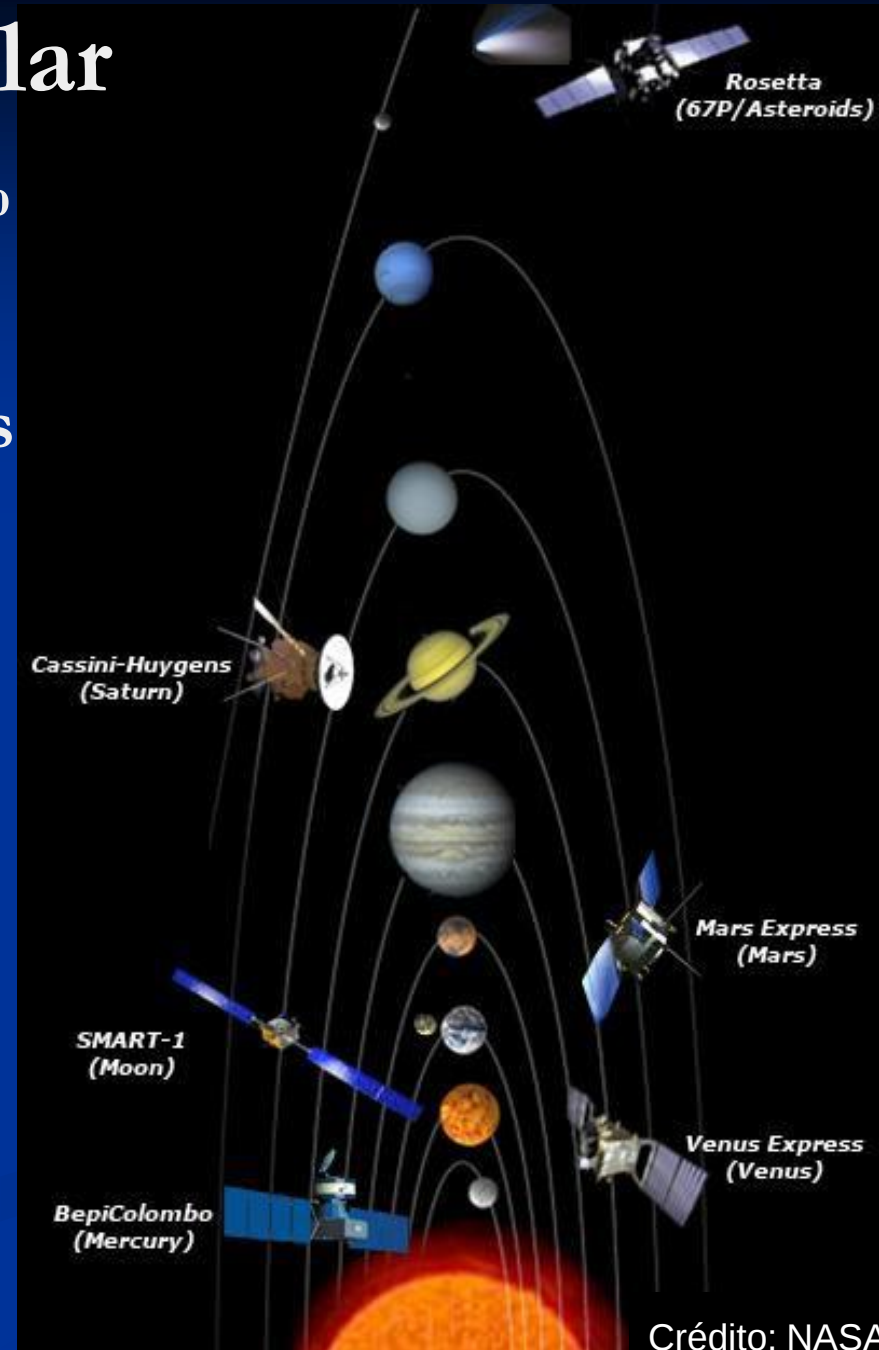
- En el disc protoplanetari van anar condensant petits nuclis sòlids (planetesimals), que després es van anar acumulant per un procés d'acreció fins a formar els planetes.
- La teoria estàndard descrita anteriorment és acceptada per haver-se trobat, a través d'imatges de ràdio d'alta resolució, sistemes protoplanetaris al voltant de moltes estrelles joves i causa de la possibilitat d'explicar la formació de planetes dins d'aquests sistemes.



Estudi del Sistema Solar

El Sol concentra més del 99.8% de la massa del SS, mentre el 98% del moment angular es troba en els moviments orbitals dels planetes.

En l'actualitat l'estudi dels cossos del Sistema Solar es realitza des de Terra, però també a través de telescopis espacials i enviant missions a l'espai i, fins i tot, descendant sobre la seva superfície



Crédito: NASA

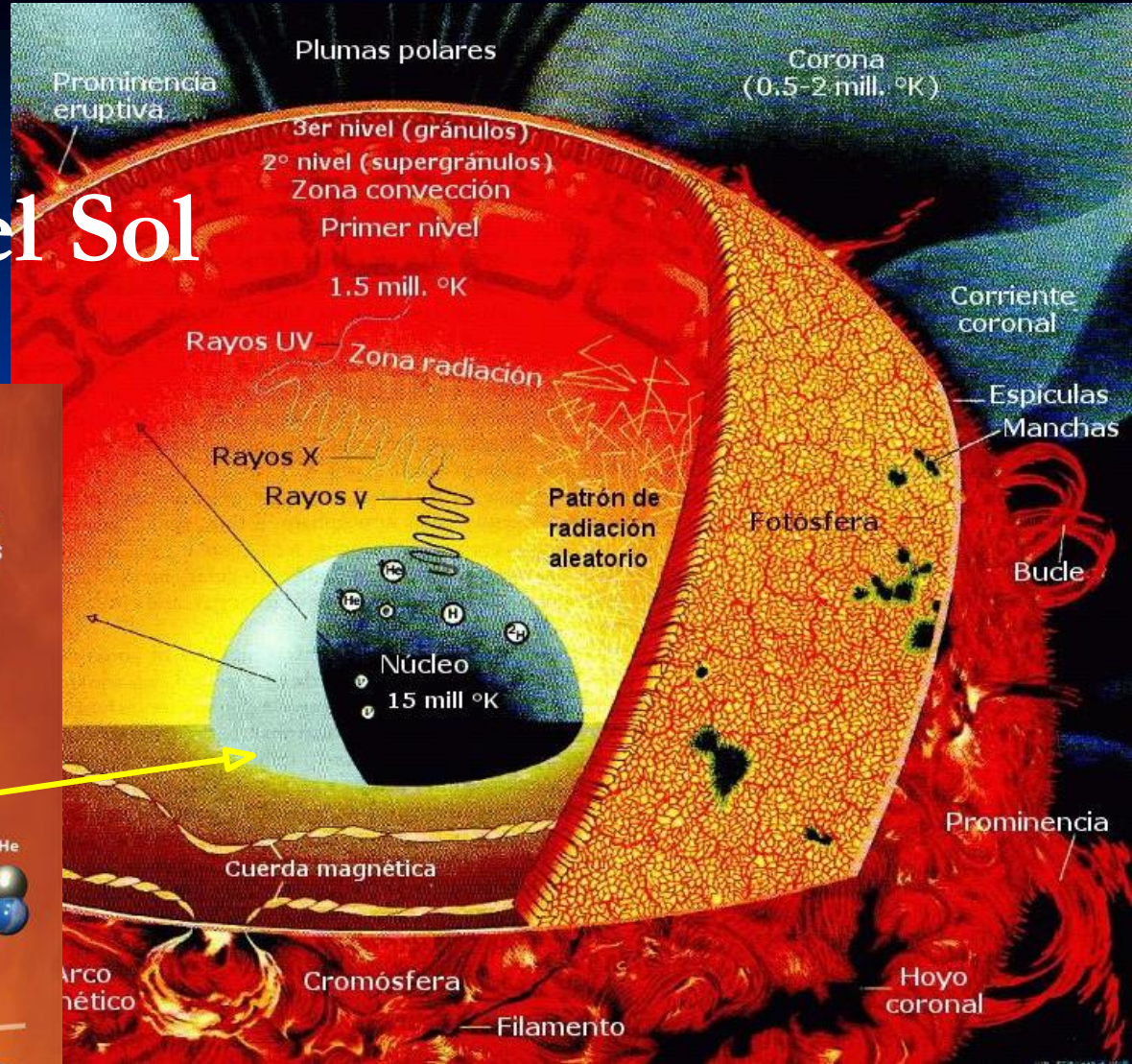
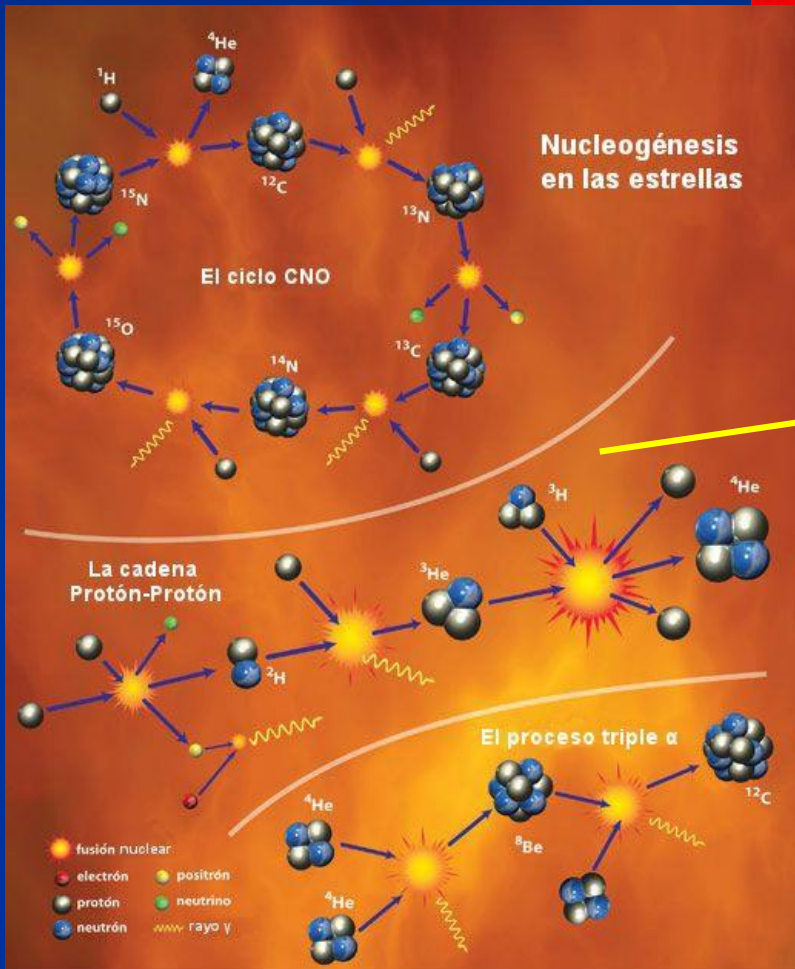
La nostre estrella: el SOL

- Amb una edat de 4.600 milions d'anys, el Sol està aproximadament en la meitat del seu cicle de vida
- Cada segon, al nucli del Sol es converteixen 4 milions de tones de matèria en energia, generant una gran quantitat de neutrins, positrons i radiació.



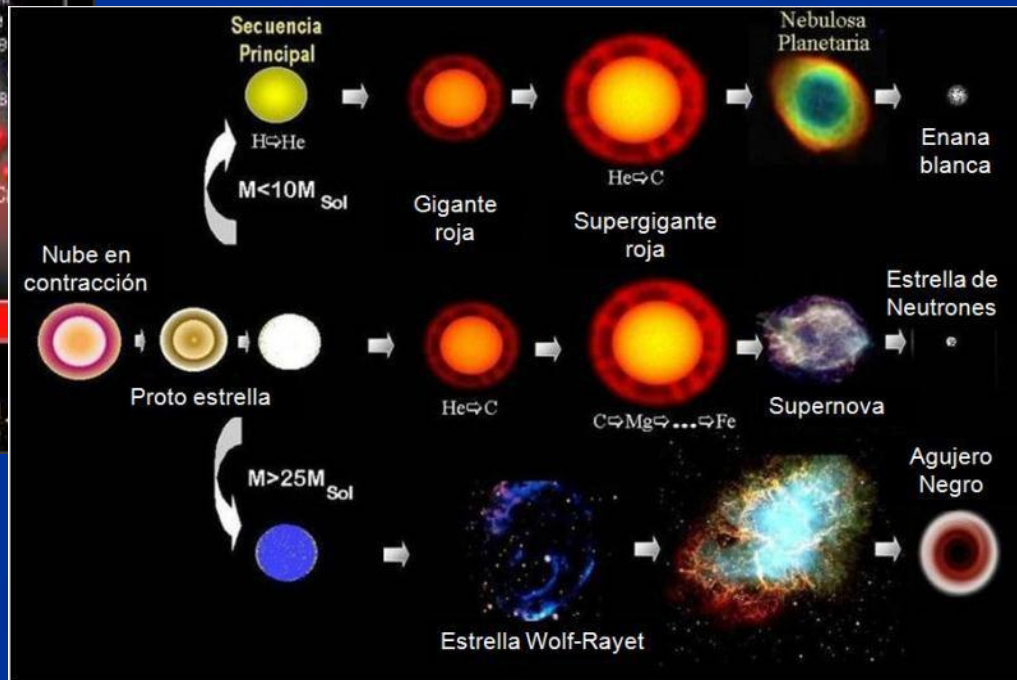
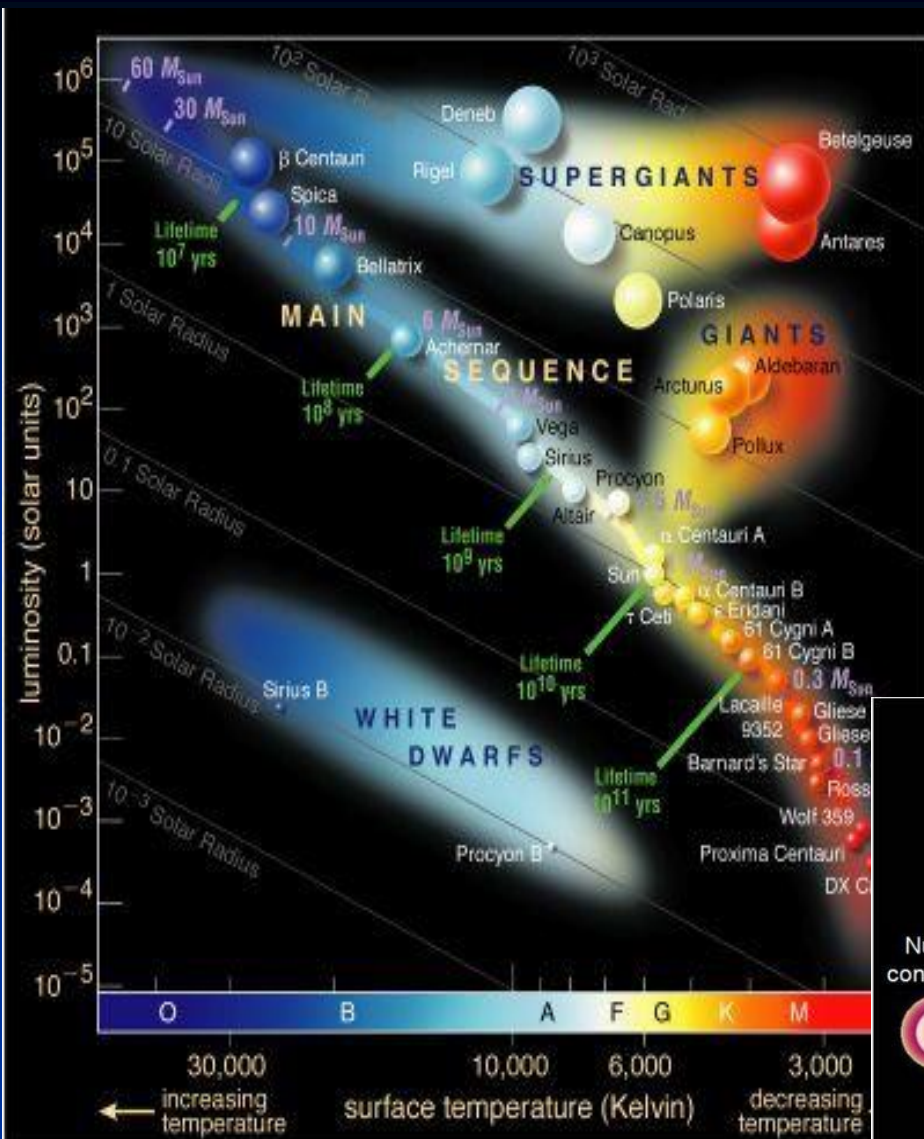
El 74% del Sol és H,
25% és He, la resta són
elements més pesats.

Estructura del Sol



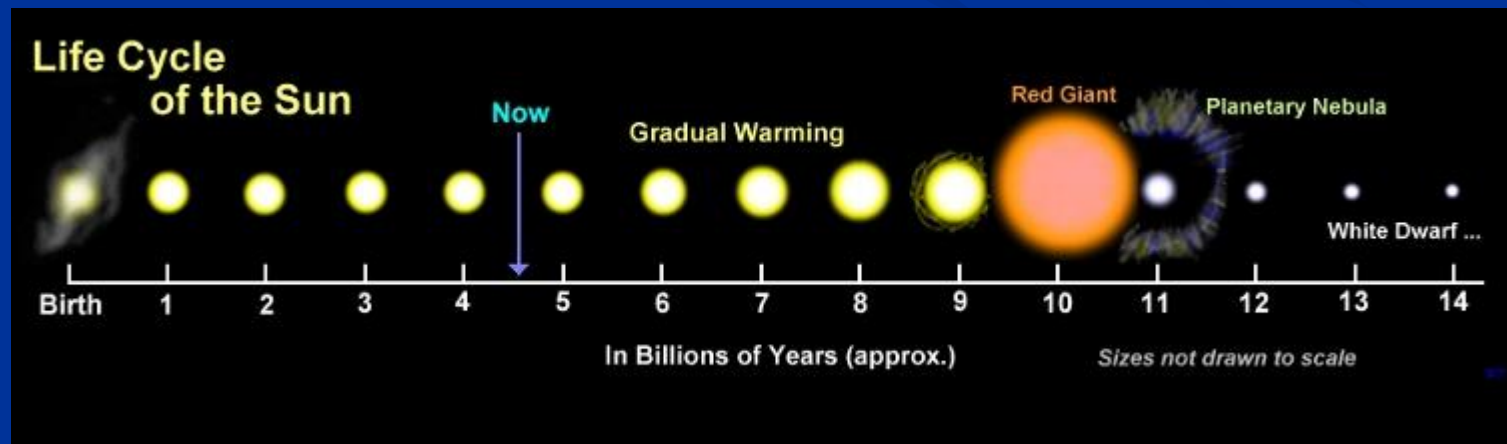
La producció d'energia té lloc per fusió, al nucli

La vida de les estrelles depèn de la seva massa



El cicle de la vida del Sol

Dins de 5.000 milions d'anys, el Sol s'inflarà i es convertirà en una gegant vermella. Després expulsarà les capes exteriors, creant una nebulosa planetària, i en el centre quedarà una petita estrella anomenada nana blanca, que s'anirà refredant lentament.



Els Planetes



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

Al SS, un "**planeta**" és un cos celeste que:

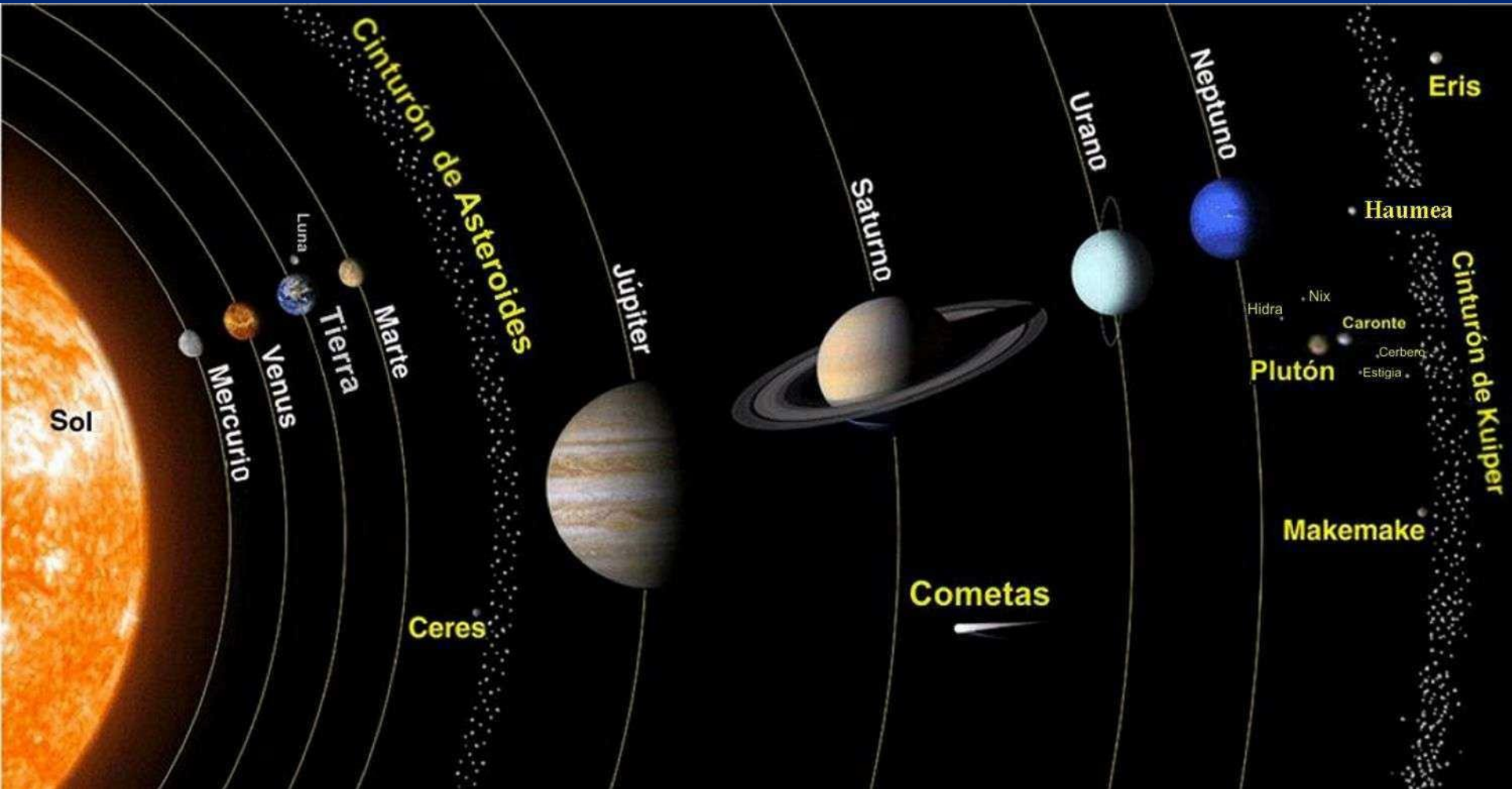
- Està en òrbita al voltant del Sol.
- Té suficient massa perquè la seva auto-gravetat (que és una força central) s'imposi a les forces de cohesió d'un cos rígid de manera que assumeix una forma en equilibri hidrostàtic (quasi-esfèrica).
- Ha netejat d'altres objectes del veïnatge al llarg de la seva òrbita.

Un cos que compleixi només els dos primers criteris, i que no sigui un satèl·lit, és classificat com a "**planeta nan**".

A un cos que compleixi només el primer criteri, i que no sigui un satèl·lit, se l'anomena "**petit cos** (o cos menor) del Sistema Solar".

El Sistema Solar Actual

(cossos en escala de mida)



El límit real del Sistema Solar

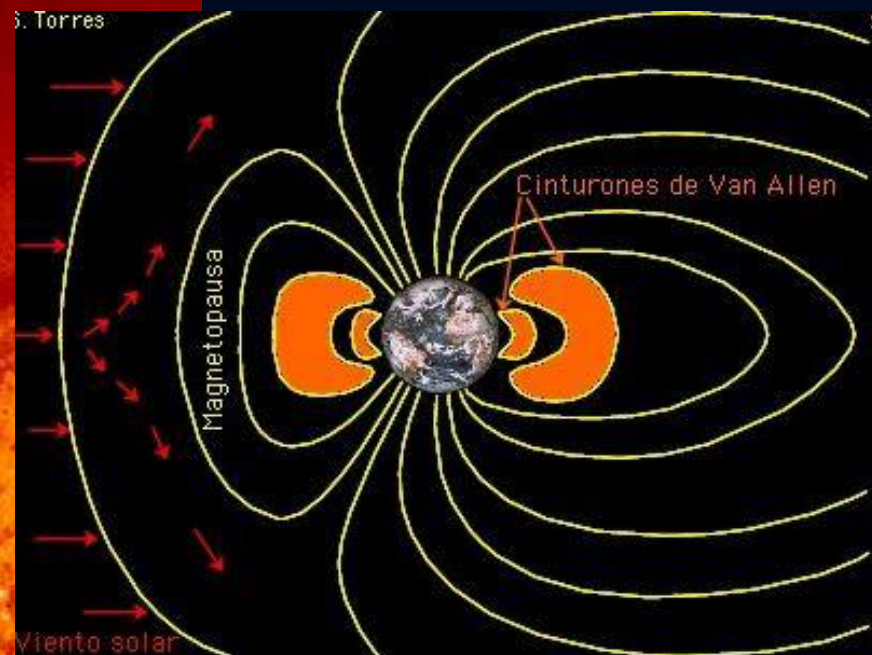
Totes les òrbites planetàries jeuen dins la Heliosfera, regió de l'espai que conté camps magnètics i plasma ("vent") d'origen solar.

La Heliopausa és el límit de la Heliosfera, on el vent solar es fon amb el medi interestel·lar.

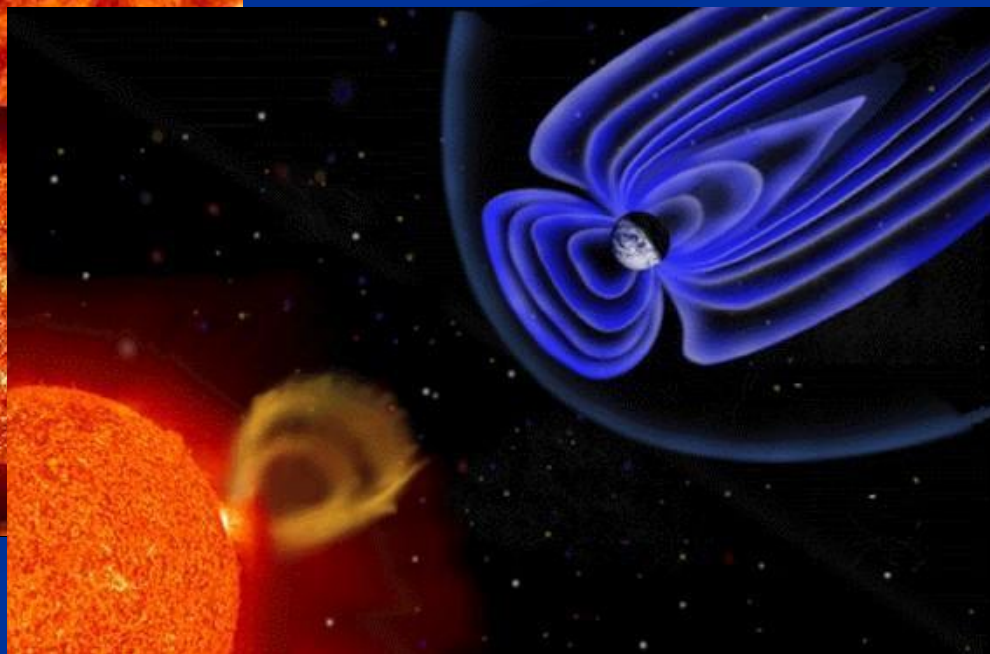


El 2012 la sonda Voyager 1 va creuar la heliopausa a una distància heliocèntrica de més de 100 ua.

Earth shown
for size comparison

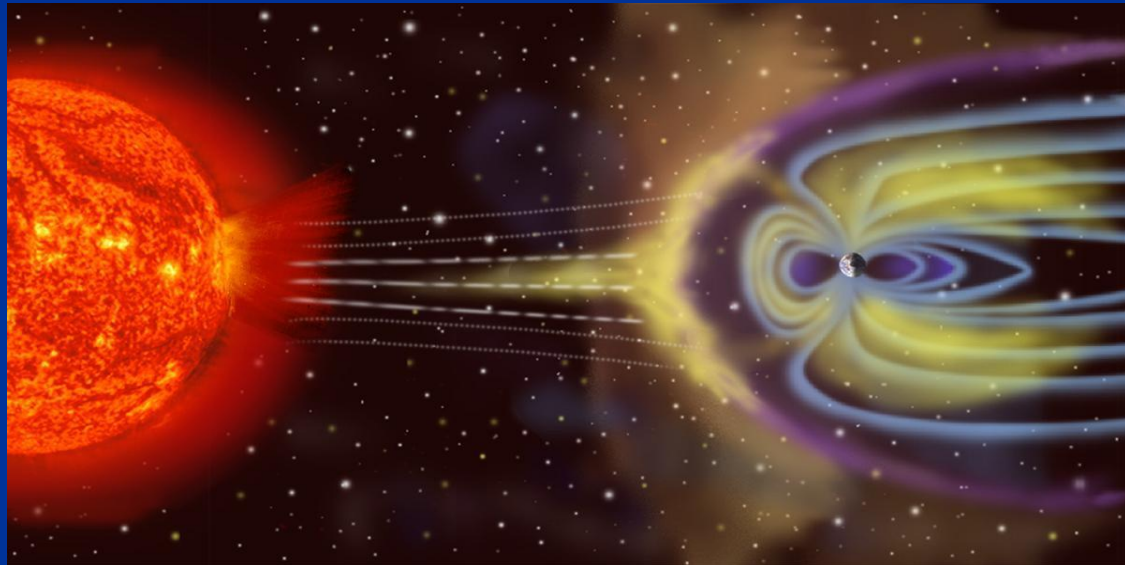


Ambient Sol-Terra



El medi interplanetari

El Sol emet radiació electromagnètica i vent solar (un flux continu de partícules carregades, plasma).



Aquest es dissipa a una velocitat de 1.5 milions de km/h, creant l'heliosfera, una fina atmosfera que banya tot el SS fins a aprox. 100 UA, marcant la heliopausa.

El camp magnètic terrestre protegeix a l'atmosfera del vent solar i dóna lloc a les aurores polars (boreals i australs)



L'Heliosfera assegura una protecció parcial al SS dels raigs còsmics, protecció que és més forta en els planetes amb camp magnètic.

El "clima espacial" es controla permanentment

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

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 AR1178, shown here in a photo taken yesterday by Larry Alvarez of Flower Mound, Texas:



Tuesday, Mar. 29, 2011

archives

March
29
2011
[view](#)

space toys.com


Averted Imagination
ASTROPHOTOGRAPHY

Els planetes

Els 8 planetes del nostre SS poden dividir-se en:

- **4 planetes terrestres**, en la regió més interna (Mercuri, Venus, Terra i Mart). Rocosos, amb densitats aproximades entre 4 i 5 g / cm³.
- **4 planetes Gegants**, a la regió més externa, que al seu torn es divideixen en:
 - **Gegants Gasosos**: Júpiter i Saturn. Més rics en H i He, amb una composició química similar a la solar.
 - **Gegants Gelats**: Urà i Neptú. Predominen els gels pel que fa als gasos. La seva composició química difereix bastant de la solar.
- Els planetes gegants són més lleugers que els terrestres, amb densitats entre 0.7 g/cm³ (Saturn) i 2 g/cm³.

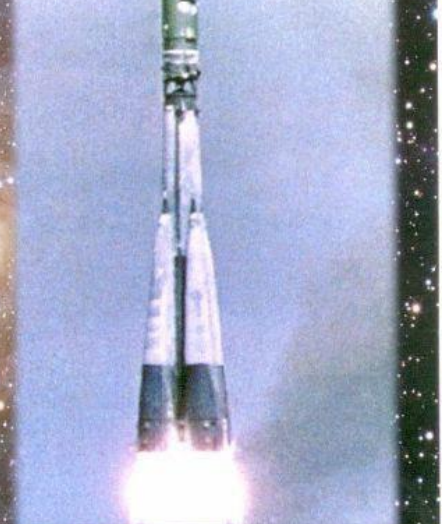
No es van formar "in situ", hi va haver una migració causada per l'intercanvi de moment angular entre els planetes gegants en formació i els planetesimals que eren escombrats cap a altres regions del Sistema Solar o ejectats del Sistema Solar

La Terra

Sistema Terra-Lluna,
fotografiat per la nau
Galileu, en el seu camí
a Júpiter (1998)

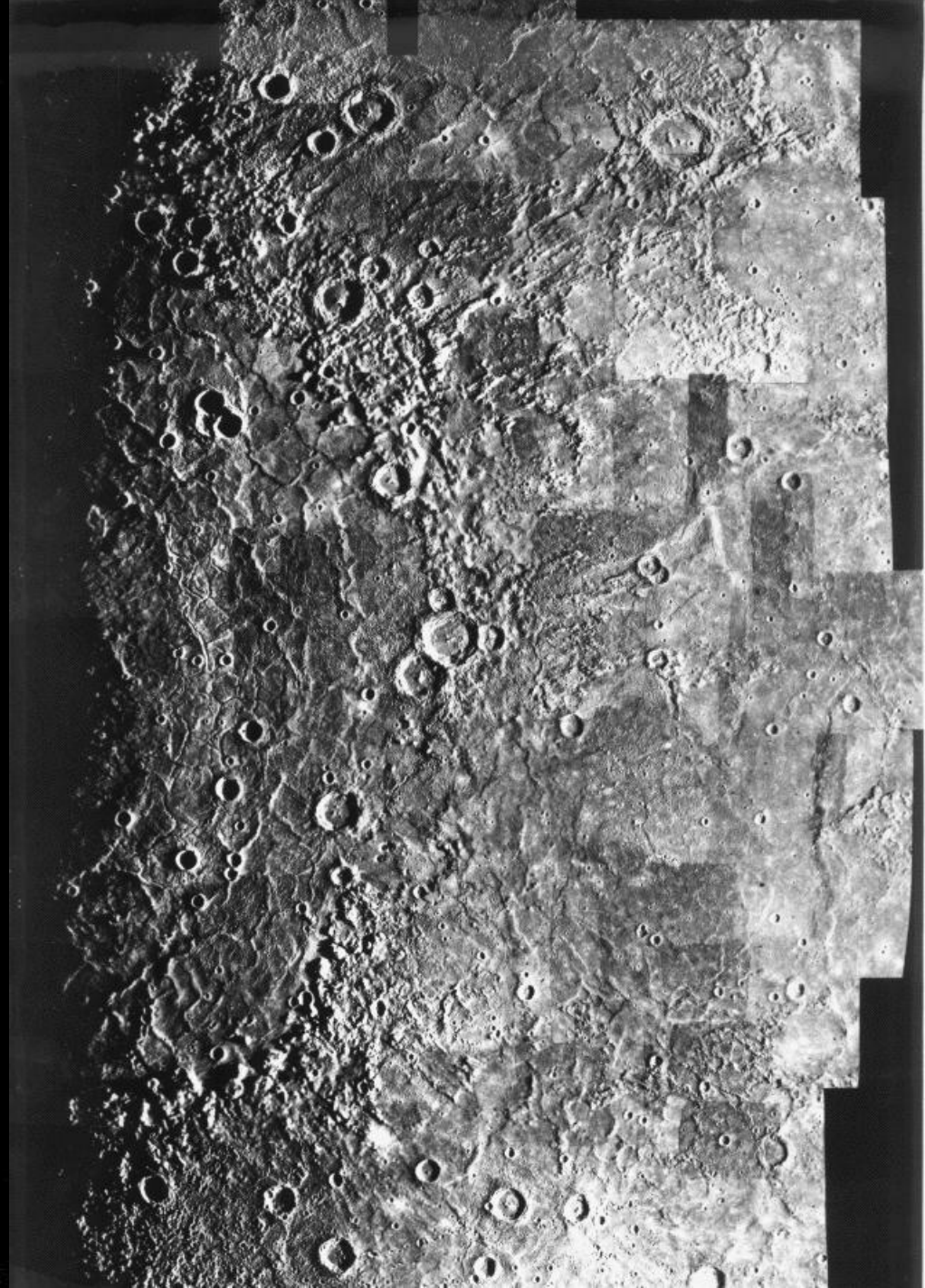


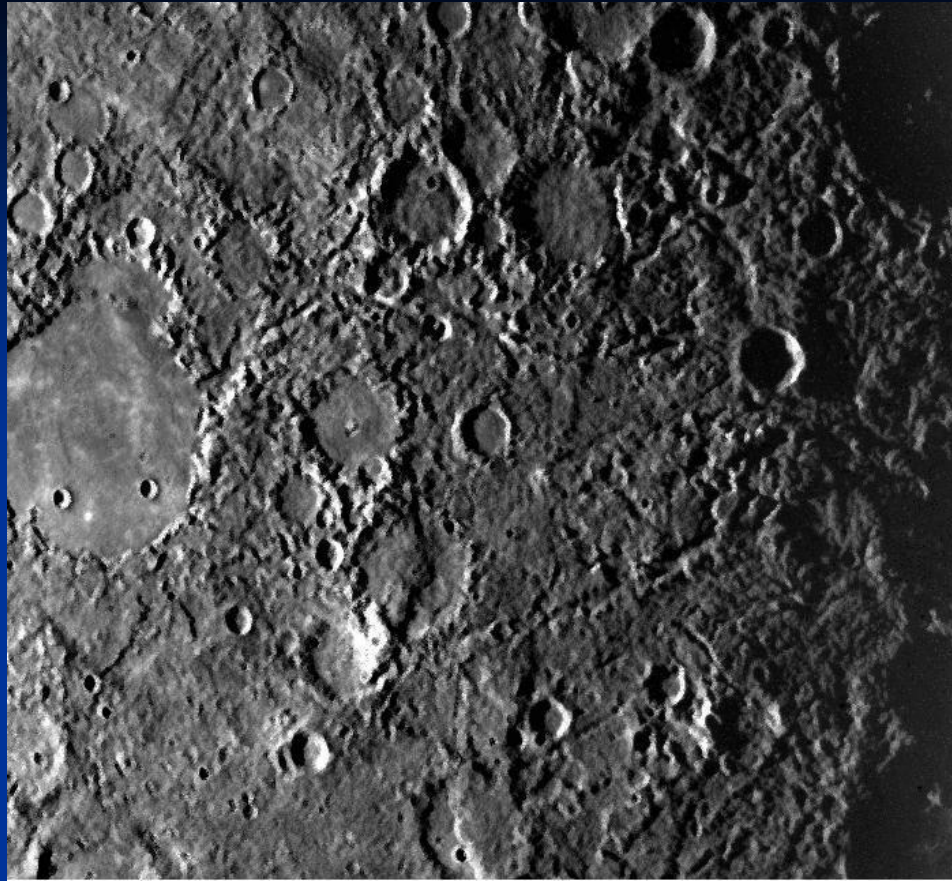
12 d'abril de 1961,
primer vol de
circumnavegació a la
Terra, Yuri Gagarin



Mercuri

El més proper al Sol,
presenta una
superfície accidentada
per impactes



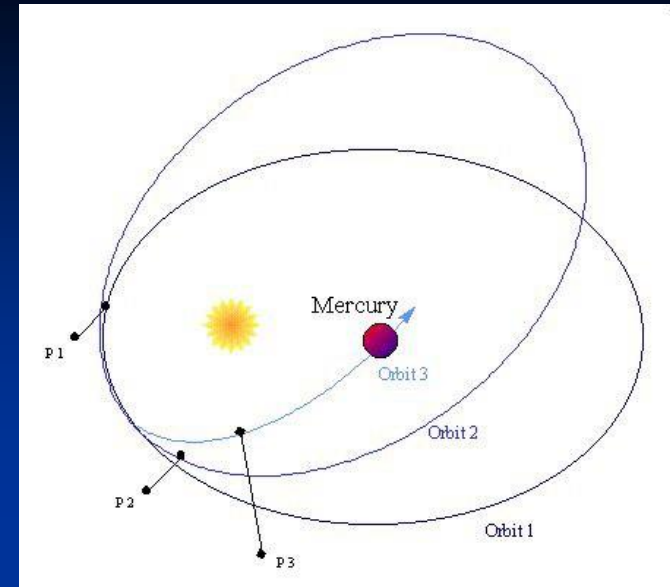


El cràter més important és "Caloris Basin" (1.500 km de diàmetre): l'impacte que el va originar va produir ones que van trencar la superfície en les antípodes (foto).

La precessió del periheli de Mercuri

La precessió del periheli de Mercuri és més ràpida que les previsions de la mecànica celeste clàssica de Newton.

Aquest avançament del periheli va ser predit per la Teoria general de la relativitat d'Einstein.⁸ És a causa de la curvatura de l'espai causada pel Sol. Va ser una prova definitiva d'aquesta Teoria.



Venus



Observat amb un
petit telescopi des
de Terra



Observat amb el
telescopi Hubble
en l'espai.



ВЕНЕРА-9 22.10.1975

ОБРАБОТКА ИППИ АН СССР

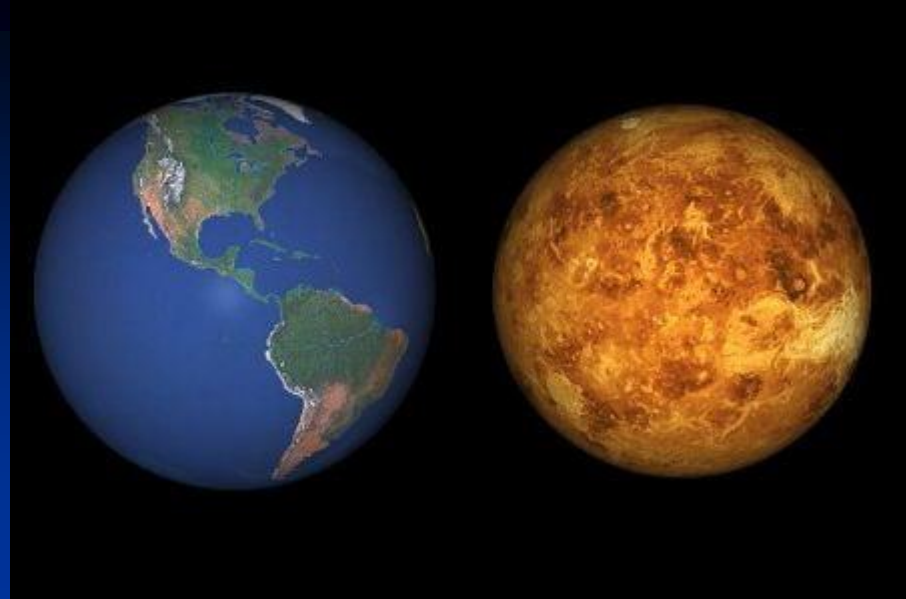
28.2.1976

Magallanes (1990-1994)



Amb dimensions i estructura geològica similars a les de la Terra, va ser visitada per diverses missions.

Venus i Urà són els únics planetes amb moviment retrògrad (giren sobre si mateixos en sentit invers a com giren al voltant del Sol).



- any venusi = 224 dies terrestres
- dia venusi = 243 dies terrestres.

La barreja de CO_2 i densos núvols de diòxid de sofre creen el major efecte hivernacle de tot el SS, amb temperatures fins als 460°C , més grans que les de Mercuri.

La pressió atmosfèrica és 100 vegades la terrestre, hi ha núvols i potser pluja d'àcid sulfúric.

El trànsit de Venus

Quan Venus passa entre la Terra i el Sol, la seva ombra creua el disc solar.

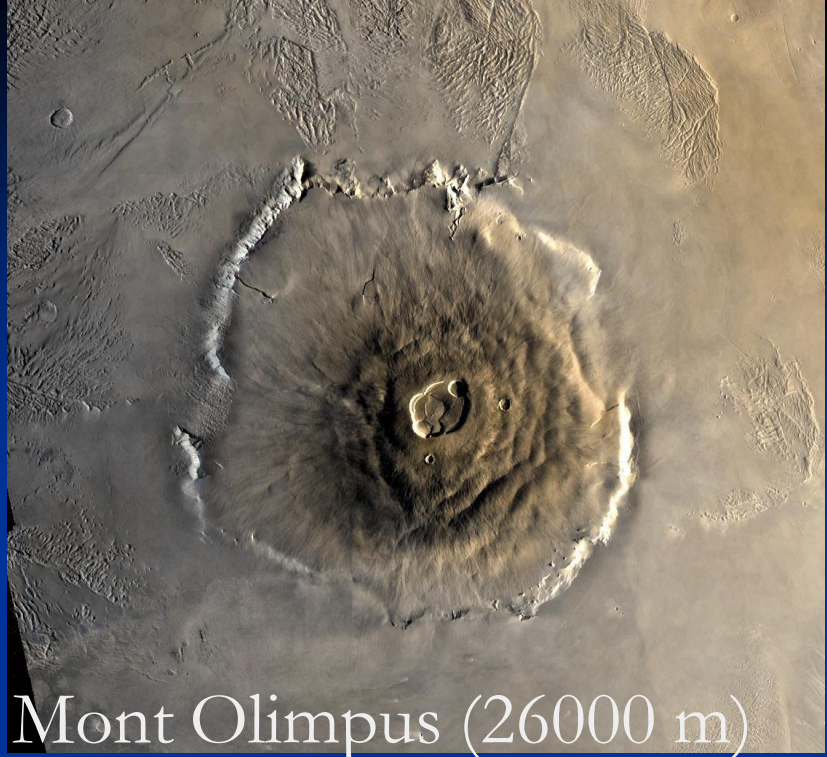
Per la inclinació de l'òrbita de Venus passa dues vegades en 8 anys, i el següent triga més d'un segle (105.5 o 121.5 anys).

Al juny de 2004 i juny de 2012 van tenir lloc els últims. No hi haurà un altre fins l'11 de desembre de 2117.





Mart



Mont Olympus (26000 m)

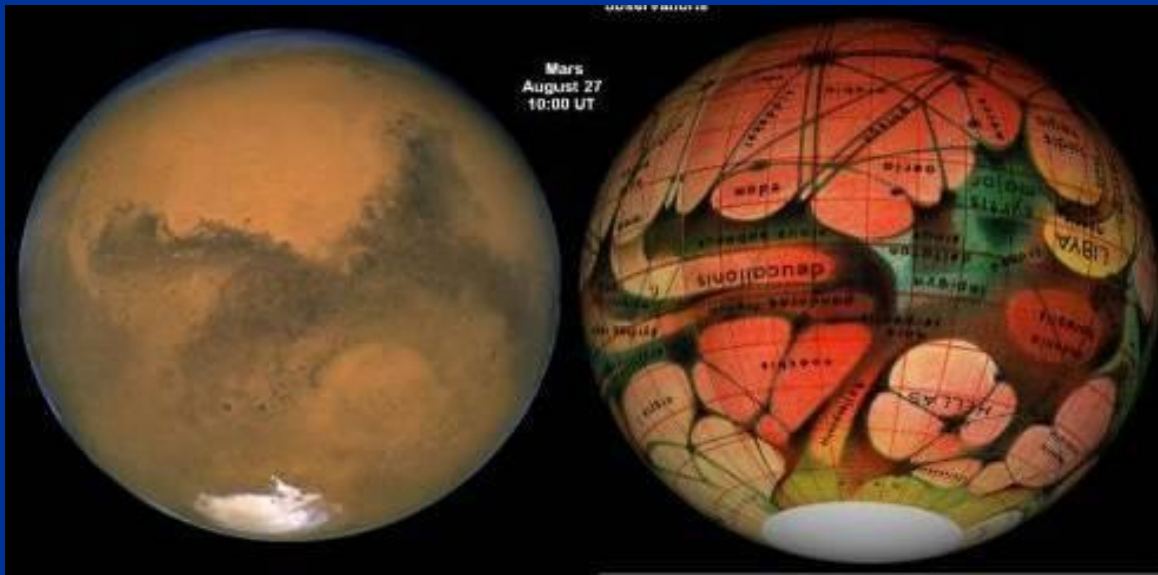
Té una fina atmosfera,
composta principalment de
 CO_2 La pressió atmosfèrica és
una centèsima part de la
terrestre.





Primera foto de la
superficie de Mart:
Viking I, 1976

Font d'inspiració per a molts autors de ciència ficció ("extraterrestre" = "marcià"), a causa dels famosos "canali " observats per Giovanni Schiaparelli a la fi del segle XIX: el terme es va traduir a l'anglès com "canals" com si fossin construccions humanes.



El seu color vermell es deu a l'òxid de Fe (hematita),
que es troba en els minerals de la superfície

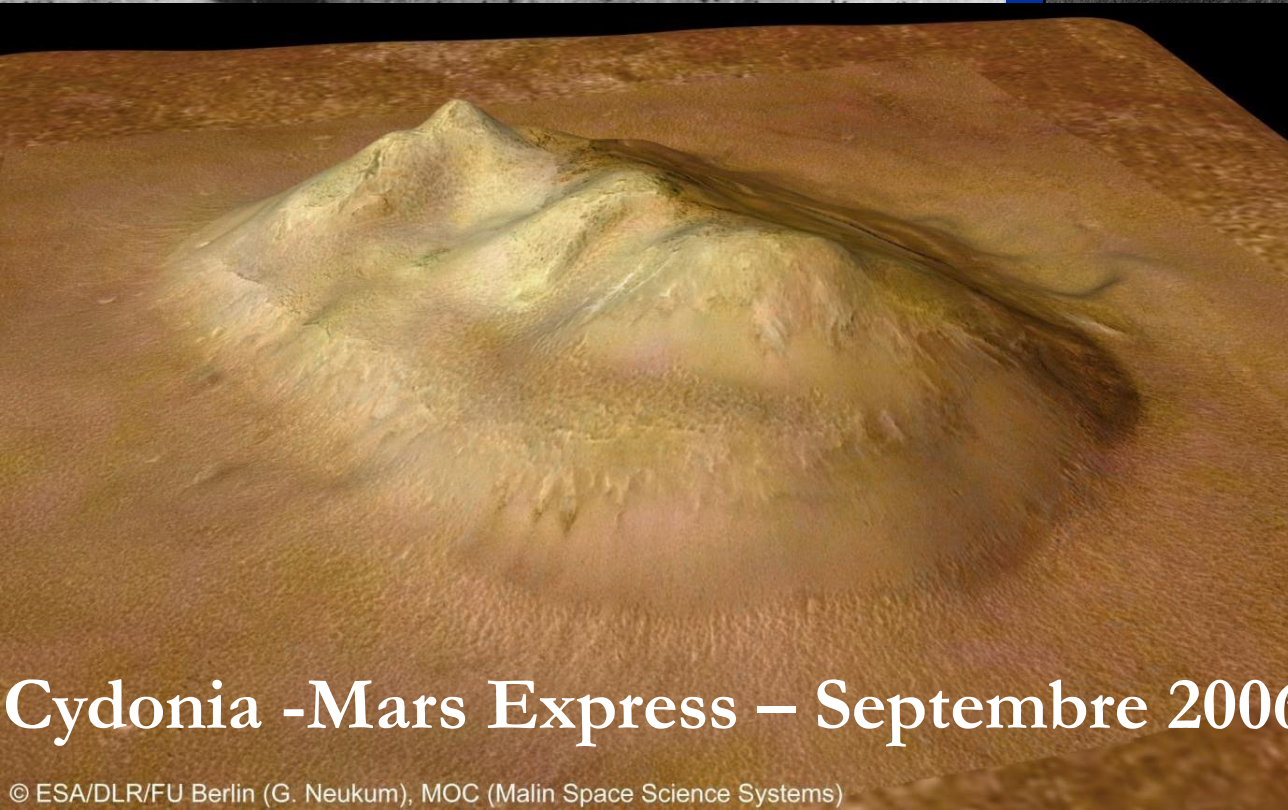


Cydonia – Vikingo I - 1976

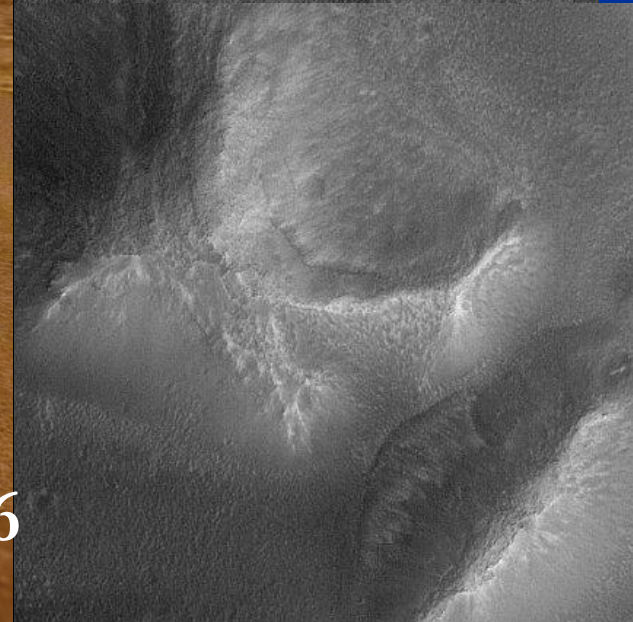


Cydonia

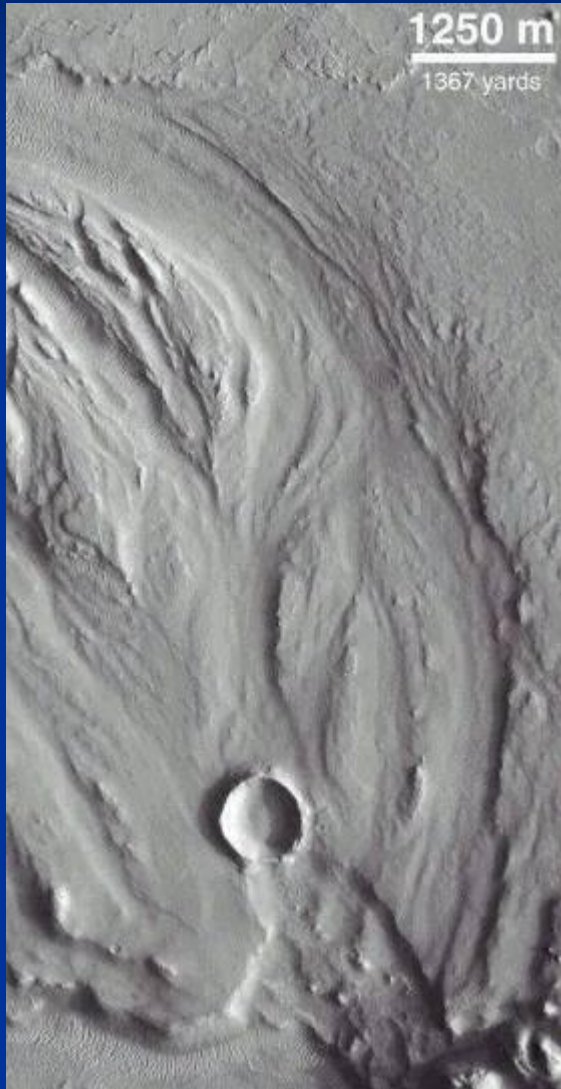
Mars Global Surveyor 1998



Cydonia -Mars Express – Septembre 2006



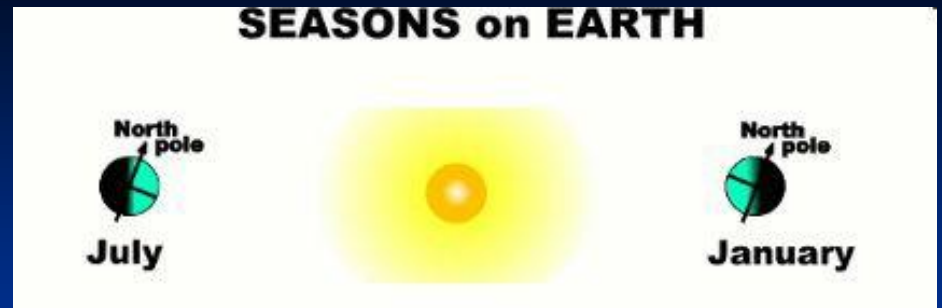
Hi ha senyals que indiquen que hi va haver aigua a Mart.



L'aigua potser estigui ara gelada al subsòl.



Igual que a la Terra, a Mart hi ha estacions a causa de que l'eix de rotació està inclinat respecte al pla orbital, i al fet que els planetes es traslladen al voltant del Sol mantenint constant la inclinació de l'eix



Pol sud marcià

Té dos casquets polars, de gel i CO_2 l'extensió varia amb les estacions.



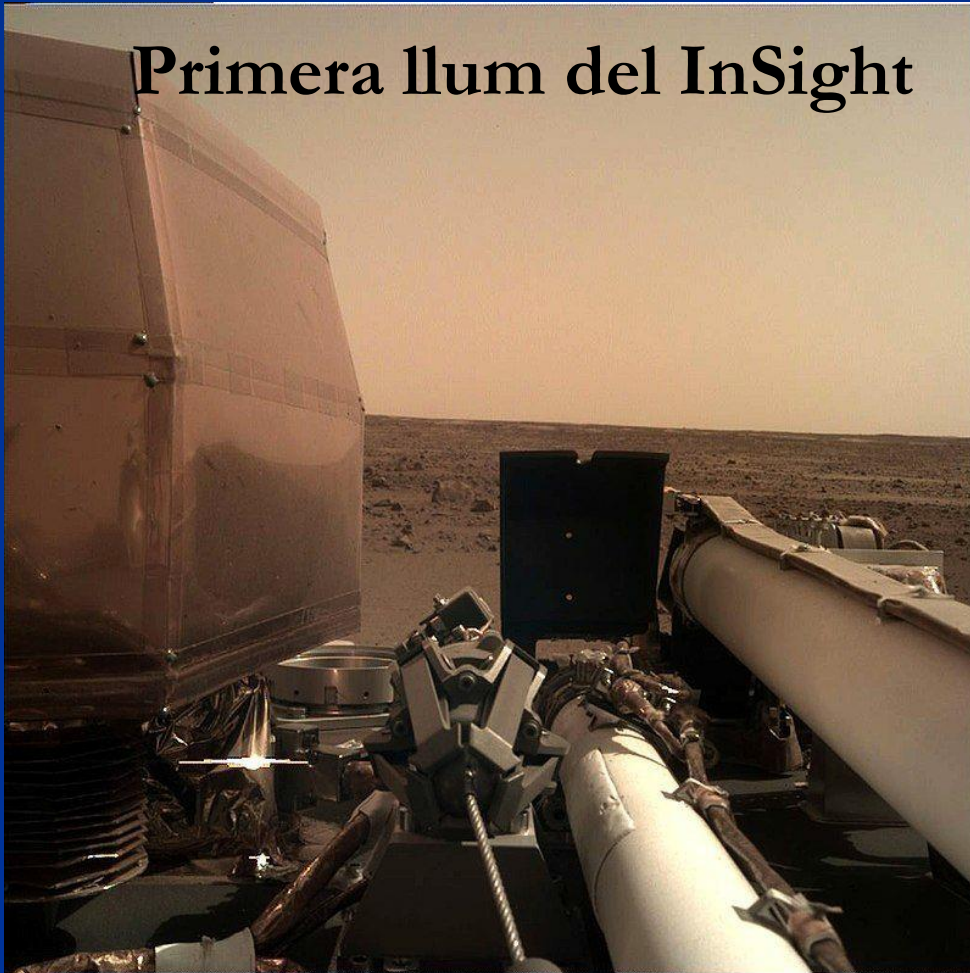
Curiosity a Mart (2004-actualitat): una història reeixida de ciència i tecnologia: un laboratori de microbiologia



Insight: amartitzà el 28 de novembre de 2018

InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transports, en català: Exploració Interior utilitzant Investigacions Sísmiques, Geodèsia i Transmissió de Calor)

Primera llum del InSight



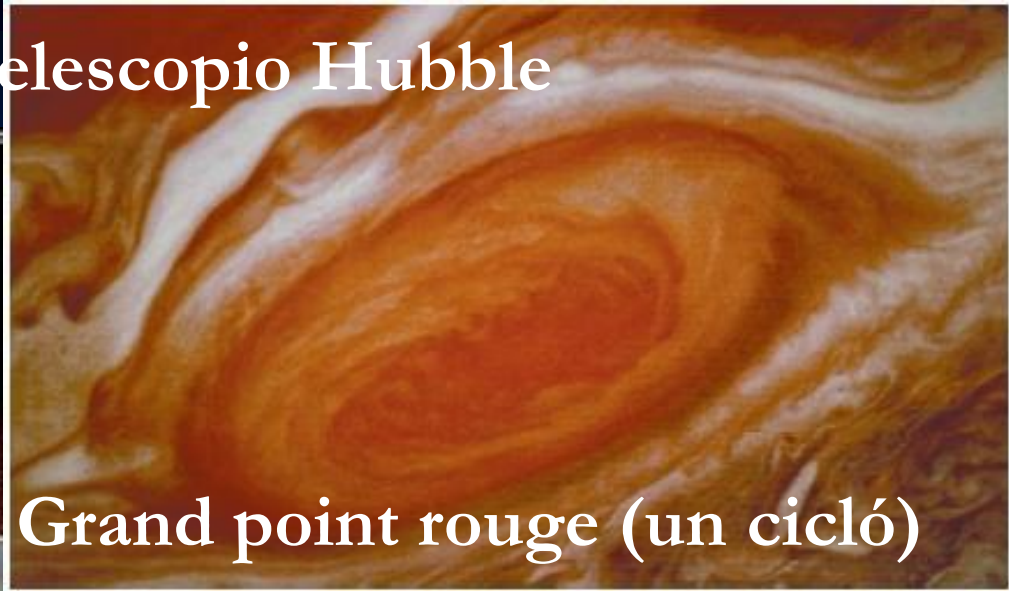
OBJECTIU: col·locar un robot geofísic, equipat amb instruments d'alta tecnologia per estudiar l'interior, el subsòl, la transmissió de calor i els moviments del sòl marcià i analitzar l'evolució geològica primerenca del planeta.

Júpiter



El planeta més massiu del SS, té més de 60 llunes. En 1610 Galileu va observar per primera vegada 4 d'elles que va cridar "Mediceas". Aquest mateix any Simon Marius les va batejar com Io, Europa, Ganímedes i Calisto.

Aurores fotografiadas pel Telescopio Hubble



Grand point rouge (un cicló)



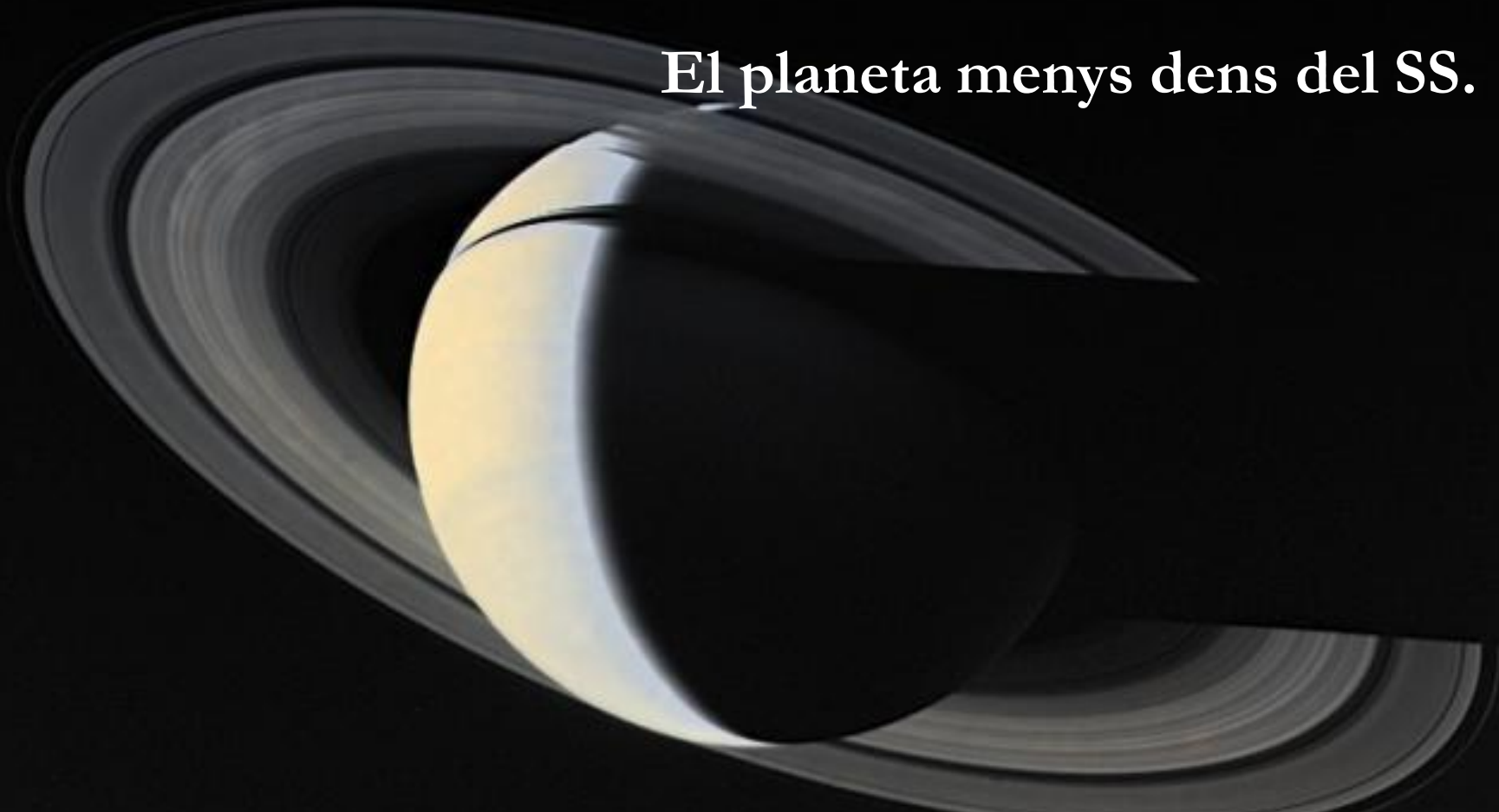
Probablement té un petit nucli sòlid, d'entre 10 i 15 vegades la massa terrestre.



Sistema d' anells

Saturn

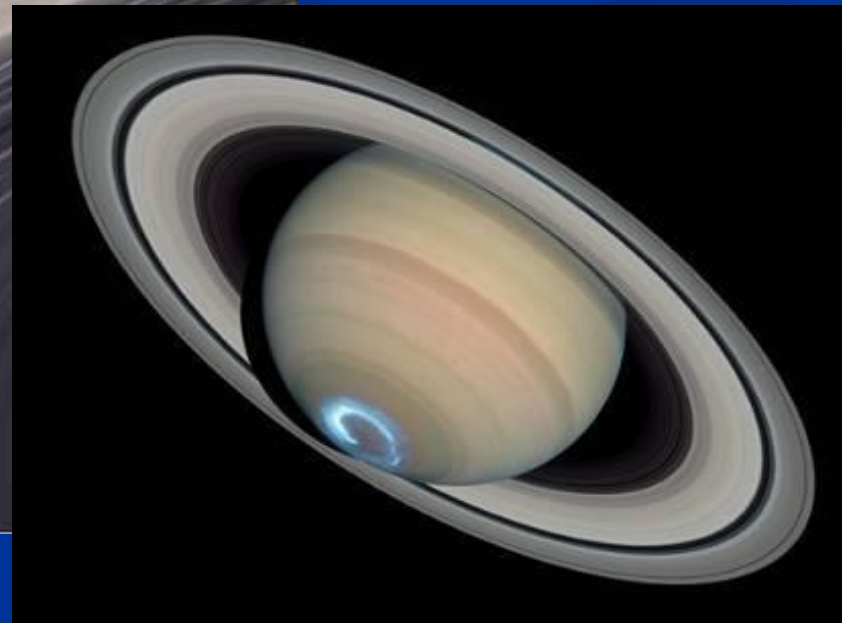
El planeta menys dens del SS.



Té més de 60 llunes i algunes d'elles es troben entre els anells, organitzant dinàmicament el sistema, es diuen "satèl·lits pastors"

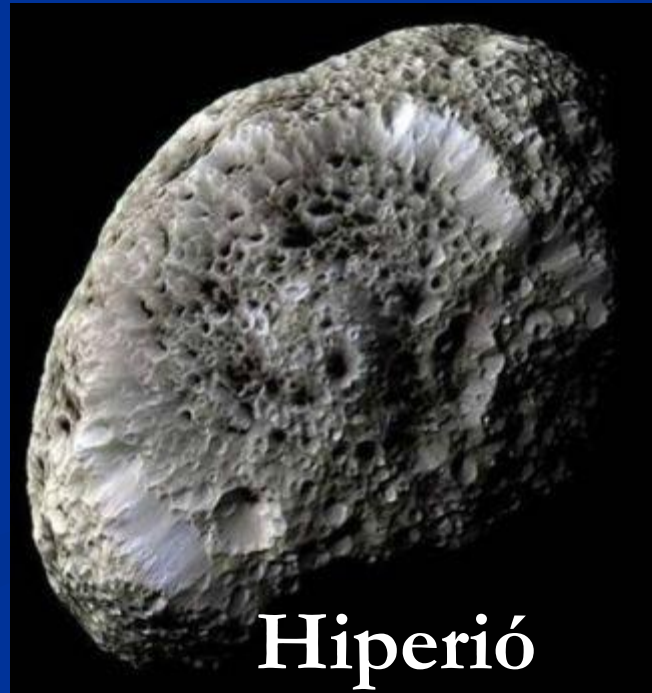
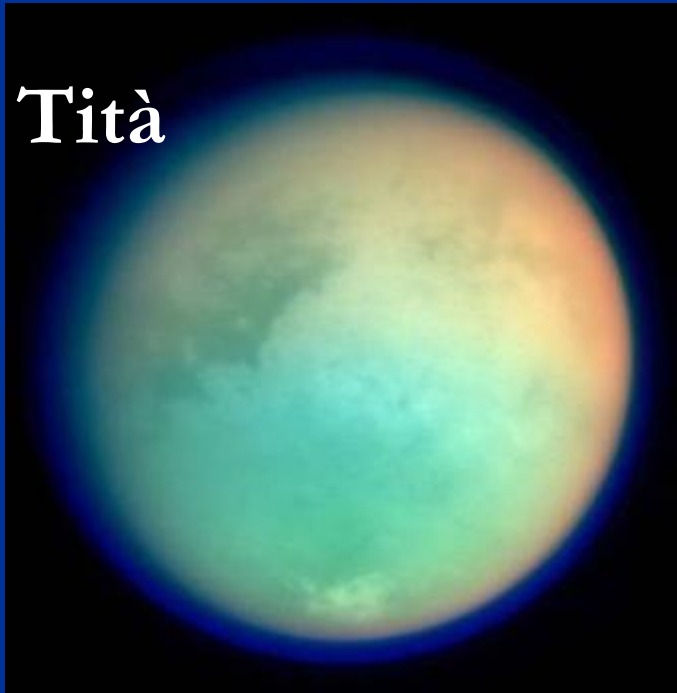
Sistema d'Anells, formats per pols i
trossos molt petits de gel.

Aurores a
Saturn,
fotografiades
pel Telescopi
Hubble



- Saturn té més de 60 satèl·lits però 7 són prou grans com per prendre una forma esfèrica.
- Tità és el major (més gran que Mercuri i Plutó) i l'únic en el SS amb una atmosfera densa.

Tità

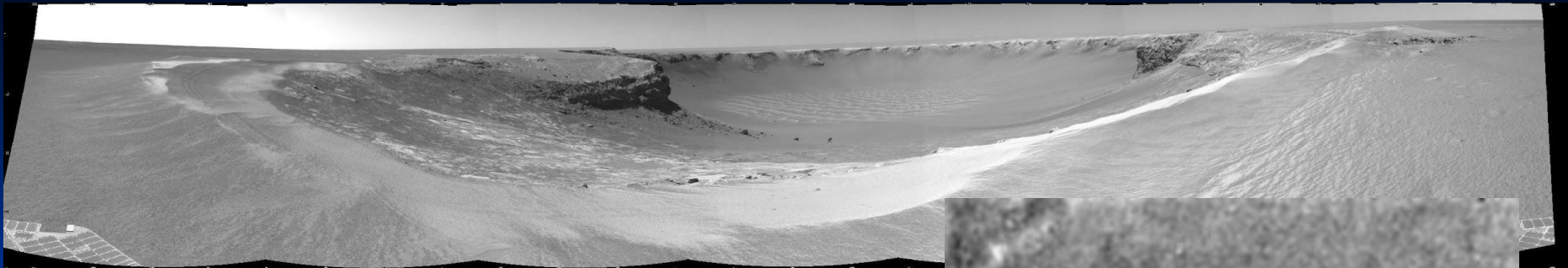


Hiperió

Missió Cassini-Huygens

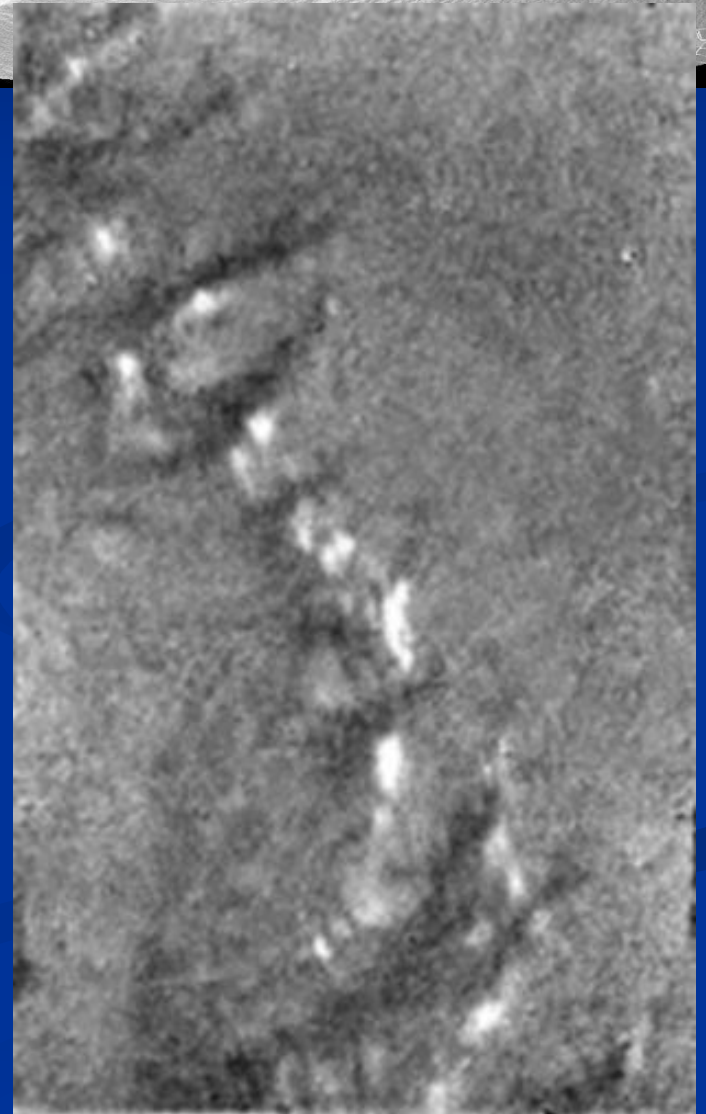
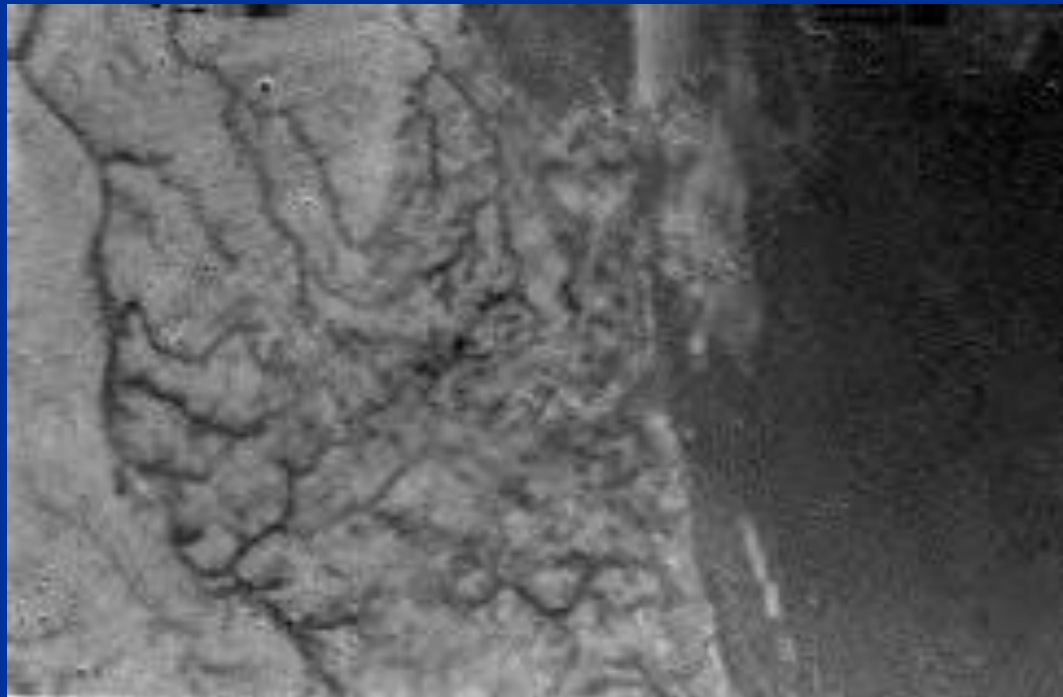
Sonda Huygens
descens a Tità
(visió artística)



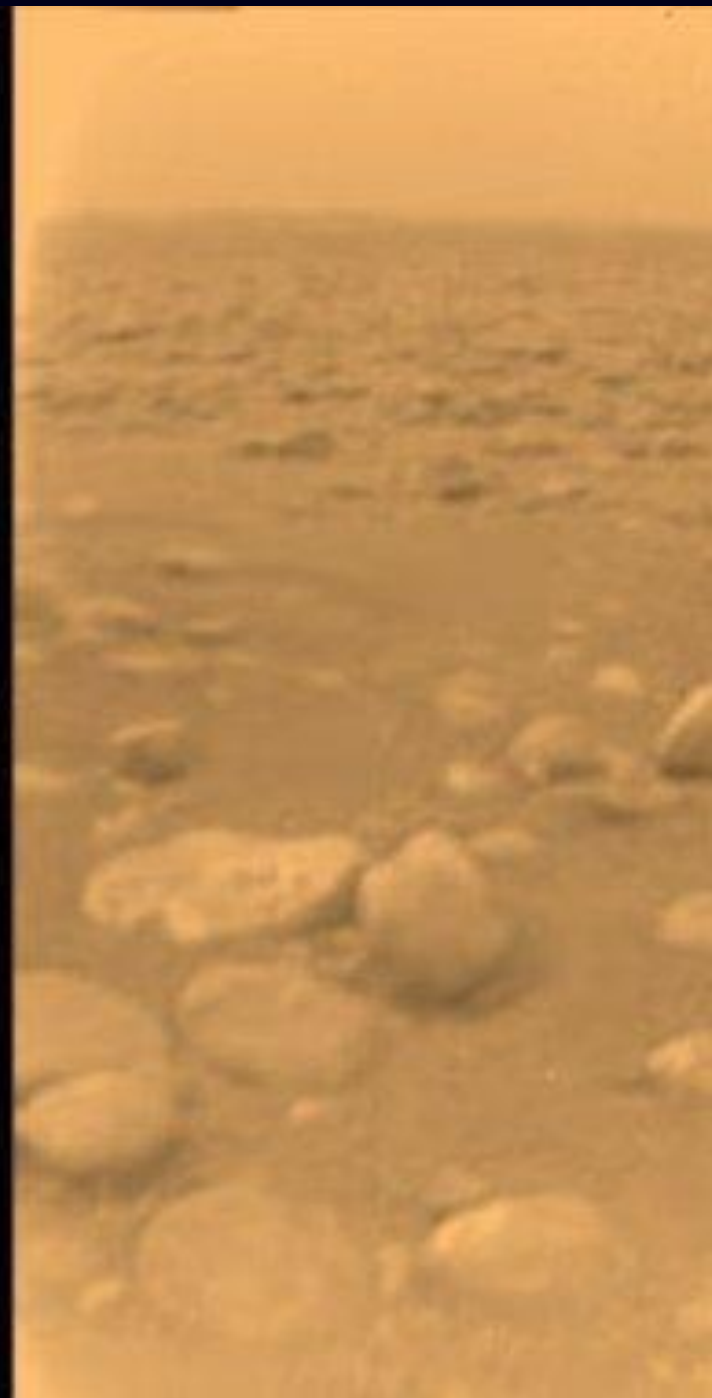
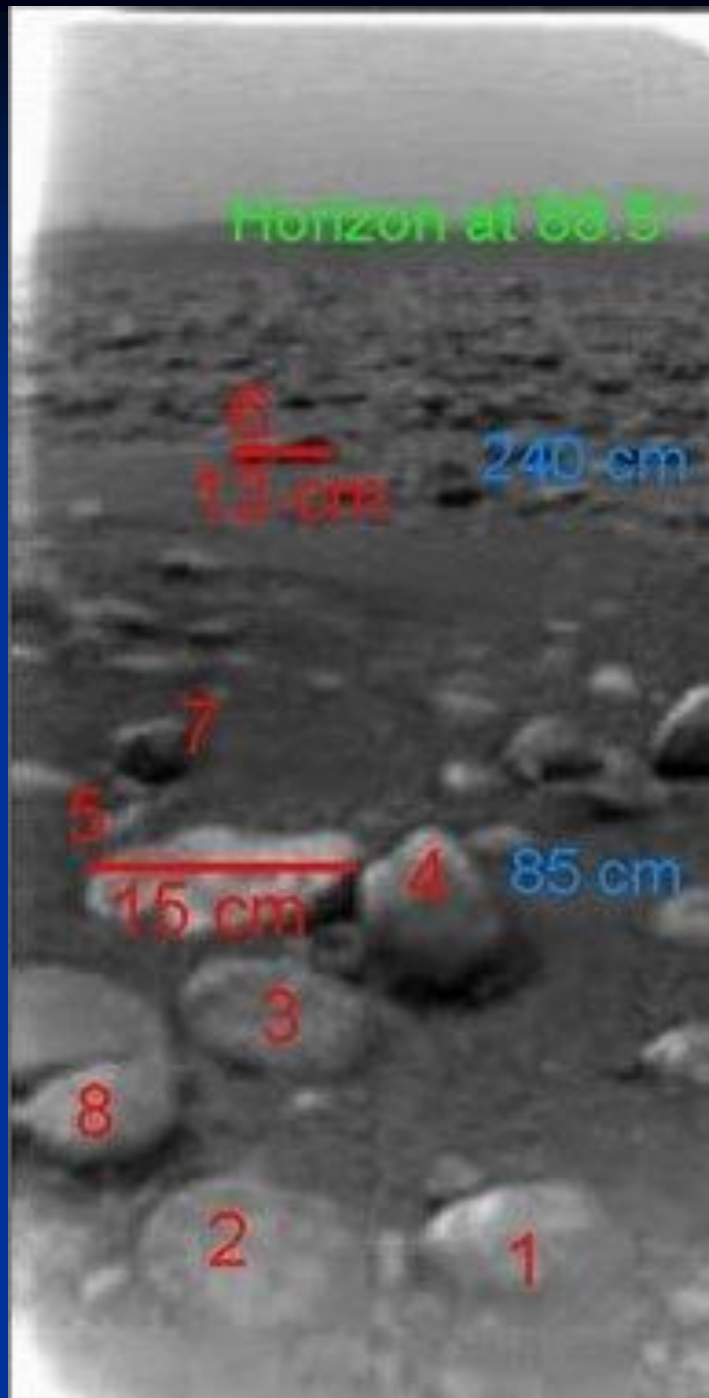


Sonda Huygens descens a Tità
(Primera foto panoràmica)

Tità: mars, rius i llacs de metà



Darrera foto
de la sonda
Huygens
sobre
Tità

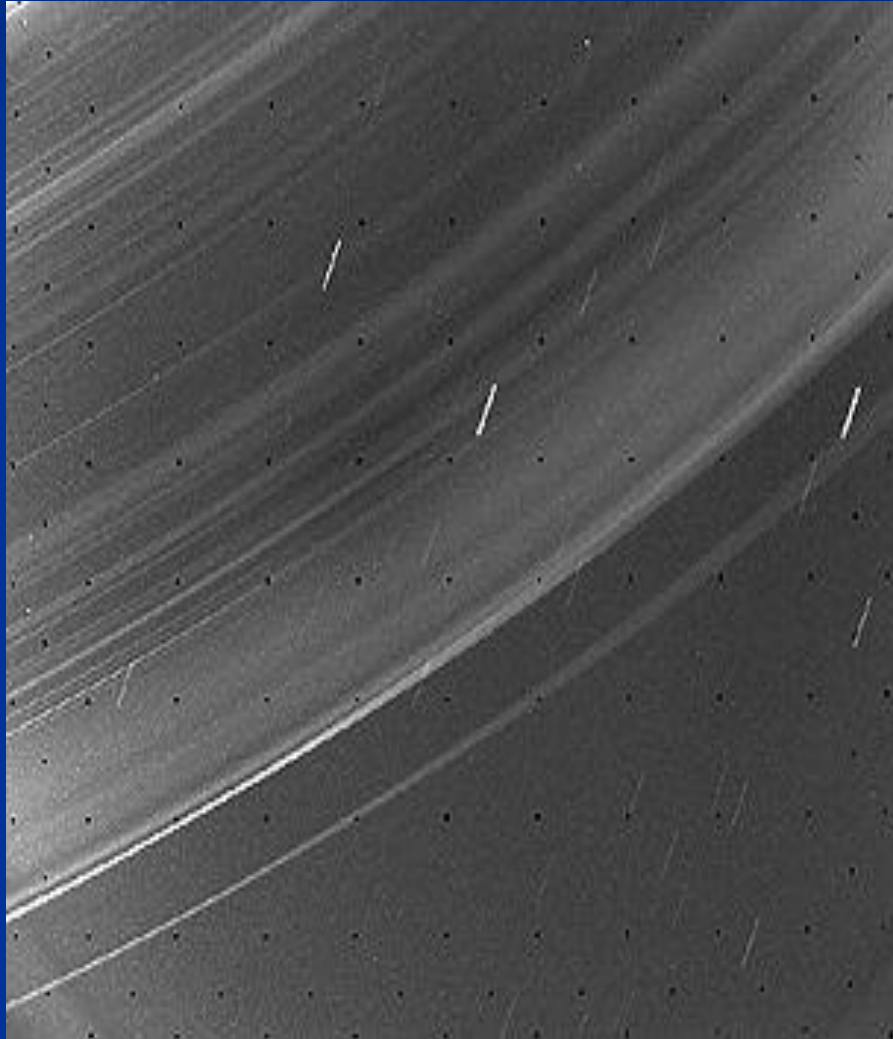


Urà

El seu eix de rotació està
pràcticament en el seu
pla de translació

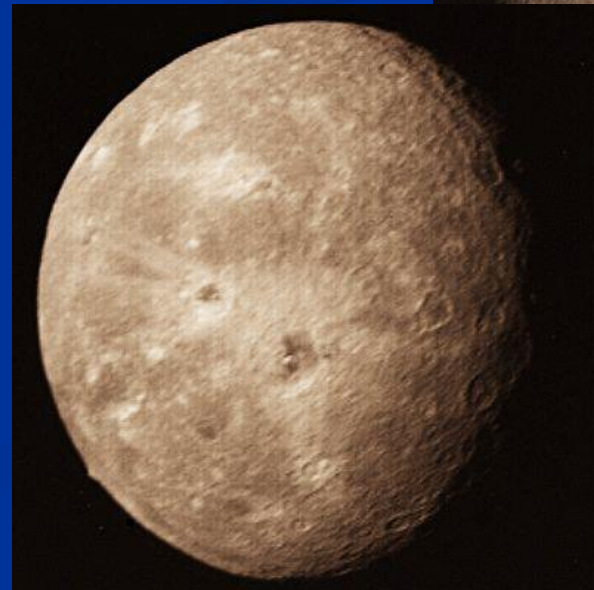
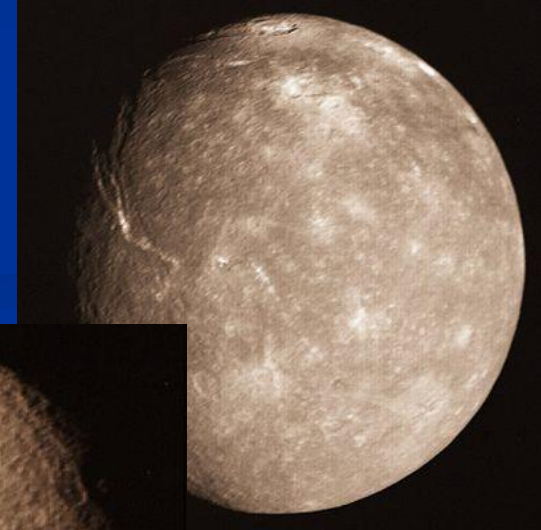


Sistema d'anells d'Urà

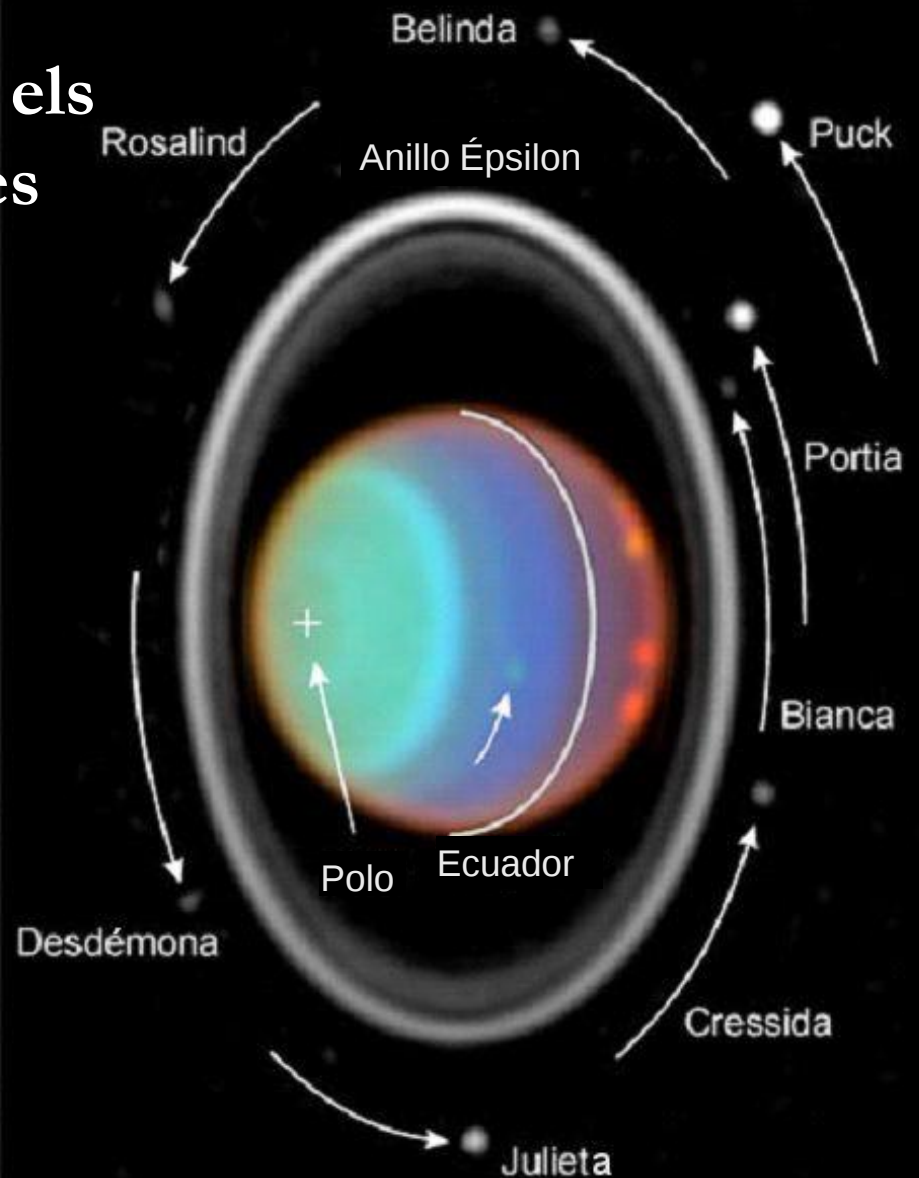
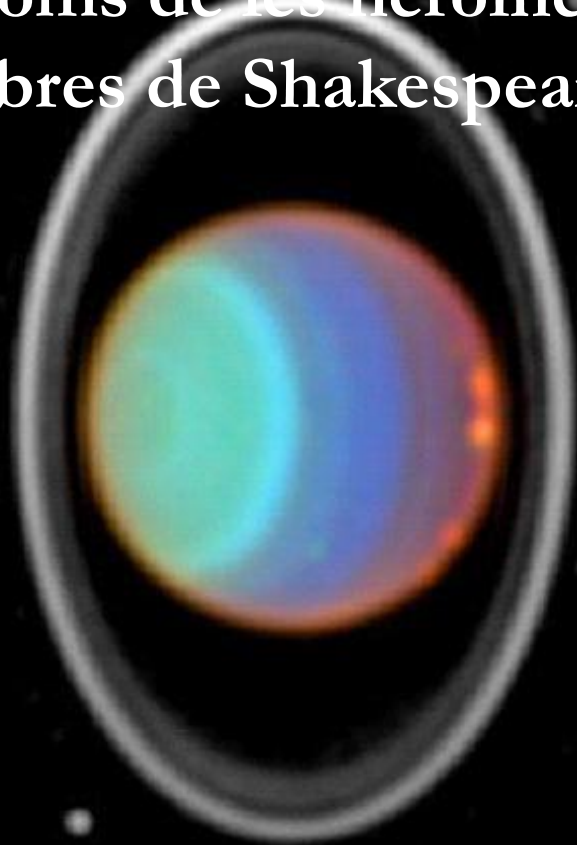


Urà té almenys 27 satèl·lits naturals.

Els primers dos van ser descoberts per William Herschel en 1787: Titània i Oberon.



Els satèl·lits d'Urà porten els
noms de les heroïnes de les
obres de Shakespeare



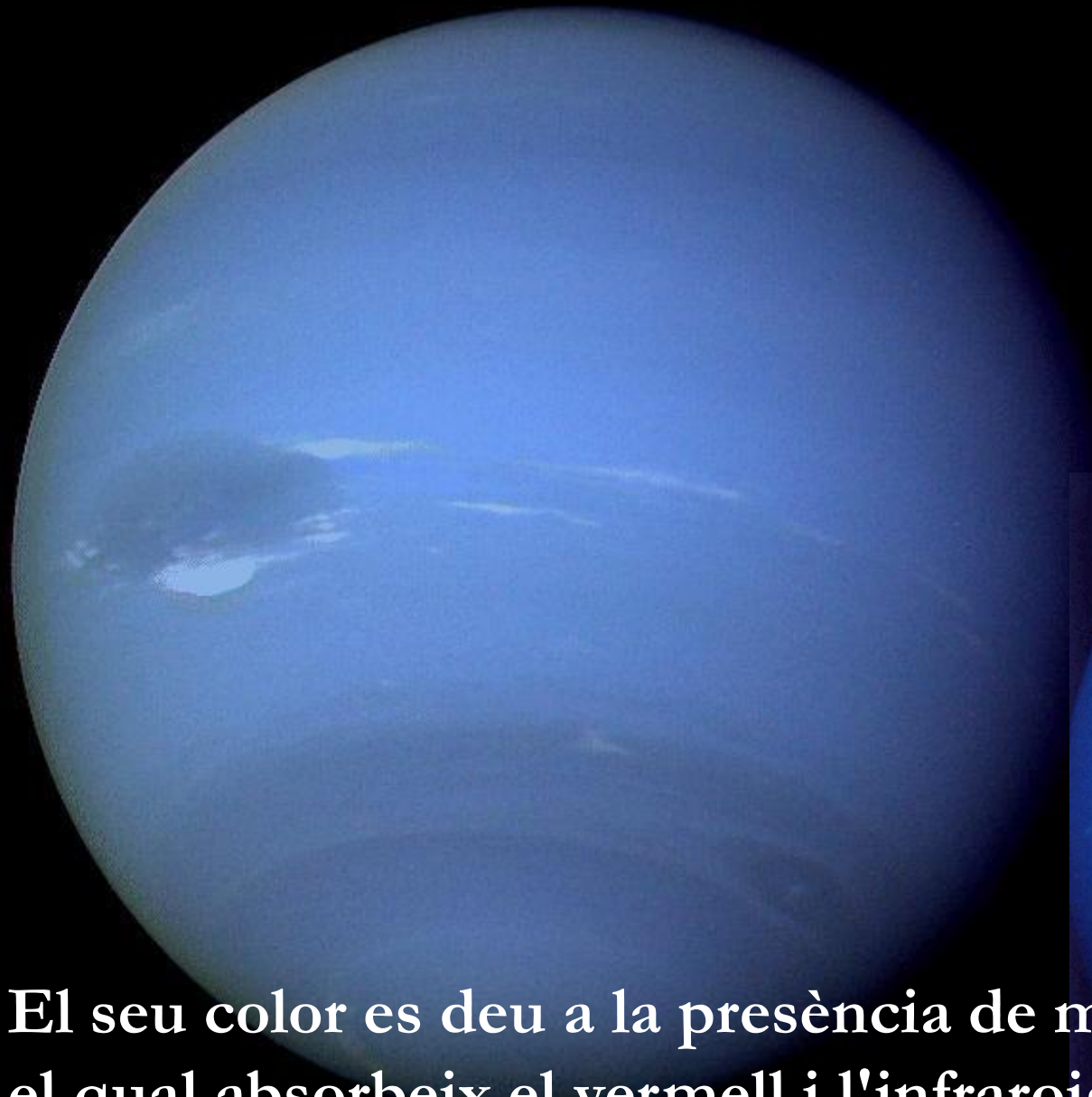
Urano • Julio 28, 1997

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

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

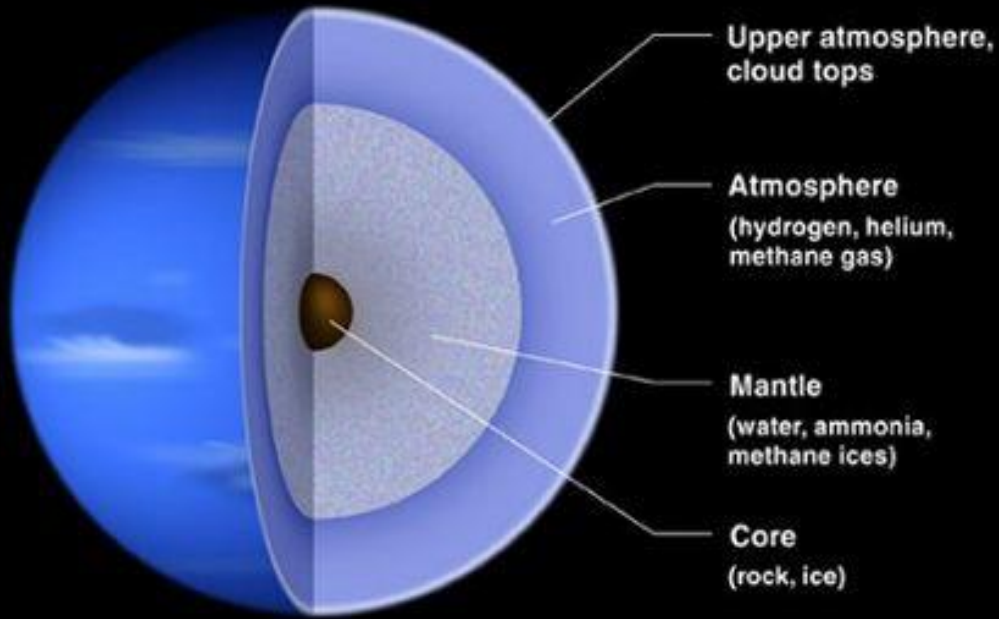
HST • NICMOS

Neptù



El seu color es deu a la presència de metà a l'atmosfera, el qual absorbeix el vermell i l'infraroig.

Neptú



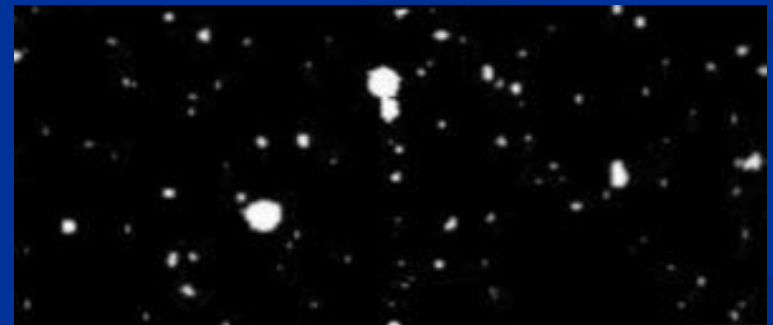
Es creu que té un nucli sòlid de silicats i ferro, gairebé tan gran com la Terra.

Per sobre del nucli hi ha un mantell de gel, metà, H i una mica d'He



Posseeix anells molt foscos, d'origen encara desconegut.

Clyde Tombaugh,
va descobrir Plutó
el 18 de febrer de
1930.

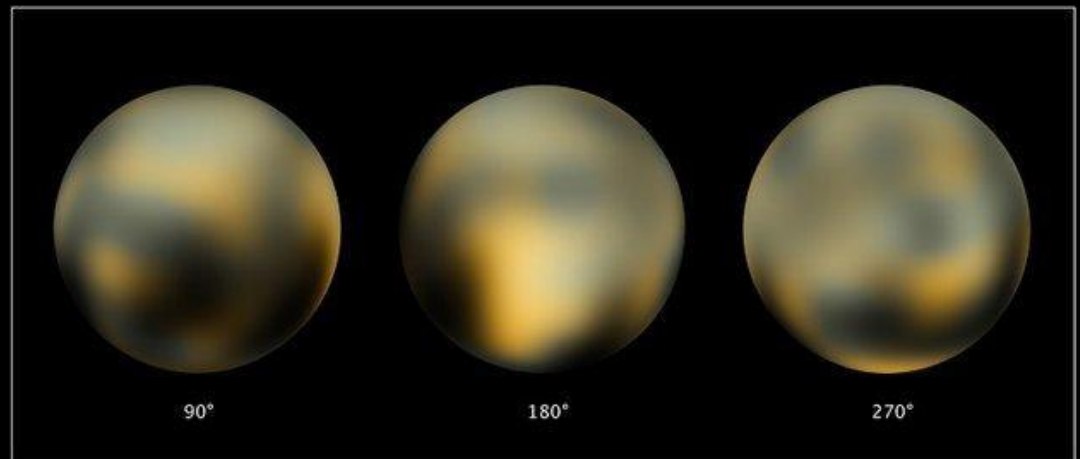


Imatge del
descobriment.
(1930)

Plutó és massa petit per pertorbar l'òrbita de Neptú el temps suficient per trair la seva presència, per molt que Lowell hagi calculat per localitzar-lo. Clyde Tombaugh va trobar a Plutó (magnitud ~ 13.5) fotografiant de manera sistemàtica el pla del SS.



Pluton i Caront
Telescopi
Hubble 1999

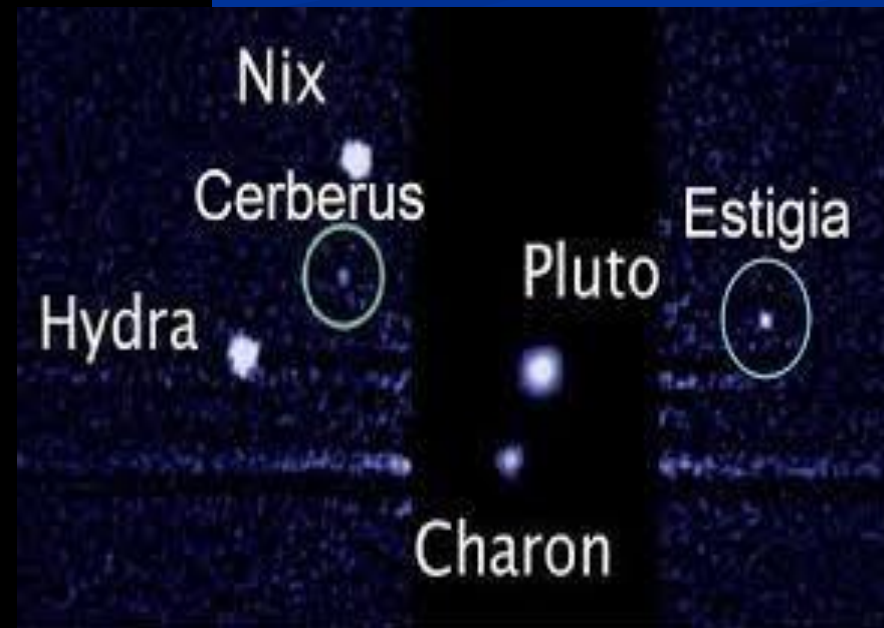
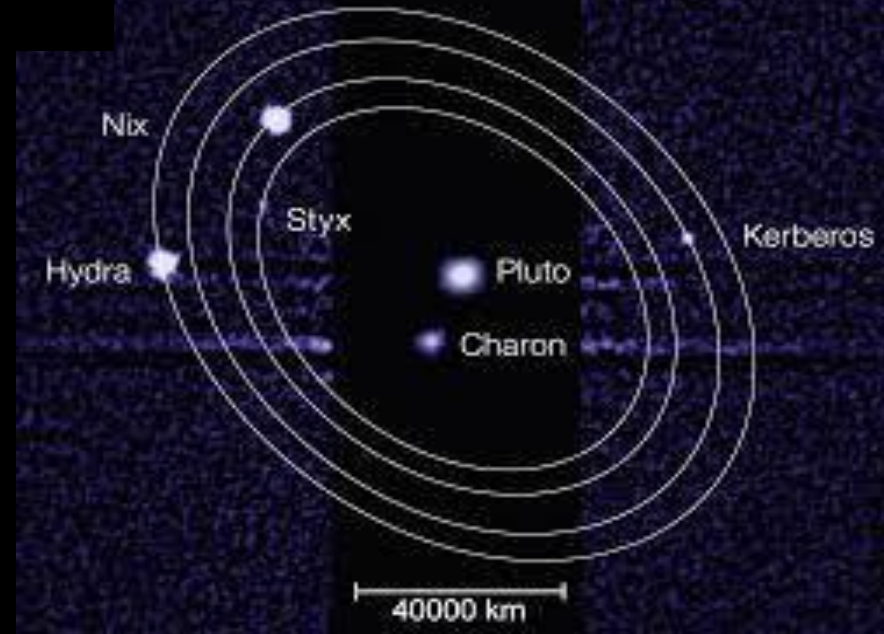


Pluto Faces
Hubble Space Telescope • ACS/HRC

Sistema de Plutó.

Febrer 15, 2006

Sistema de Plutó. 2011-2012

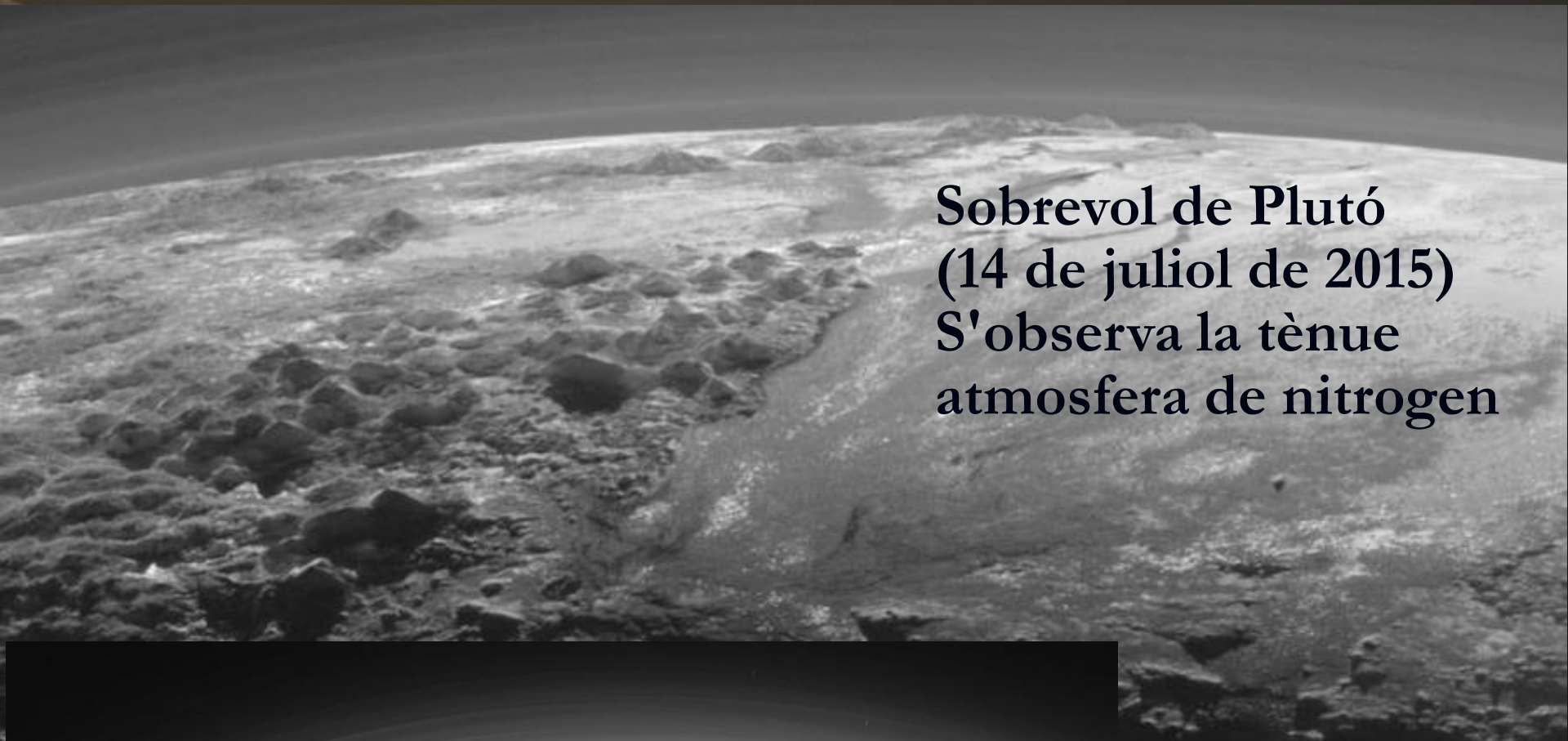


NASA, ESA, H. Weaver (JHU/APL), A. Stern (SwRI),
and the HST Pluto Companion Search Team

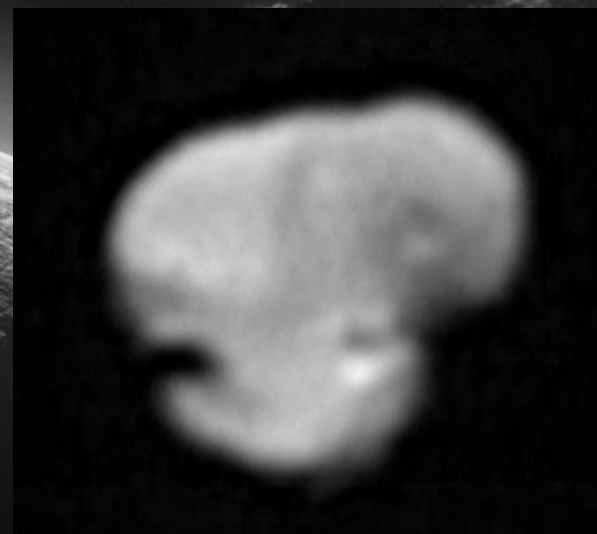


Plutó i Caront
New Horizons, 2015

 20 miles



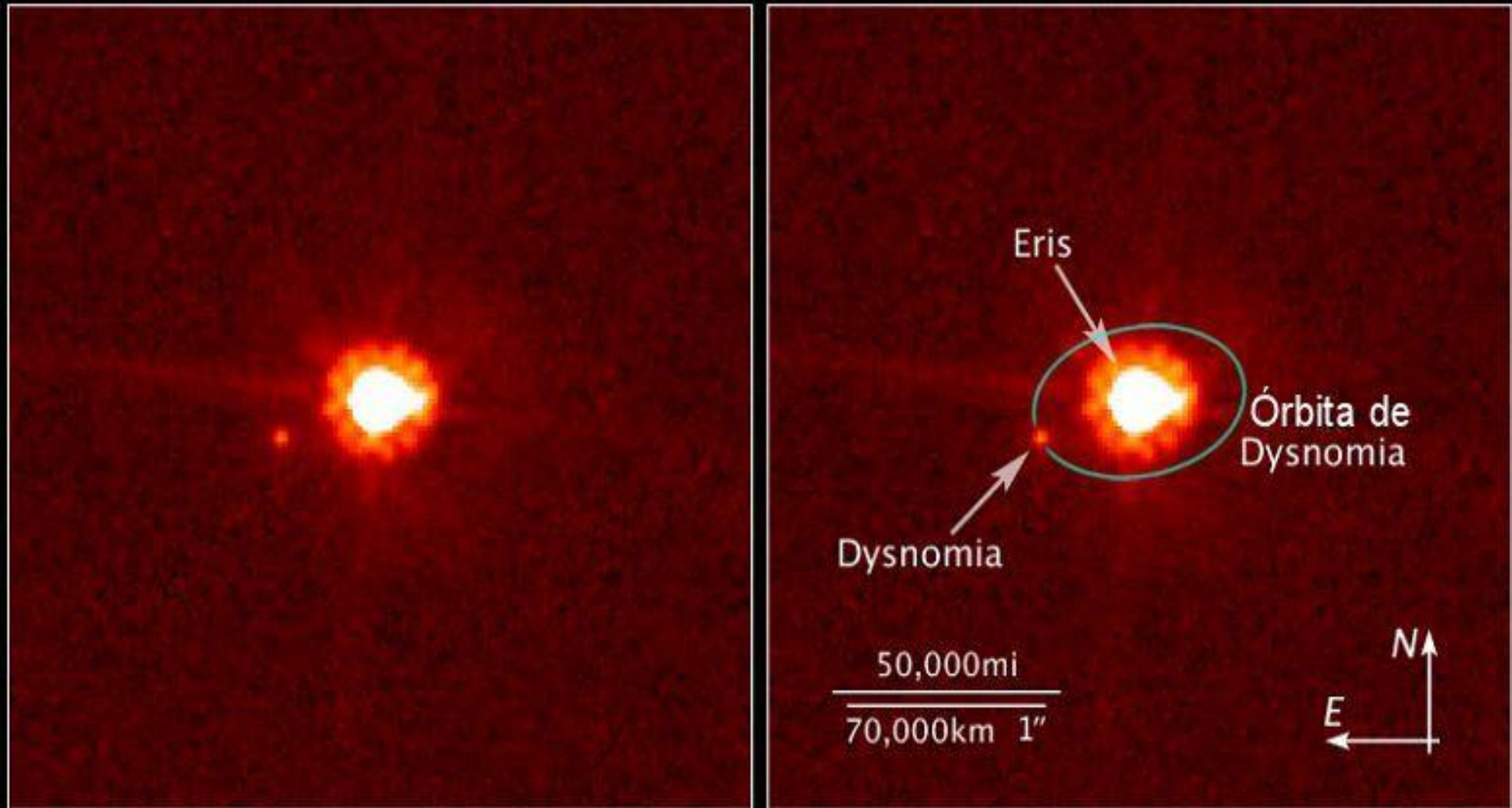
Sobrevol de Plutó
(14 de juliol de 2015)
S'observa la tènue
atmosfera de nitrogen



Descubrimient d'Eris

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

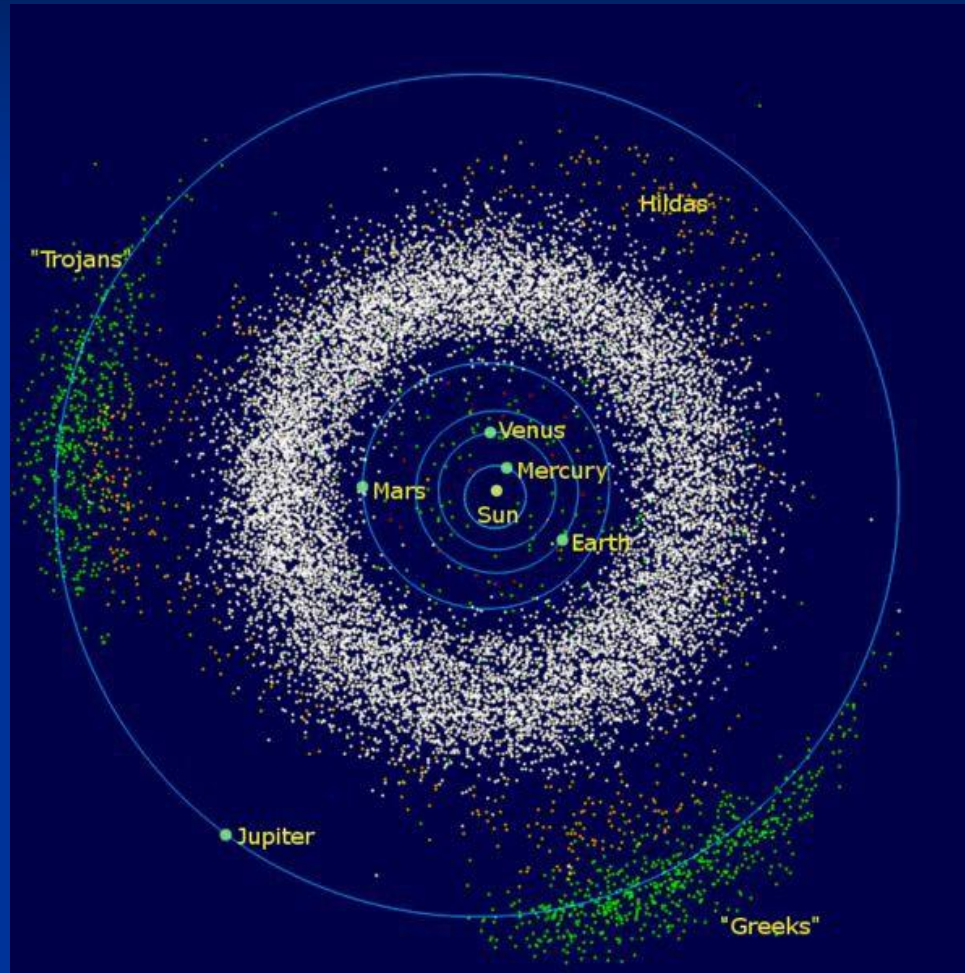
HST • ACS/HRC



Cossos Menors del Sistema Solar

- **Són els romanents de l'acreció planetària.**
- Comprenen diverses poblacions d'asteroides, cometes i objectes transneptunians.
- Els asteroides són essencialment rocosos i metàl·lics, mentre els estels són objectes més fràgils i porosos, formats bàsicament per gels (predominant l'aigua) i partícules de pols.
- La gran majoria dels asteroides es troba en una regió entre les òrbites de Mart i Júpiter, coneguda com el "Cinturó Principal d'Asteroides".
- Els objectes transneptunians contindrien importants quantitats de gel, i se situen en una regió més enllà de l'òrbita de Neptú, coneguda com "Cinturó transneptunià" (o Cinturó de Kuiper, en reconeixement a un dels primers a predir la seva existència).

Cinturó principal d'Asteroides



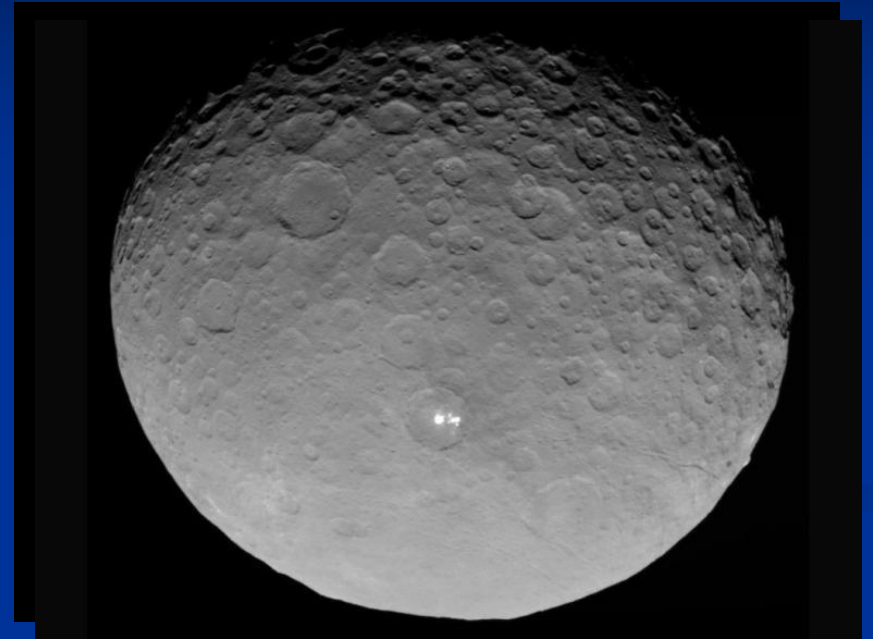
Hi ha centenars de milers o milions, i la massa total no superaria a la mil·lèsima part de la Terra.

La mida dels asteroides va des de diversos centenars de km fins a metres i fraccions de m.

Ceres

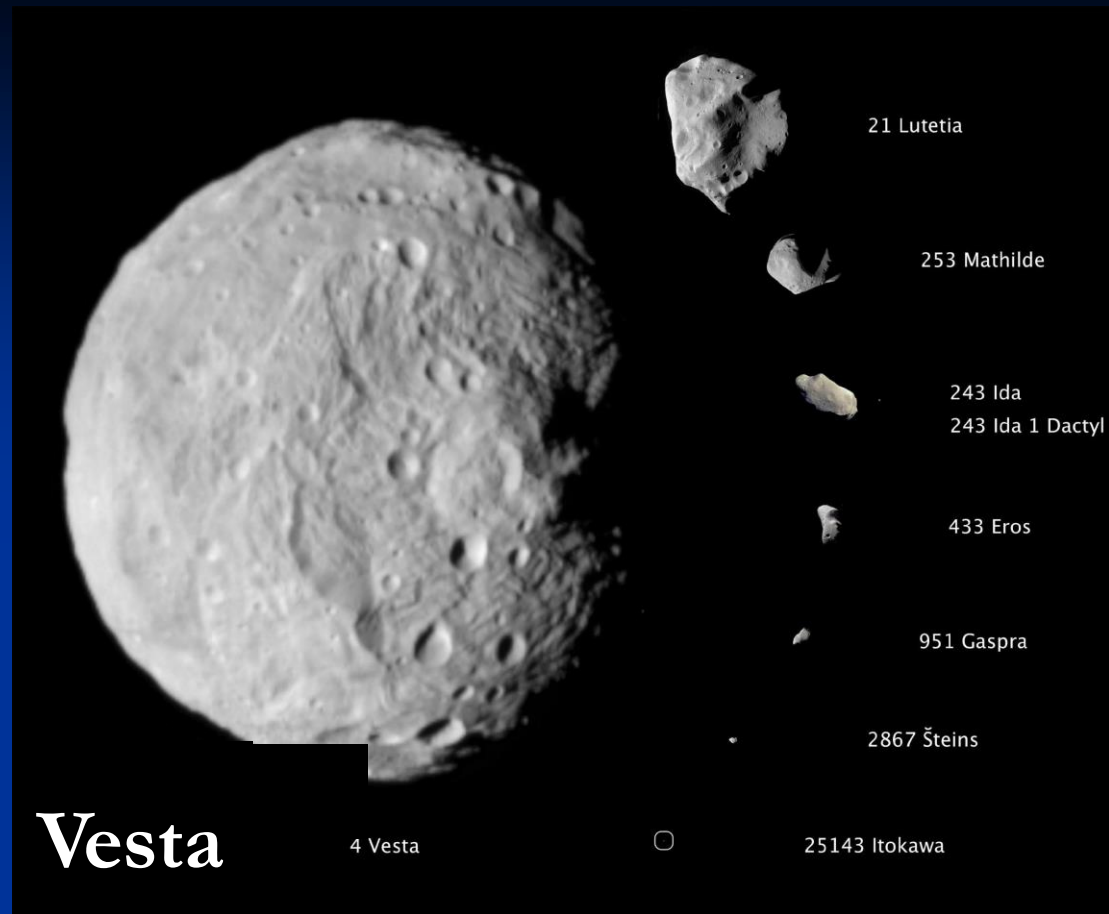
Descobert en 1801 per Giuseppe Piazzi va ser considerat planeta fins a 1850 en trovar-se molts altres objectes similars.

És el cos més gran del cinturó d'asteroides, i l'únic d'ells catalogat el 2006 com a planeta nan.



Amb un diàmetre de gairebé 1.000 km, és bastant gran com perquè la seva gravetat li doni forma esfèrica.

Tots els altres
asteroides es
consideren cossos
petits, irregulars,
encara que alguns
d'ells com Pallas i
Vesta podrien ser
classificats com a
planetes nans si es
demostra que
arriben a l'equilibri
hidrostàtic.



Pallas



Els reservoris de cossos menors en el SS

Els reservoris són regions relativament estables, on els objectes poden romandre durant temps comparables a l'edat del SS, fins que alguna força perturbativa els canviï l'òrbita.

Hi ha tres grans reservoris al SS:

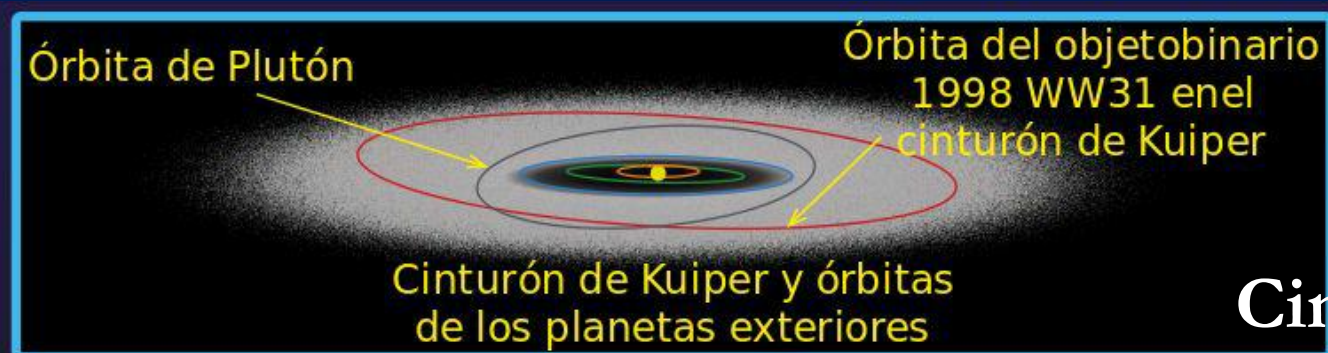
- El **Cinturó Principal d'Asteroides**. D'aquesta regió provindrien altres poblacions, com la dels asteroides que s'acosten a la Terra (coneguts com NEAS per les seves sigles anglès).
- El **Cinturó Transneptunià**. És la regió d'on provenen els cometes de curt període.
- El **Núvol d'Oort**. Té una distribució esfèrica i està formada pels planetesimals gelats escombrats cap a fora per planetes gegants durant la formació del SS. Gràcies a pertorbacions degudes al passatge proper d'estrelles o de núvols moleculars gegants, o a les marees galàctiques, les òrbites d'alguns d'aquests objectes poden canviar desviant cap a l'interior de l'SS, transformant-se en cometes de llarg període.

Dades 17 de abril de 2019.

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

- **Total d'asteroides coneguts: 798.130. inclouen:**
 - Cinturó Principal: 705.913
 - Troians de Júpiter: 7236
 - Asteroides amb òrbites interiors a la de Mart: 3.573
 - Nies: 19.006
 - Asteroides potencialment perillosos (PHAs): 1.973
- **Cometes:**
 - El·líptics: 420 de llarg període ($p > 200$ anys) + 860 de curt període ($P < 200$ anys).
 - Parabòlics: 1.837
 - Hiperbòlics: 347 (origen extrasolar)
- **Objectes transneptunians (TNOs): 3.218**

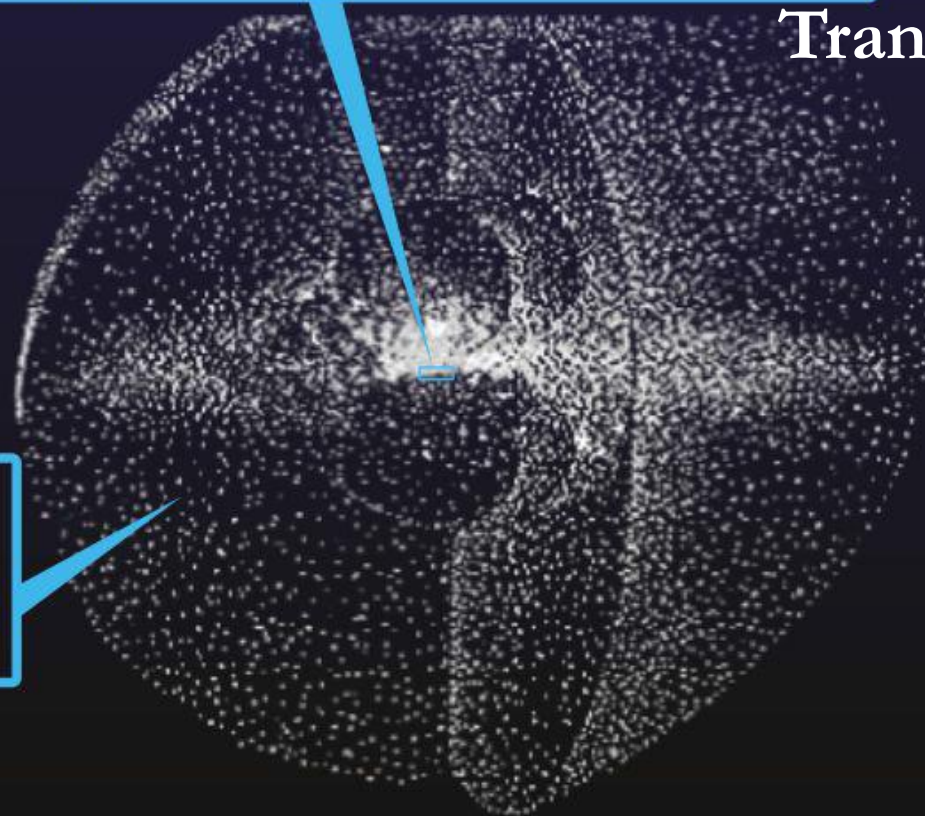
Cinturó transneptunià i Núvol d'Oort



**Cinturó
Transneptunià**

Nube de Oort
(contiene miles de
millones de cometas)

This text is part of a label pointing to the Oort Cloud in the main image. It is written in yellow text on a black background.



**Els més
grans
són
planetes
nans.**

Principals objectes transneptunians (TNOs)



Cometes

- Els cometes són petits cossos d'uns pocs km, fets fonamentalment de materials volàtils (gels d'aigua, diòxid de carboni, metà, amoníac, etc.) i partícules de pols.

- Quan s'acosten al Sol poden ser visibles

- Es pensa que l'aigua a la Terra podria venir d'ells.



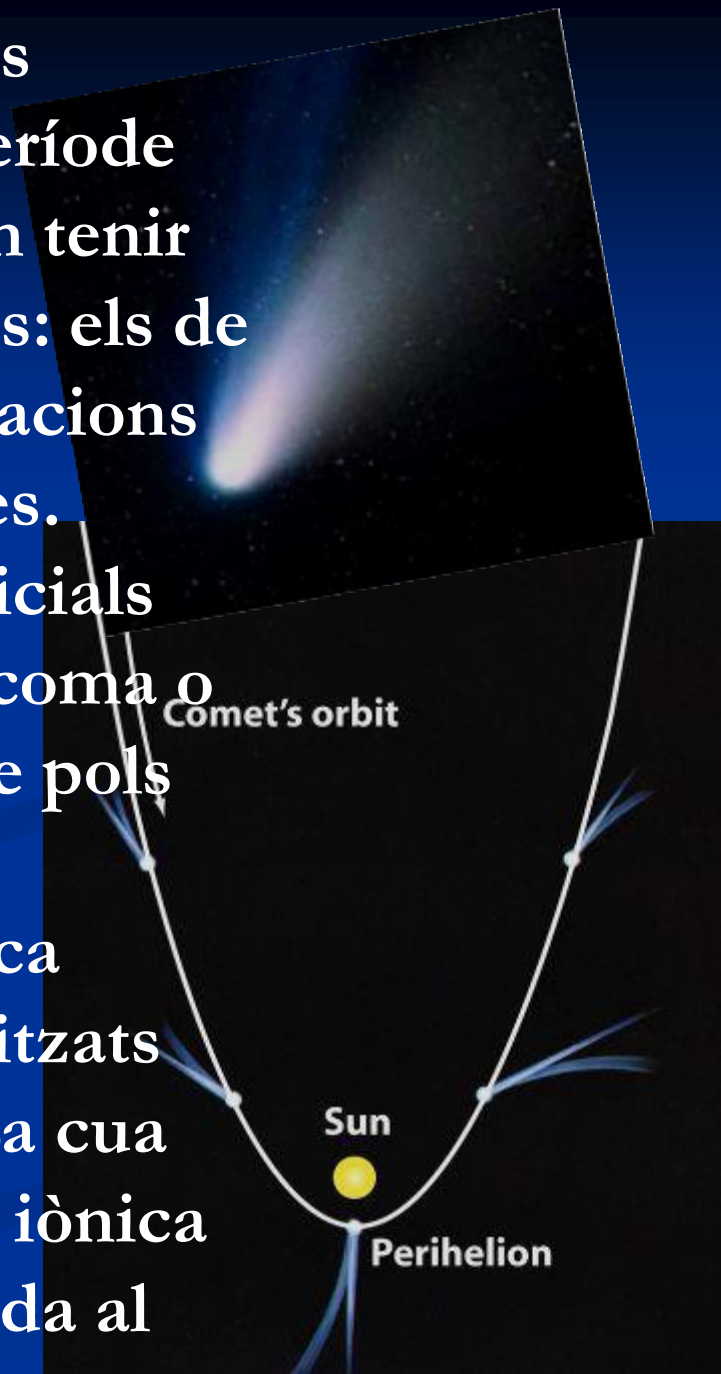
,West, 1976



Hale-Bopp, 1997

- En general els cometes tenen òrbites bastant excèntriques. Els de llarg període tenen inclinacions aleatòries i poden tenir òrbites tant retrògrades com directes: els de curt període tenen en general inclinacions petites i les seves òrbites són directes.

- En acostar-se al Sol, els gels superficials del cometa es sublimen creant una coma o "cabellera", i les "cues": una cua de pols formada per les partícules de pols arrossegades pel gas, i una cua iònica formada pels àtoms i molècules ionitzats que interactuen amb el vent solar. La cua de pols es va corbant, mentre la cua iònica de color blavós apunta recta i oposada al Sol



Halley: el més famós dels cometes

Va ser nomenat en honor a Edmond Halley, que va predir el seu acostament al Sol, aplicant la Llei de Gravitació Universal i el càlcul de pertorbacions. Halley no va veure confirmada la seva predicció. Torna cada 76 anys.

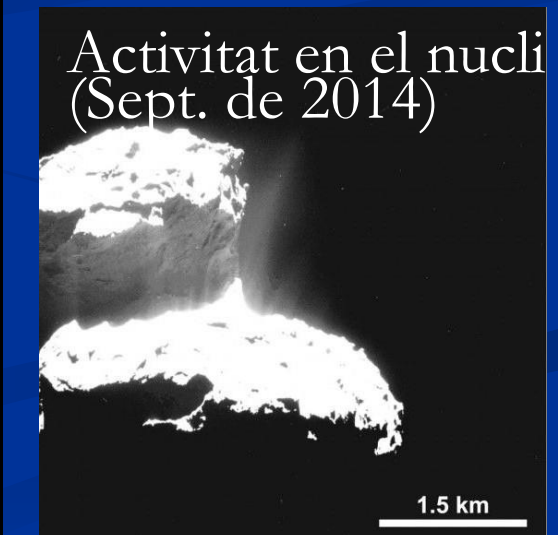
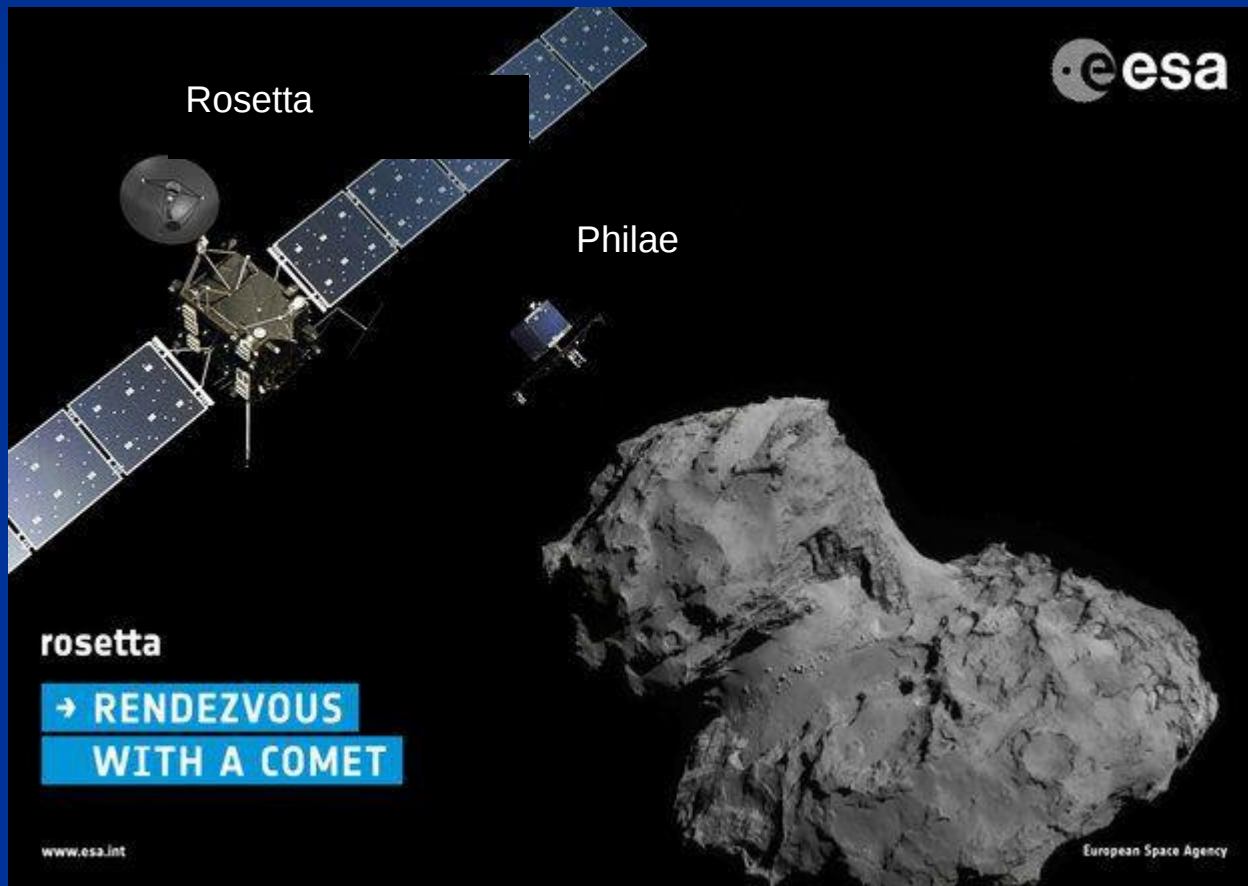


Distance: 3625 km
Time to encounter: 52 sec

En 1986 va ser visitat el primer cometa per la sonda espacial Giotto, que va fotografiar el seu nucli.

Missió Rosetta: trobada amb el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko

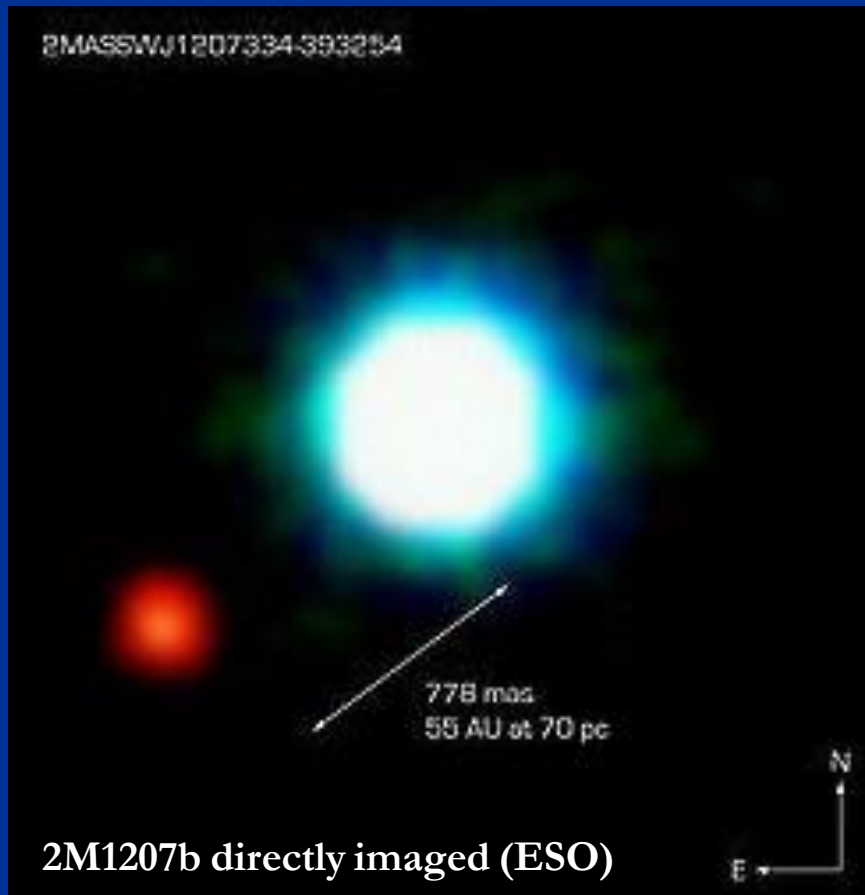
Philae descendeix en el cometa el 12 novembre 2014



Cámara OSIRIS/ESA

Altres sistemes planetaris

El 1995 els astrònoms suïssos Michael Mayor i Didier Queloz van anunciar la detecció d'un exoplaneta orbitant 51 Pegasi

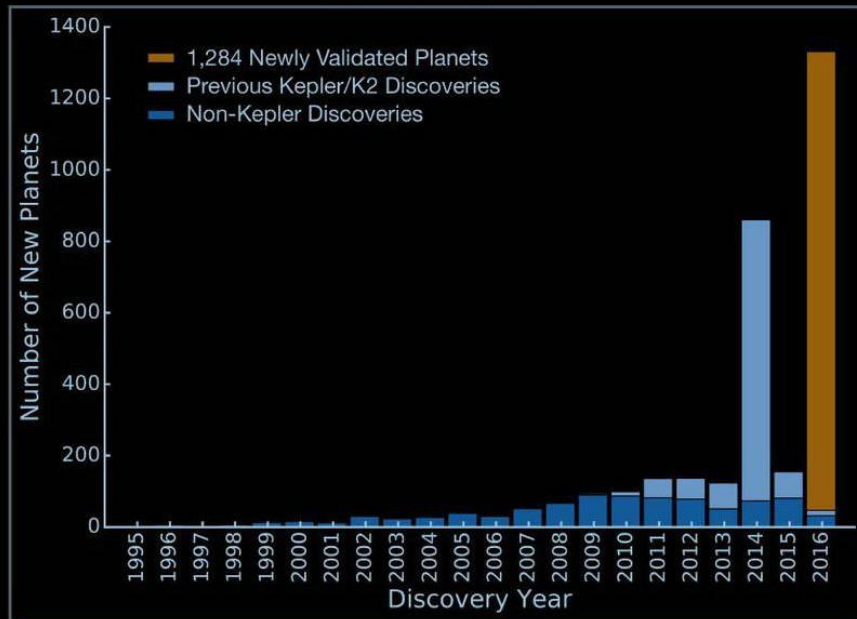


- Aquesta estrella i el seu planeta van ser batejats com helvetios i Dimidio el 2015, després d'una votació pública, impulsada per la IAU

1a foto de un planeta extrasolar. 16 març 2003

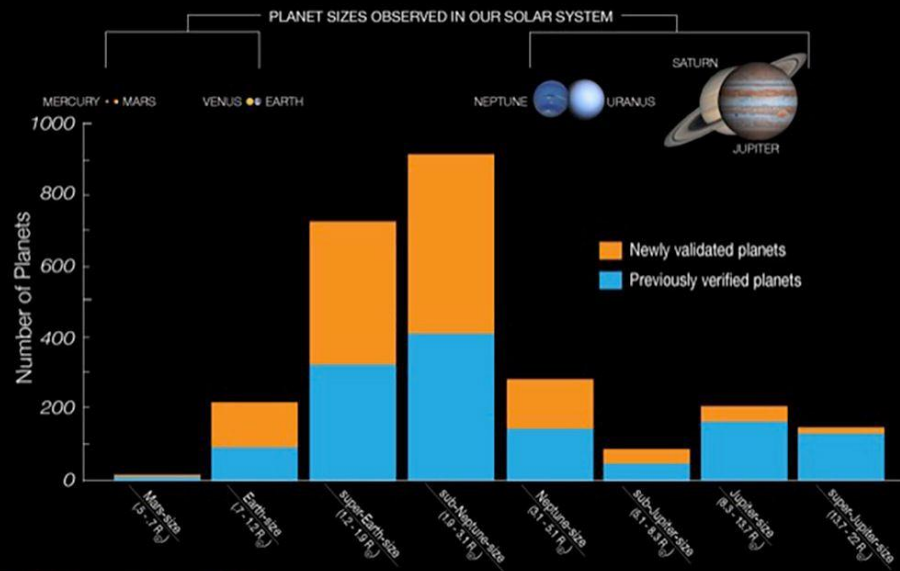
Exoplanet Discoveries Through the Years

As of May 10, 2016



Kepler's Planets by Size

As of May 10, 2016

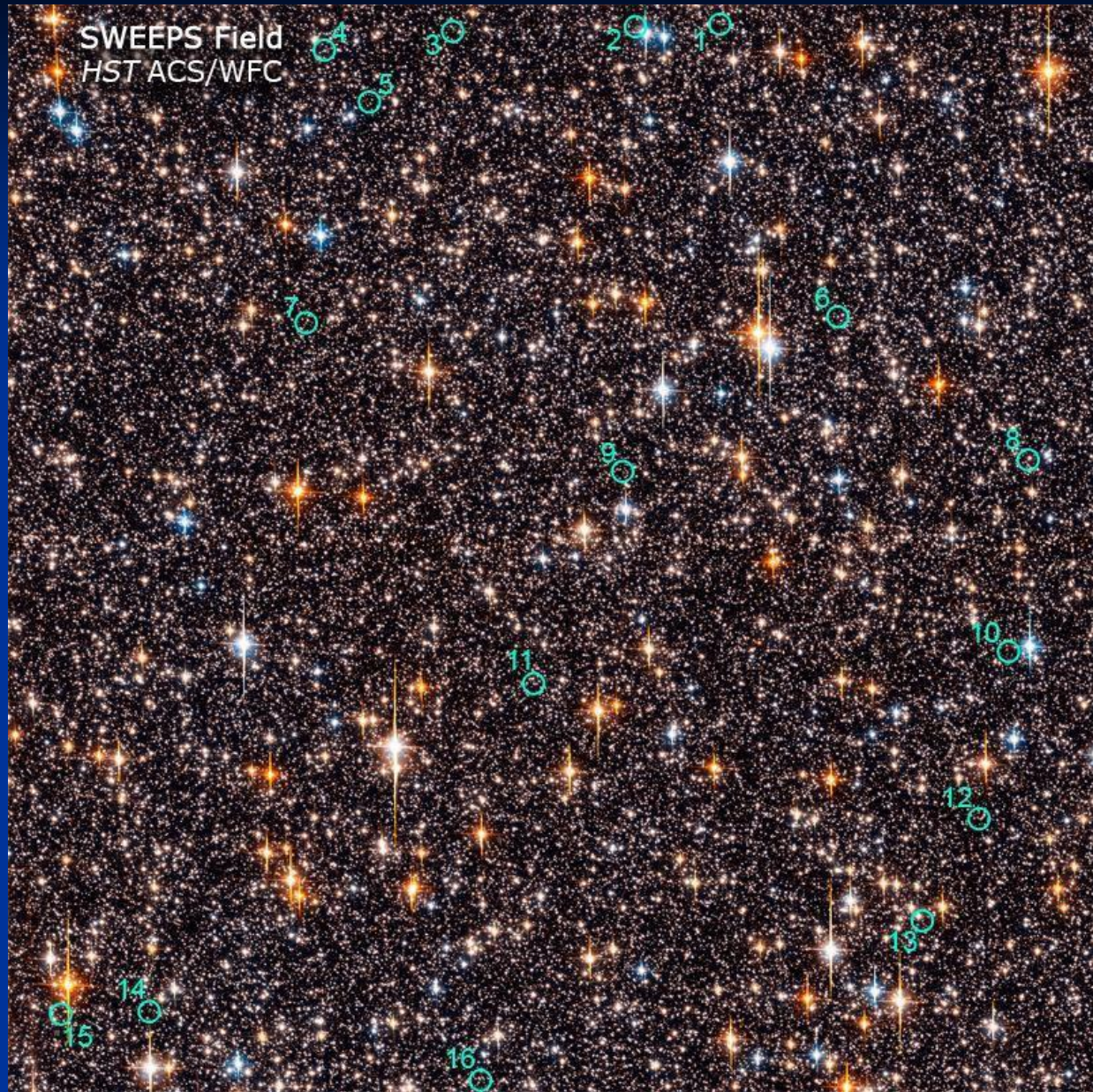


Kepler (març de 2009), és la primera missió de NASA destinada a trobar planetes potencialment habitables, de la mida de la Terra.

El 10 de maig de 2016 va anunciar la col·lecció d'exoplanetes més gran de la que es tingui notícies

D'un total d'uns 5.000 candidats, més de 3.200 han estat verificats, i 2.325 d'aquests van ser descoberts pel telescopi Kepler.

A partir de 2018, el satèl·lit de la NASA "Transiting Exoplanet Survey" farà servir el mateix mètode que el telescopi Kepler per monitoritzar 200.000 estrelles brillants properes i buscar planetes, especialment de la mida de la Terra o majors (les super Terres).



Quantes estrelles tenen planetes?

¿Quants d'aquests planetes són habitables?

En quants es va desenvolupar alguna forma de vida?

**Preguntes que l'astronomia
busca respondre**

Moltes gràcies per
la seva atenció!

