# La Tierra en el Universo

Curso Actualización en Geociencias
30 de Junio 2014

Dr. Tabaré Gallardo

www.fisica.edu.uy/~gallardo/sem

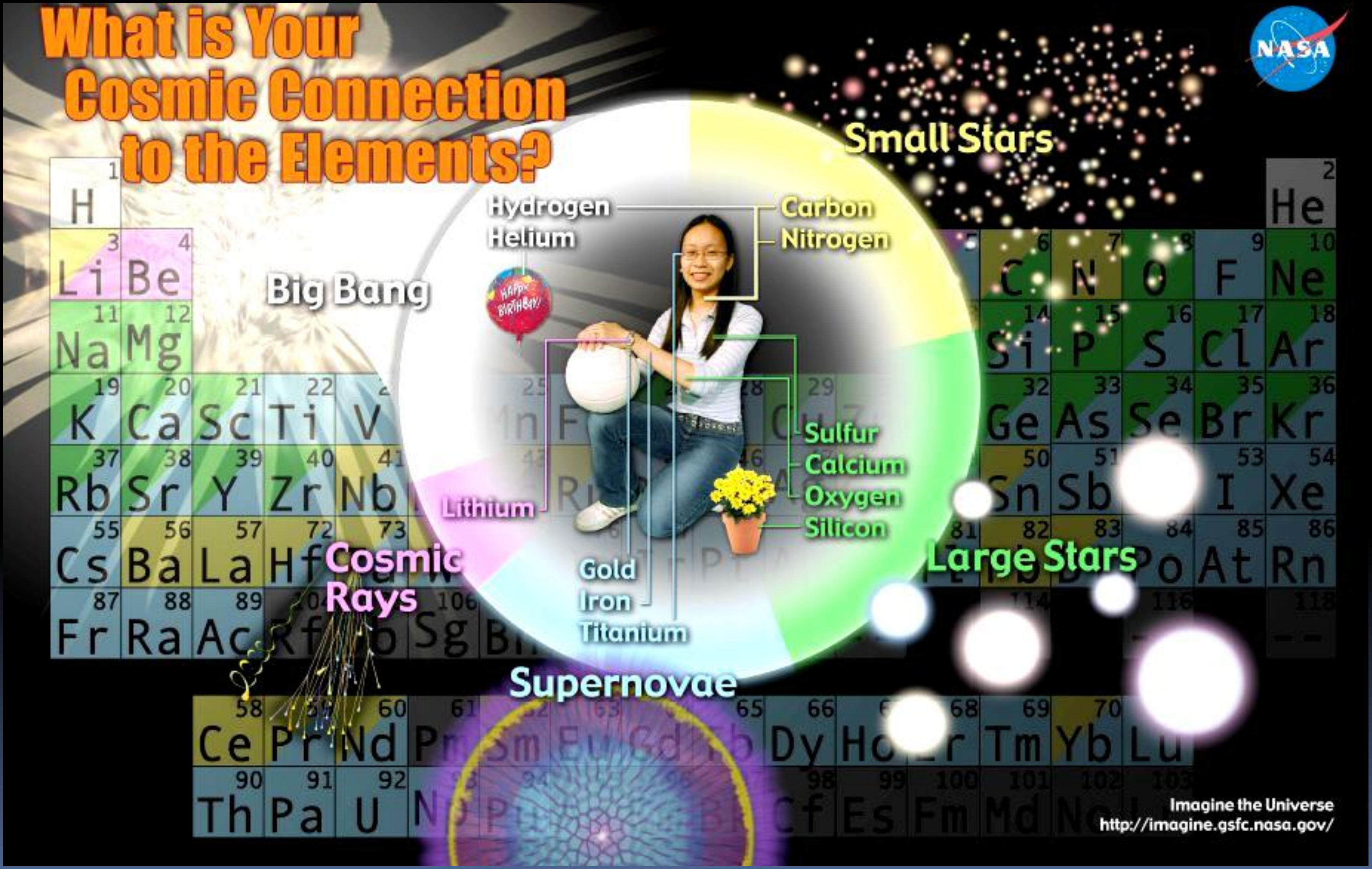
Departamento de Astronomía

Instituto de Física

Facultad de Ciencias

www.astronomia.edu.uy/depto

# Nuestros átomos…


What is Your Cosmic Connection to the Elements?
NASA
Small Stars
Big Bang
Hydrogen
Helium
Carbon
Nitrogen
Sulfur
Calcium
Oxygen
Silicon
Lithium
Gold
Iron
Titanium
Cosmic Rays
Large Stars
Supernovae
Imagine the Universe
http://imagine.gsfc.nasa.gov/

# Épocas del Universo

- Materia-antimateria, partículas y átomos
- Galaxias (básicamente H, He)
- Estrellas (nuevos elementos: C, O, Fe)
- Discos de polvo → Planetas (minerales)
- Evolución química planetaria
- Vida (ADN ?)
- Cerebro, Inteligencia y Cultura

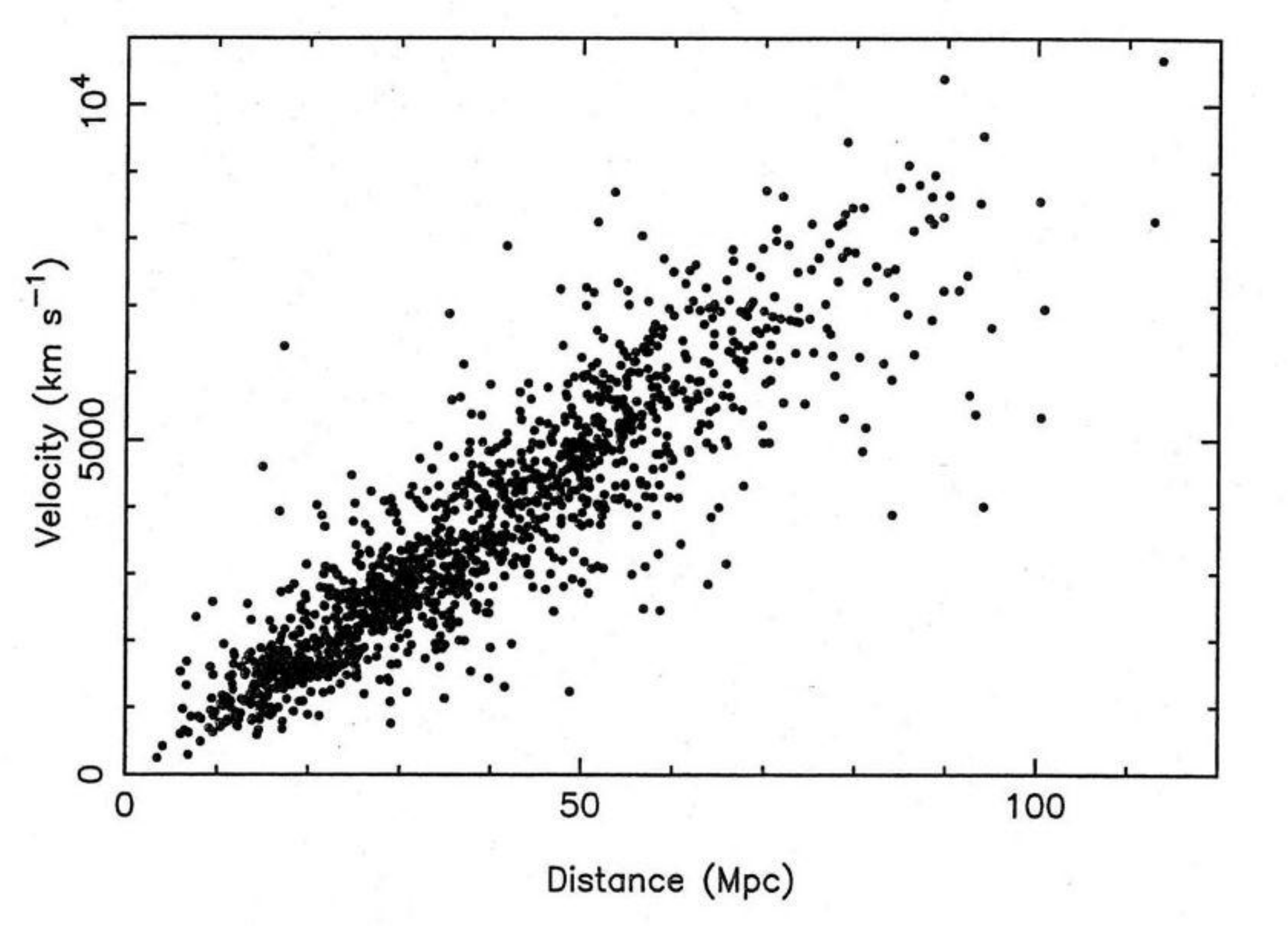
# Telescopio espacial Hubble

# Edwin Hubble

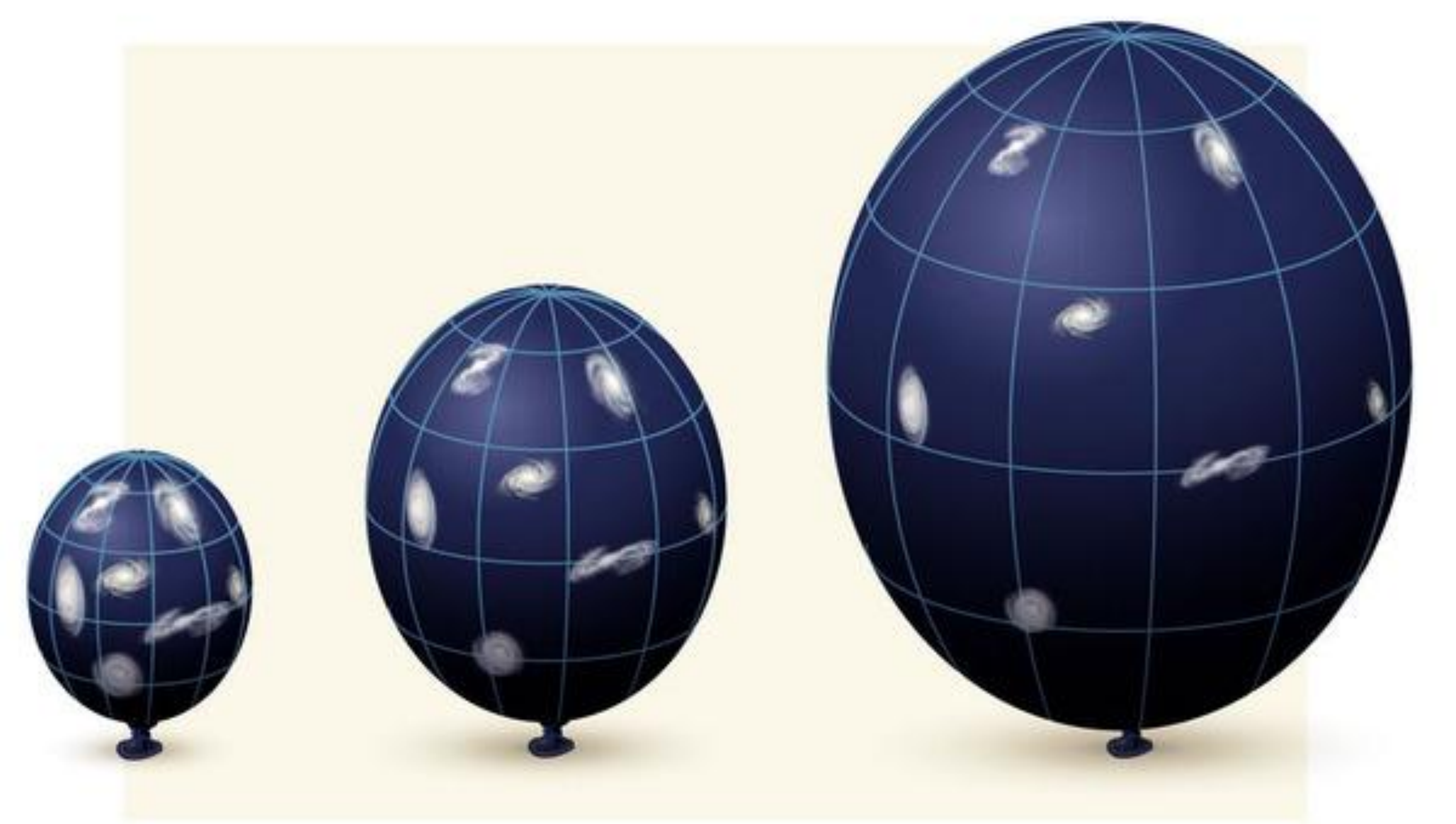
# Galaxias

Diámetro: 100.000 años-luz.
Cientos de miles de millones de estrellas + gas y polvo.

# 1929: Ley de Hubble



# Significado de la Ley de Hubble: EXPANSIÓN

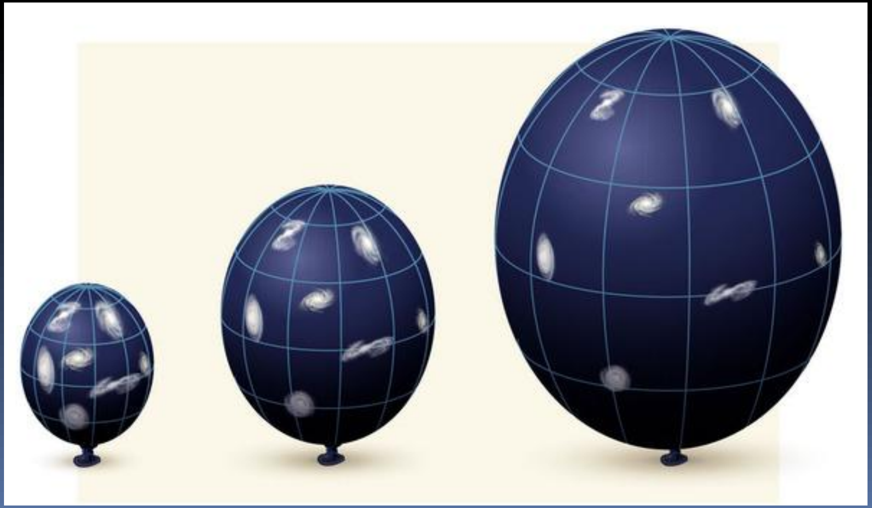


# Si vamos hacia atrás en el tiempo… Big Bang!

- Todo el Universo estaba contenido dentro de un volumen microscópico
- Densidad, temperatura y presión enormes
- La materia no podría existir en forma de átomos
- Instante cero: hace 13.700 millones de años

# Big Bang

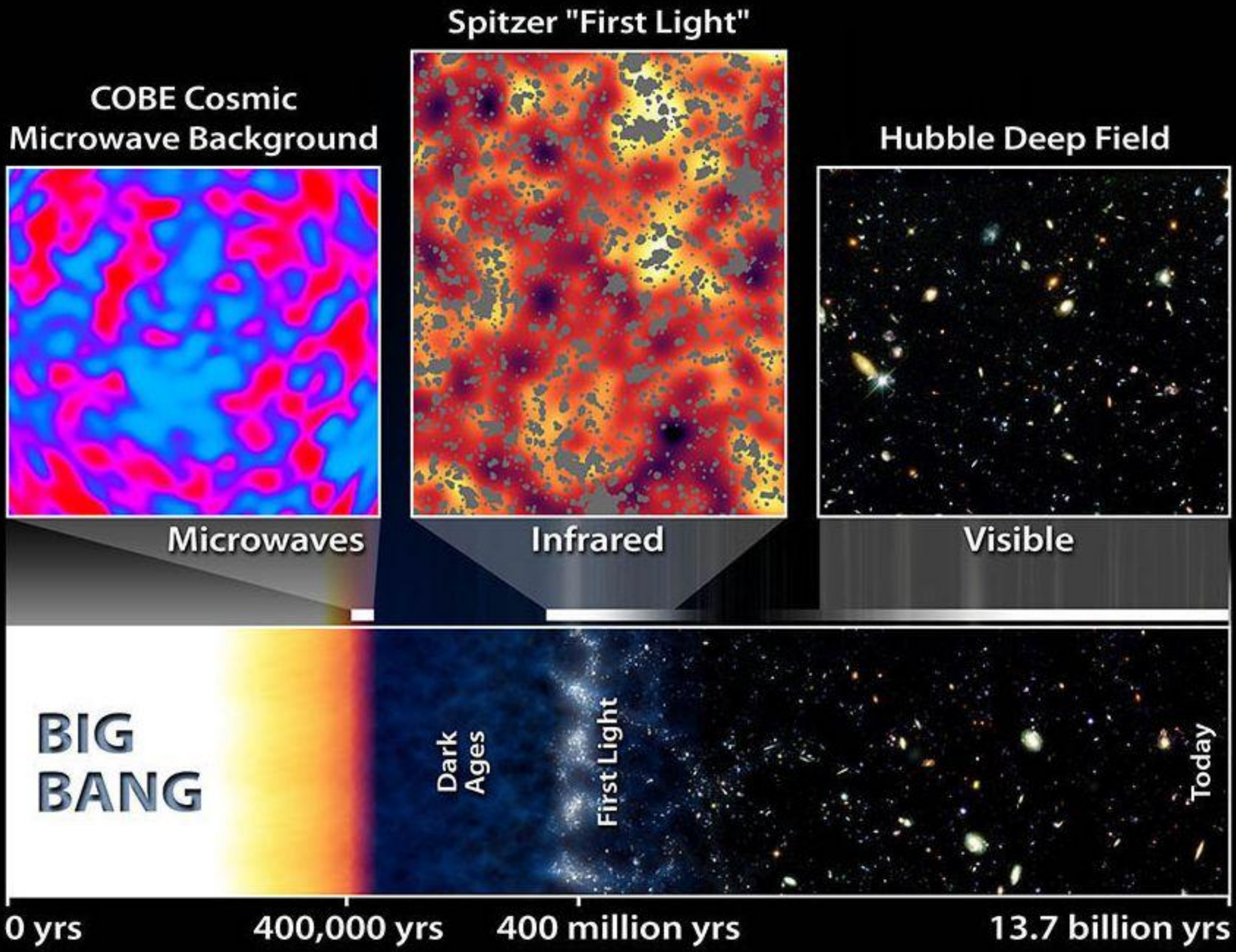
- No es una explosión EN EL espacio sino una expansión violenta DEL espacio
- El espacio se expande entre las galaxias
- La masa de las galaxias evita que el espacio que las contiene se expanda



# Observando el pasado

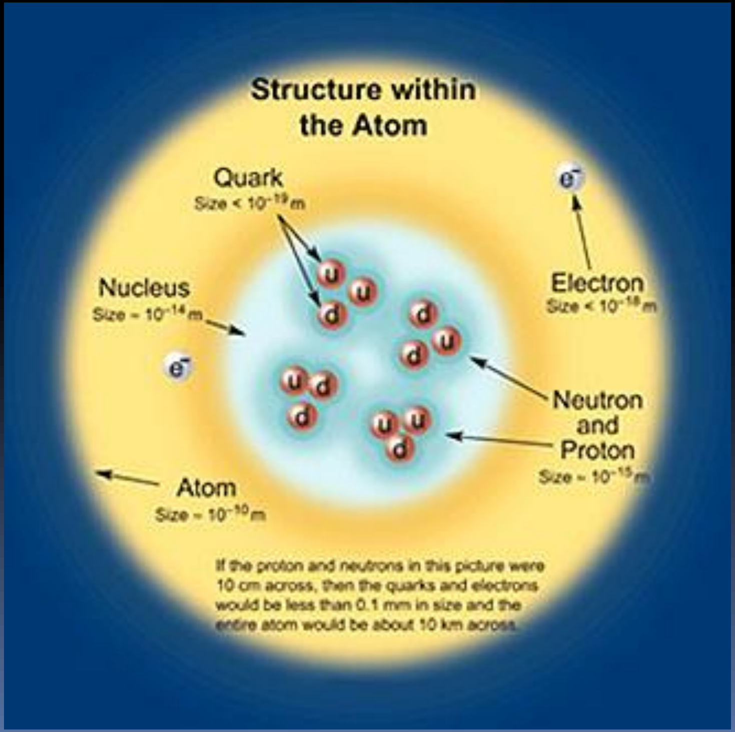
Antigüedad: 2 millones de años

Miles de millones de años

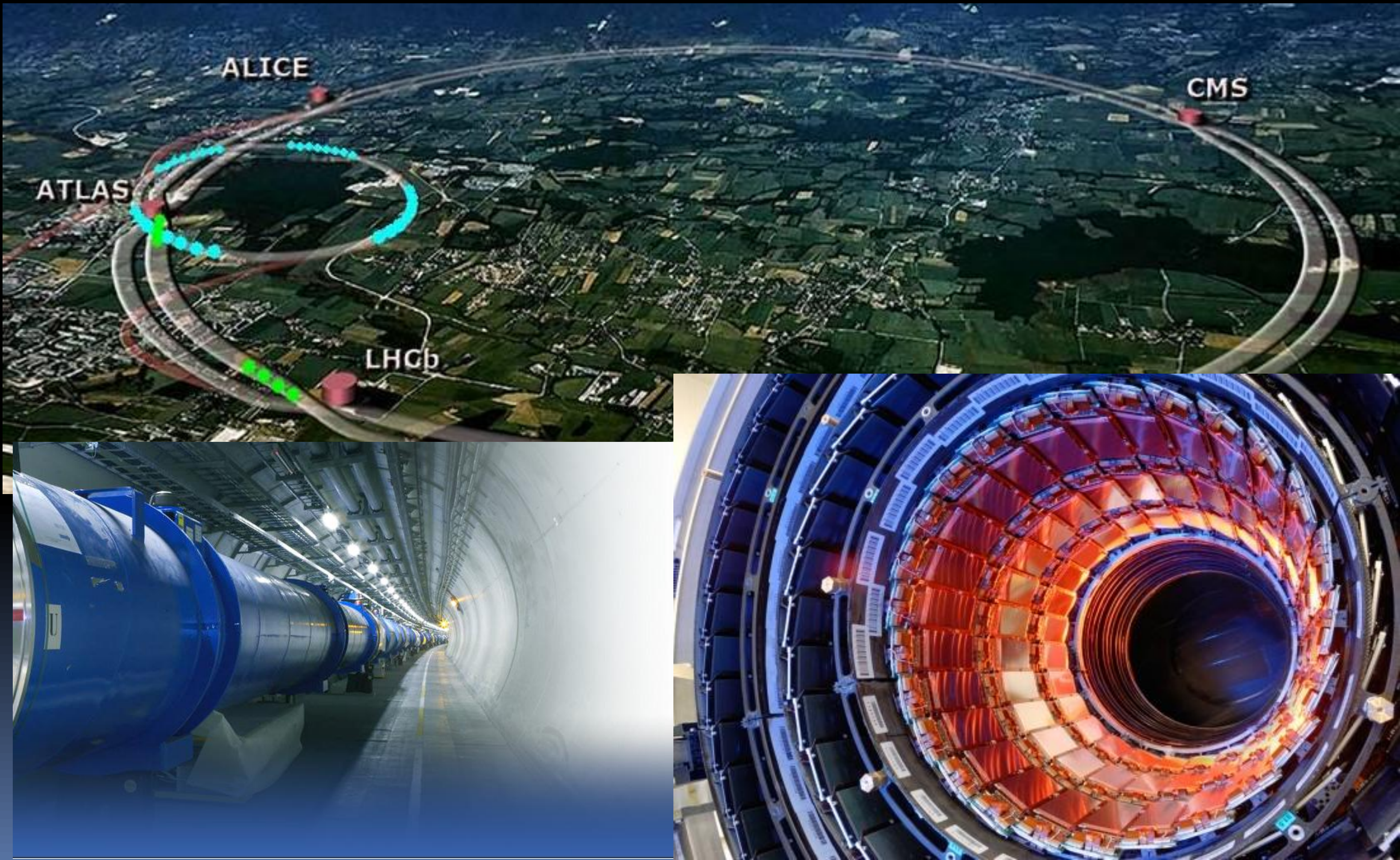

COBE Cosmic Microwave Background
Spitzer "First Light"
Hubble Deep Field
Microwaves
Infrared
Visible
BIG BANG
Dark Ages
First Light
Today
0 yrs
400,000 yrs
400 million yrs
13.7 billion yrs

# Primeros 3 minutos del Universo

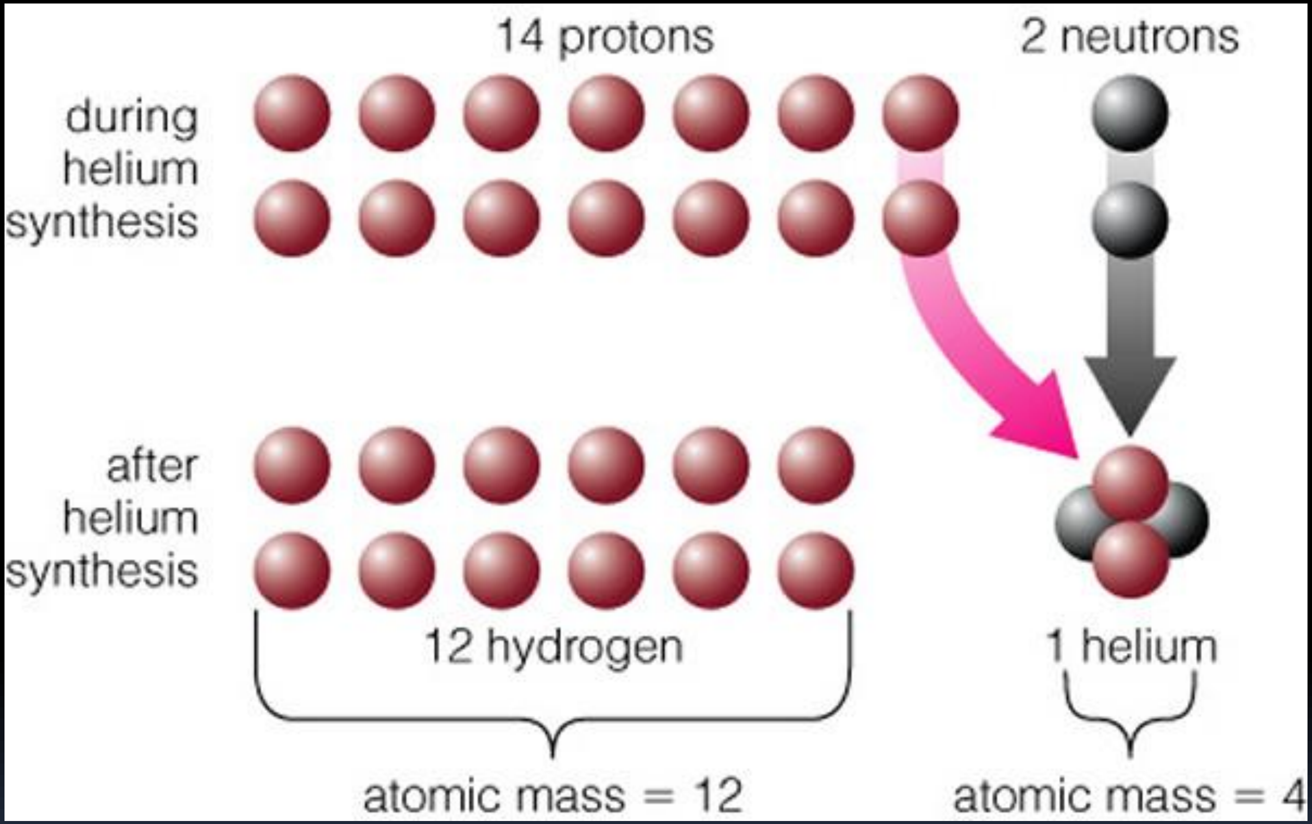
- Energía ←→ materia + antimateria
- “Sopa” de quarks y electrones
- Quarks → protones y neutrones
- Núcleos de H y He


Structure within the Atom
Quark
Size < $10^{-19}$ m
e$^-$
Nucleus
Size ~ $10^{-14}$ m
Electron
Size < $10^{-18}$ m
u
u
d
d
u
d
u
d
d
u
u
d
e$^-$
Neutron and Proton
Size ~ $10^{-15}$ m
Atom
Size ~ $10^{-10}$ m
If the proton and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 0.1 mm in size and the entire atom would be about 10 km across.

# Probando la teoría: LHC


ALICE
CMS
ATLAS
LHCb

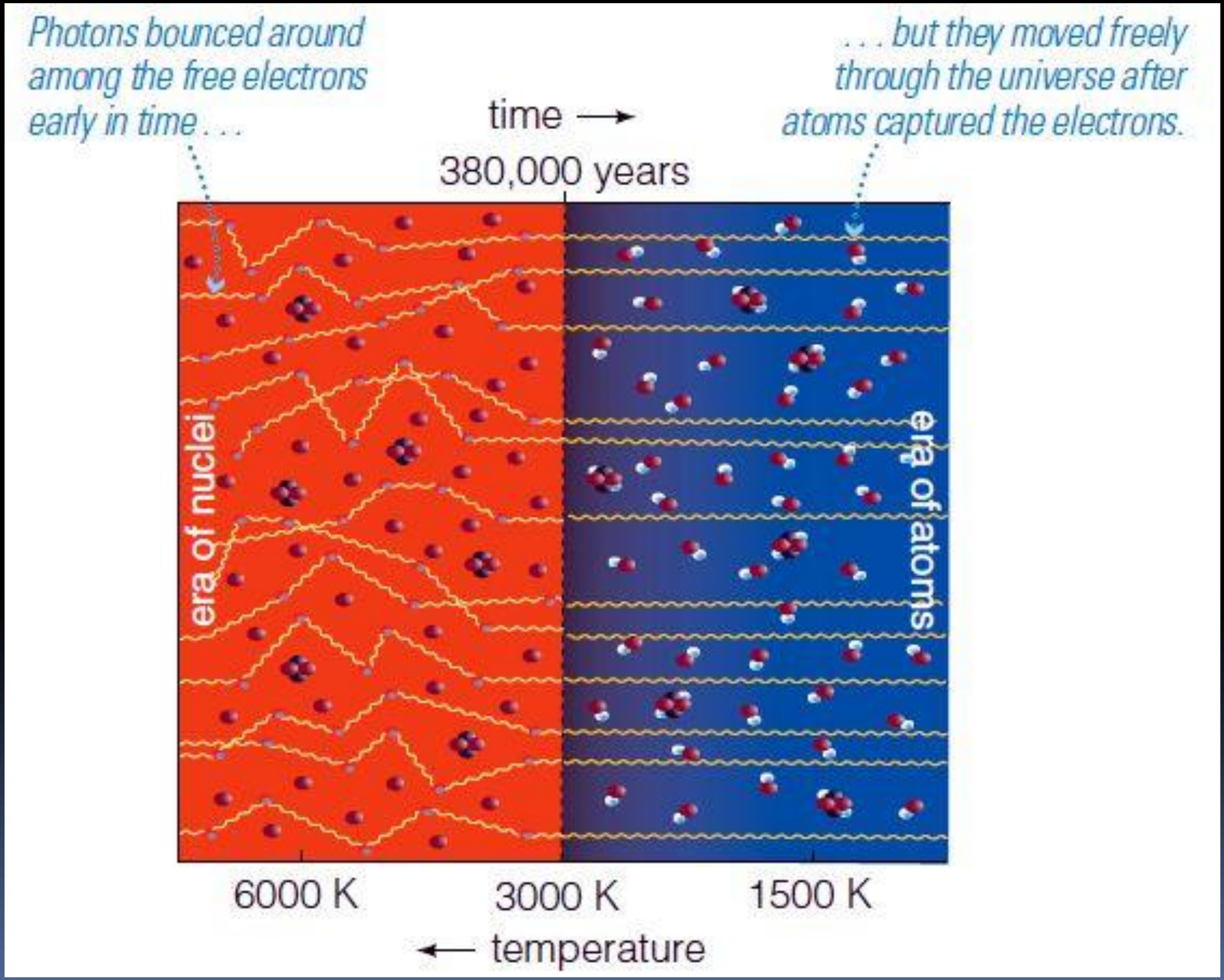
# Hidrógeno y Helio


14 protons
2 neutrons
during helium synthesis
after helium synthesis
12 hydrogen
1 helium
atomic mass = 12
atomic mass = 4

Predicción: 75% H + 25% He

# Núcleos → átomos

Universo opaco



*Photons bounced around among the free electrons early in time . . .*

*. . . but they moved freely through the universe after atoms captured the electrons.*

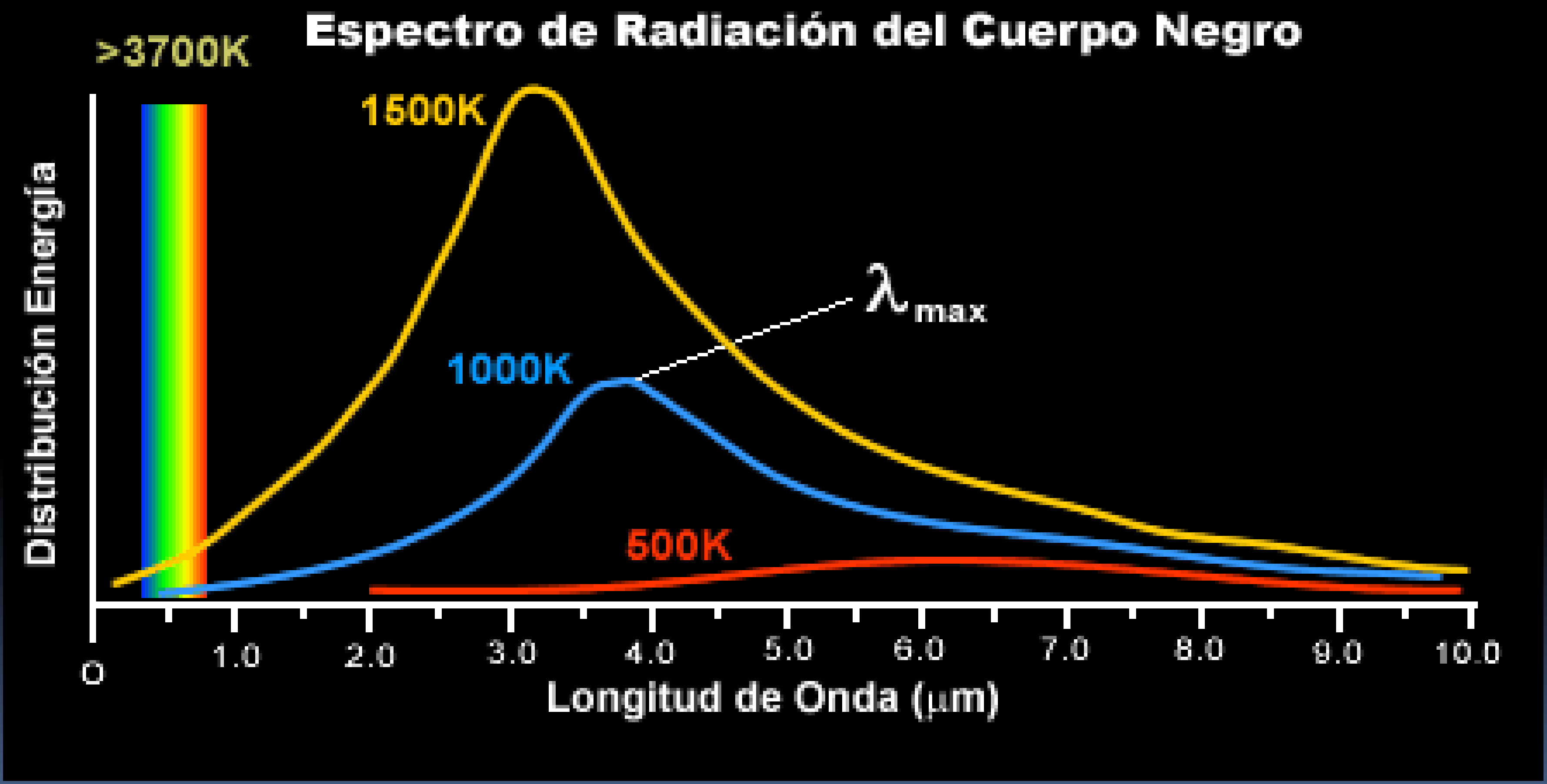
time →
380,000 years
era of nuclei
era of atoms
6000 K
3000 K
1500 K
← temperature

Universo transparente

# Radiación Cósmica de Fondo

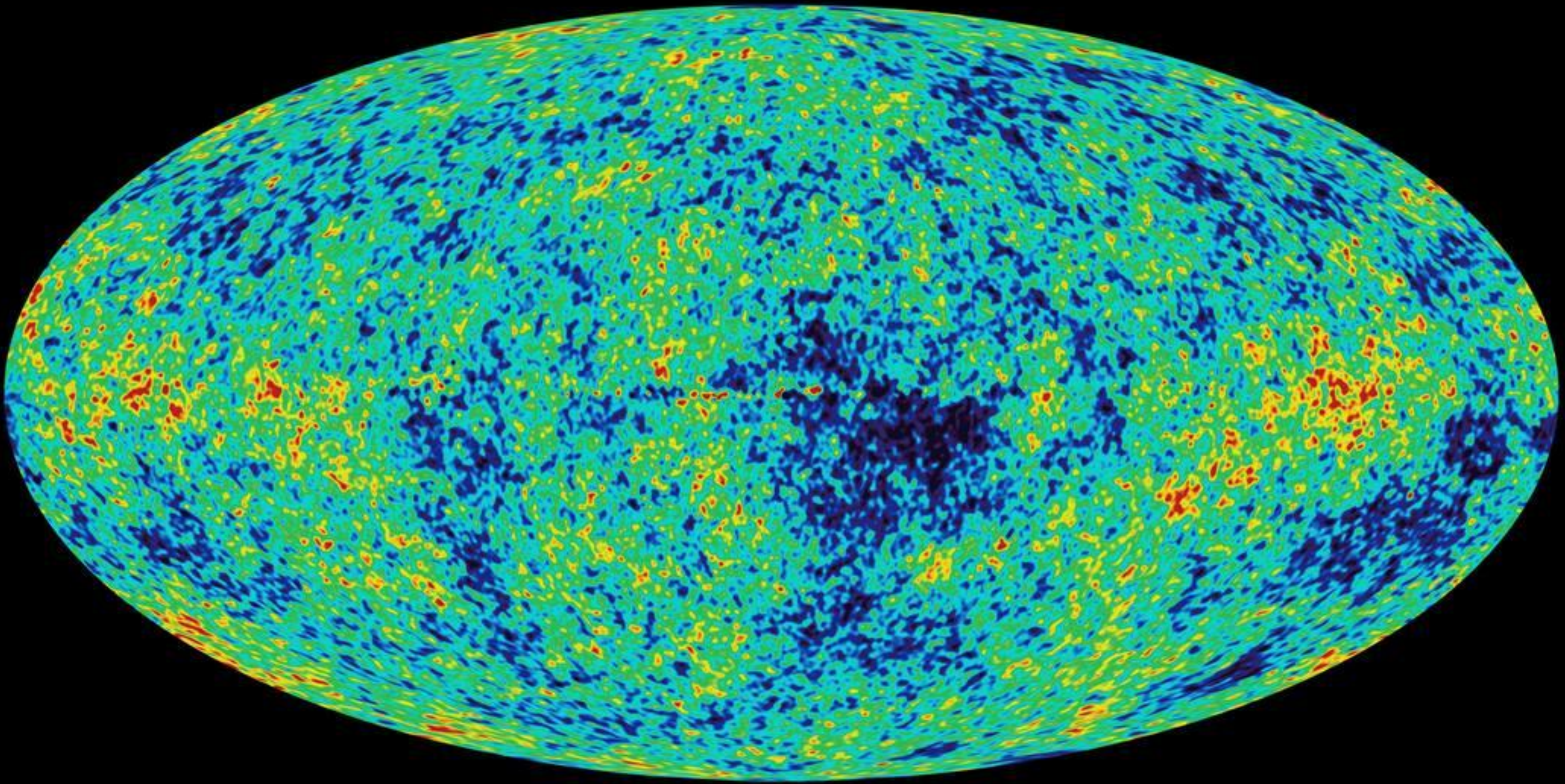
- Es la estructura más lejana y primitiva que podemos observar
- Es una imagen del universo a los 380.000 años de edad y a T=3000 K
- Como desde entonces el universo ha continuado expandiéndose la temperatura observada de esa radiación debería ser T=3 K

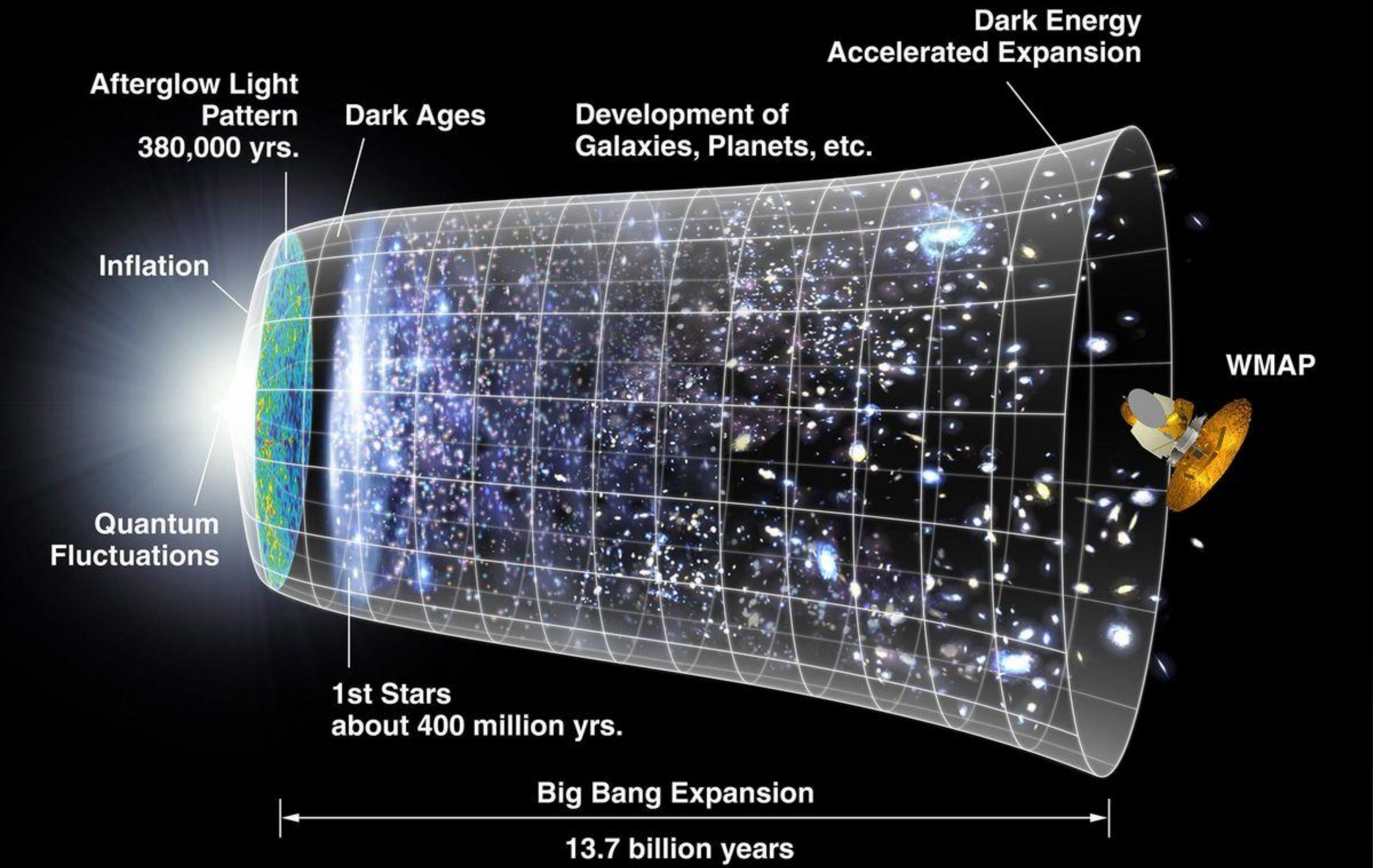
# Espectro de radiación



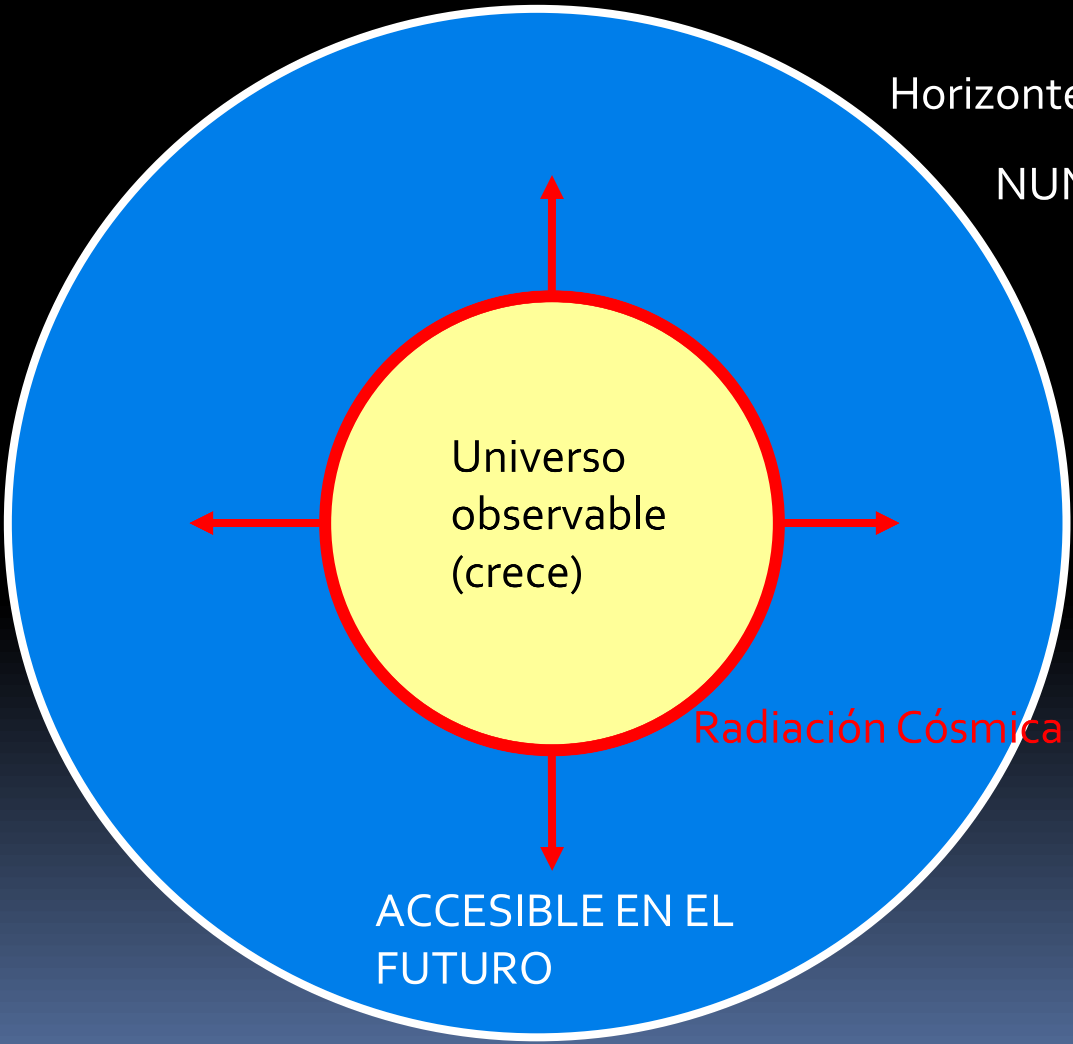
# Penzias y Wilson: 1965

# Radiación Cósmica de Fondo




Afterglow Light Pattern 380,000 yrs.
Dark Ages
Development of Galaxies, Planets, etc.
Dark Energy Accelerated Expansion
Inflation
WMAP
Quantum Fluctuations
1st Stars about 400 million yrs.
Big Bang Expansion
13.7 billion years

# Horizontes



Horizonte v=c (fijo)

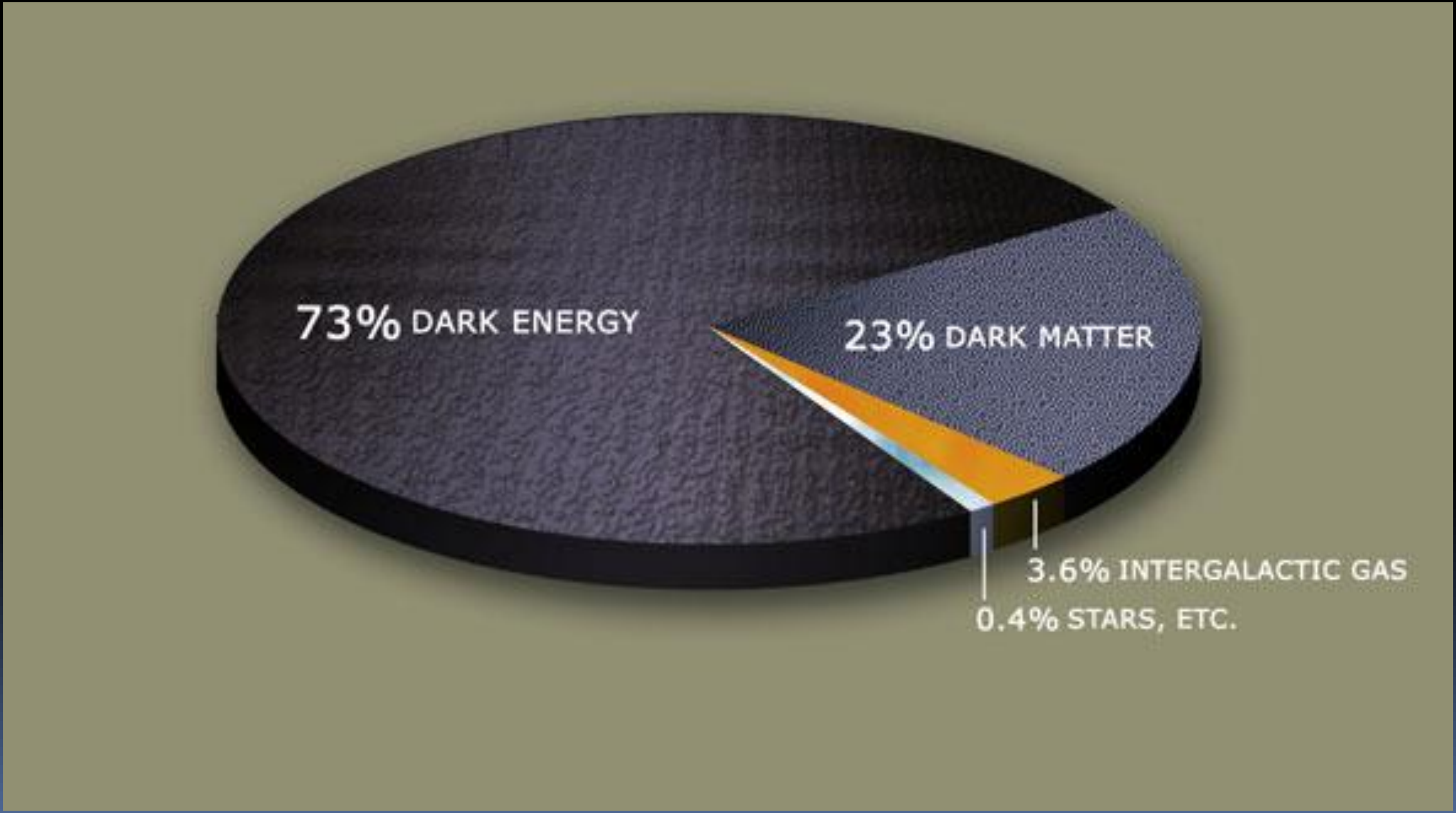
NUNCA ACCESIBLE

Universo observable (crece)

Radiación Cósmica

ACCESIBLE EN EL FUTURO

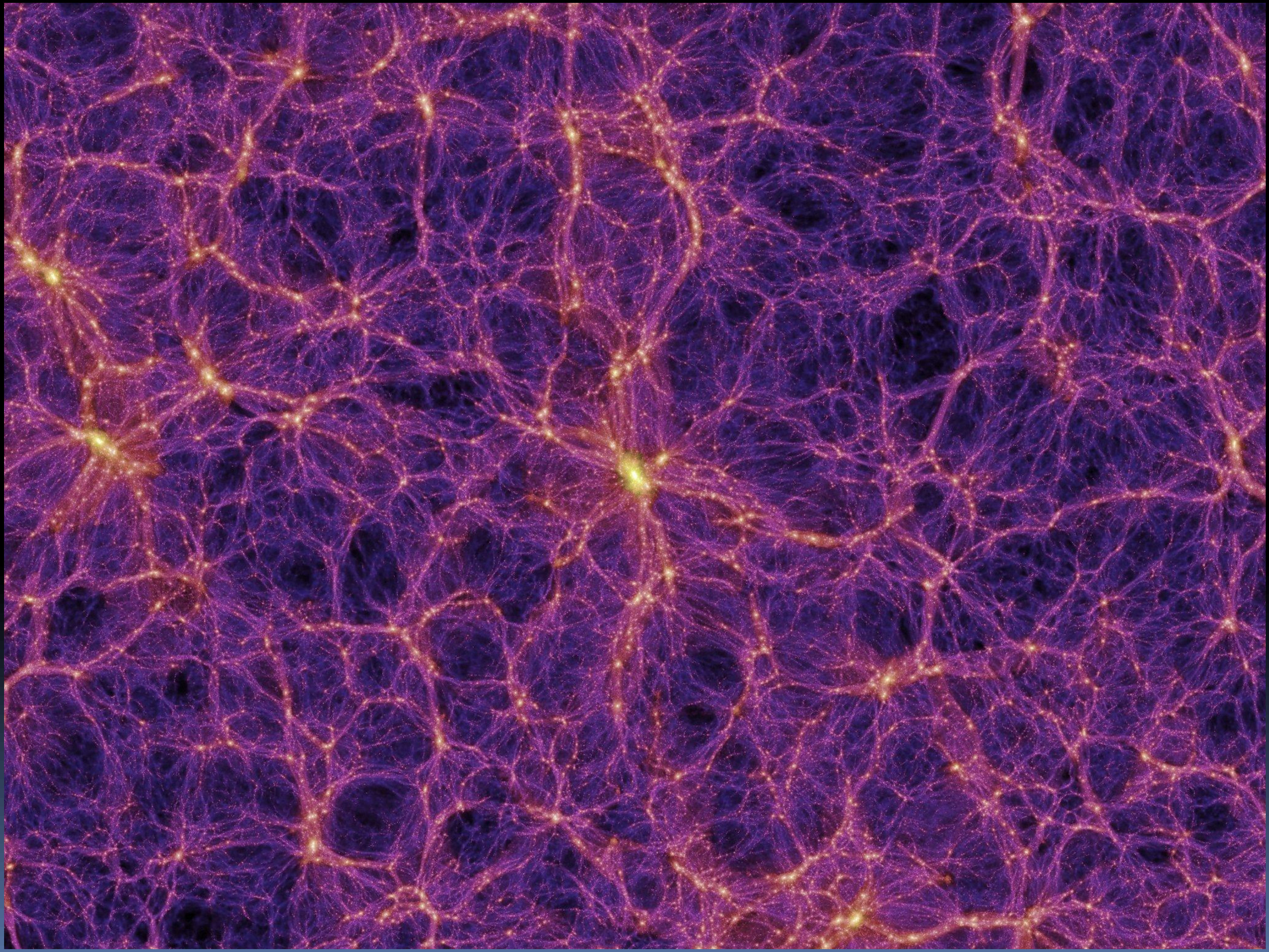
# Constitución del Universo



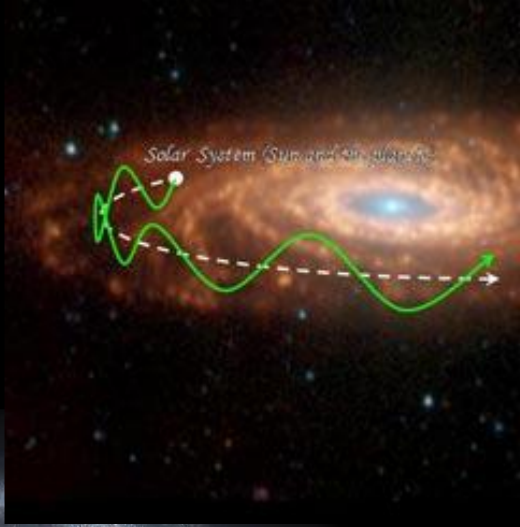
# Universo

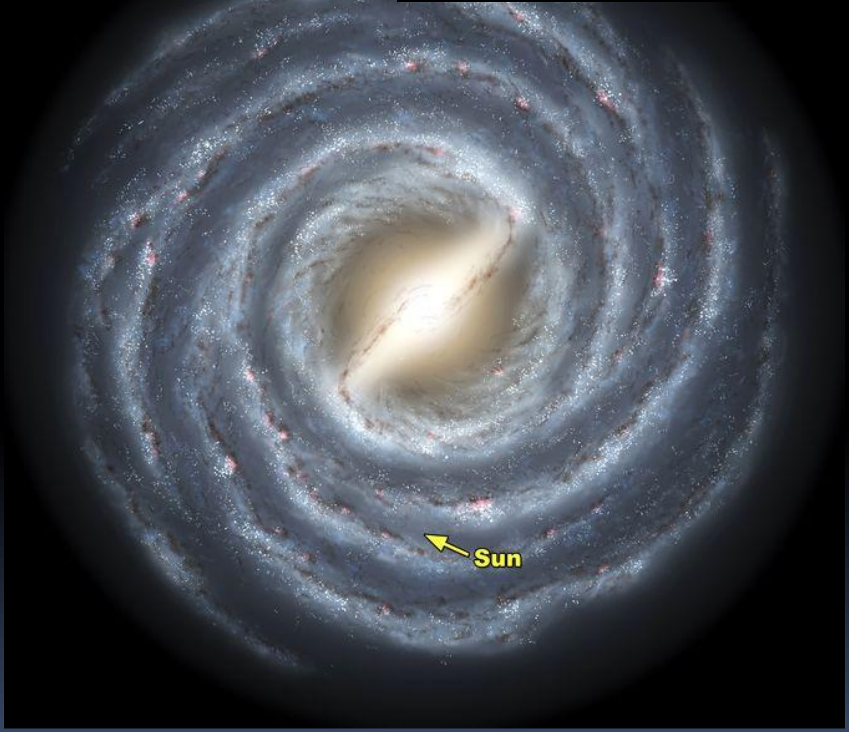
100.000 millones de galaxias

# Estructura en gran escala

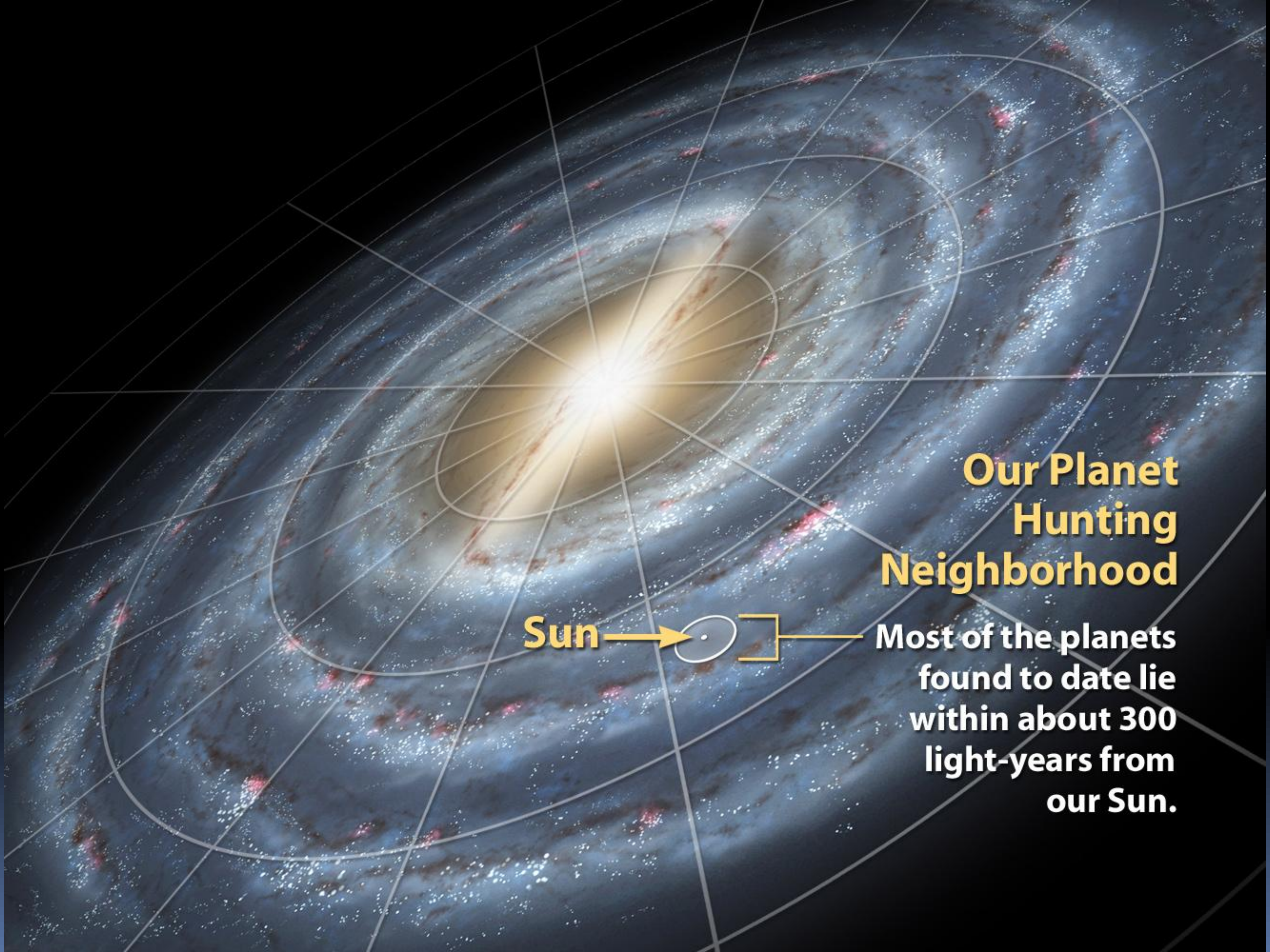


# Nuestra galaxia


Solar System (Sun and its planets)



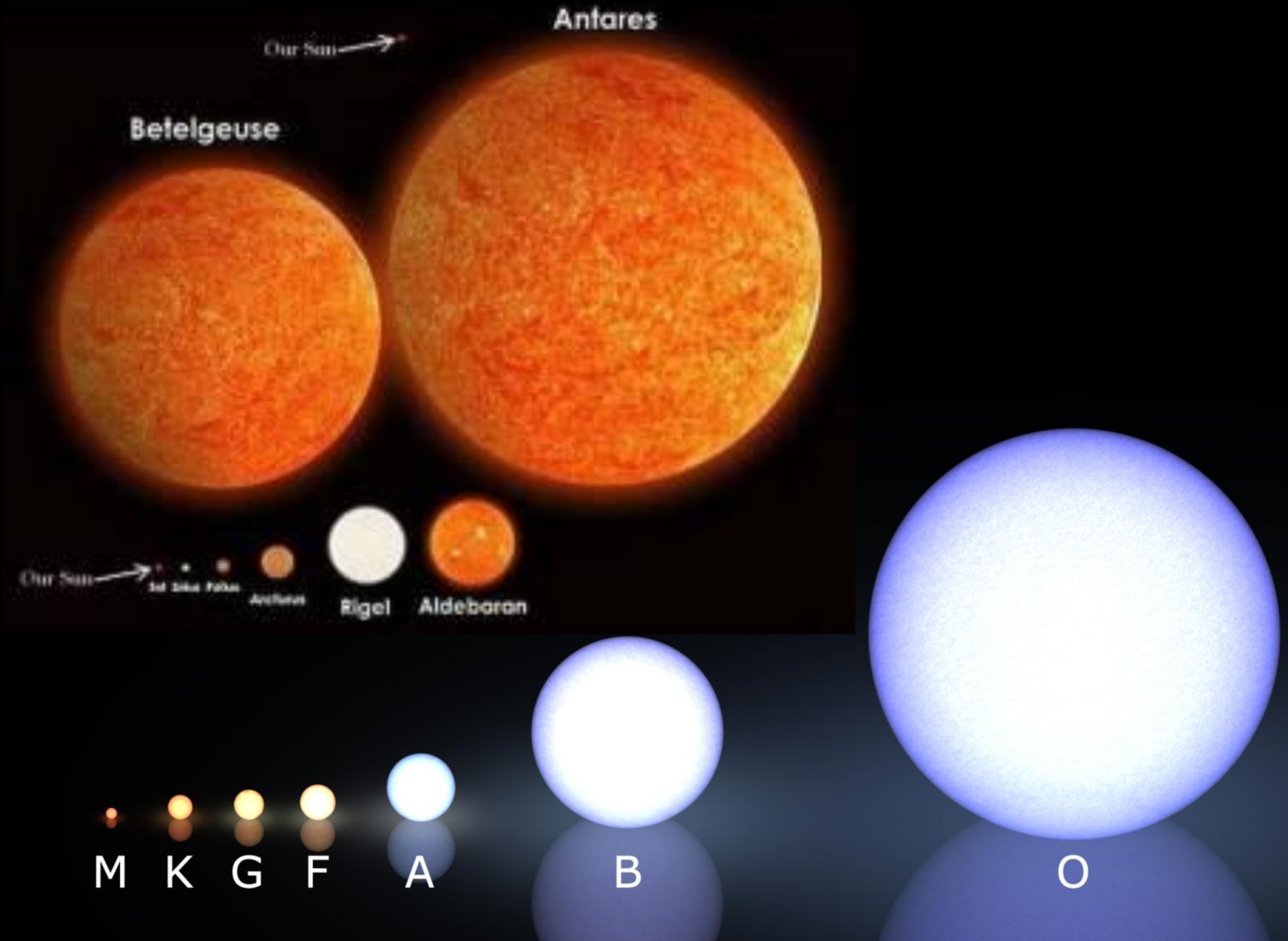
300.000 millones de estrellas



# Our Planet Hunting Neighborhood

Most of the planets found to date lie within about 300 light-years from our Sun.

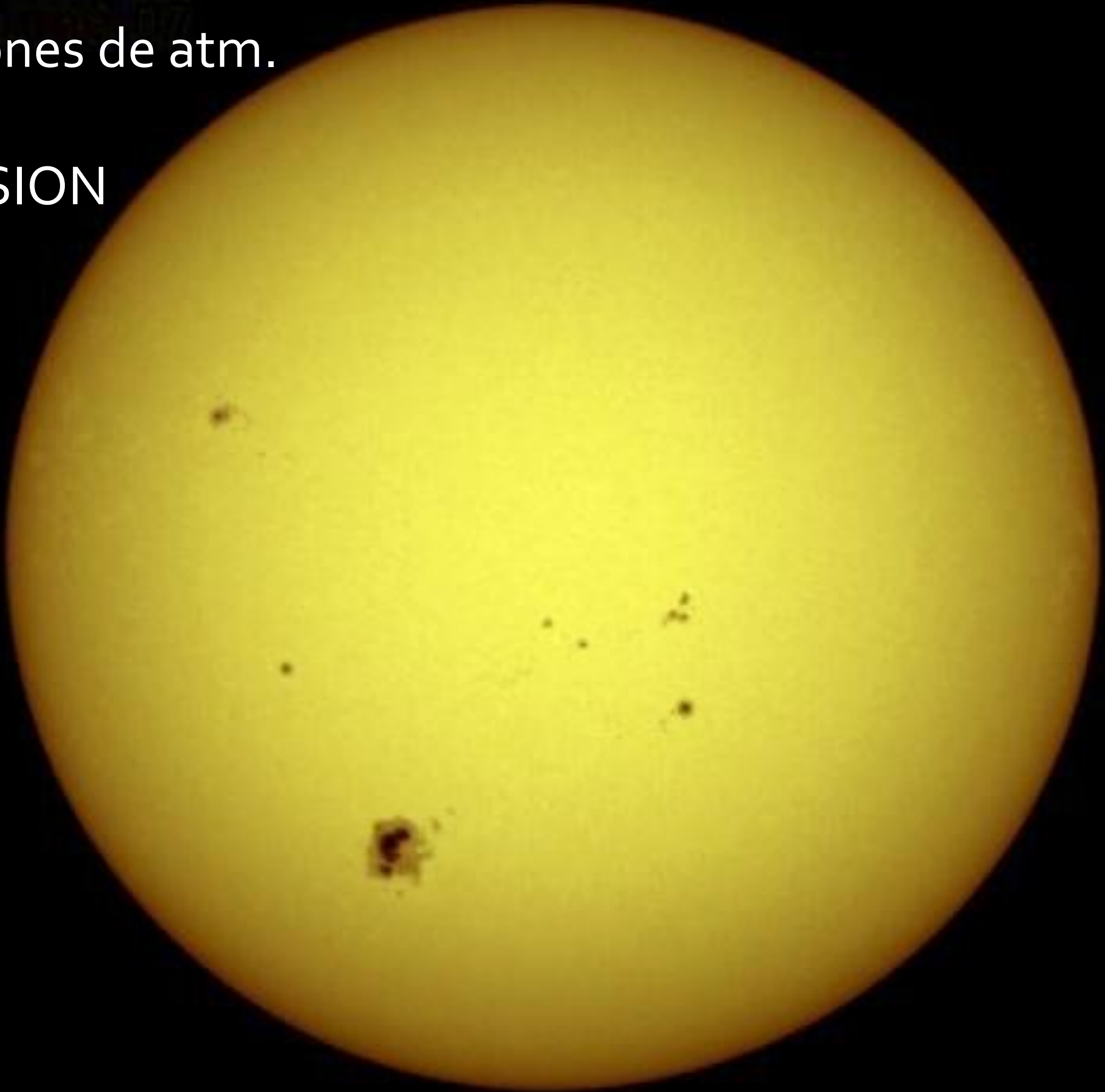
# Tamaños estelares


Our Sun
Antares
Betelgeuse
Our Sun
Rigel
Aldebaran
M
K
G
F
A
B
O

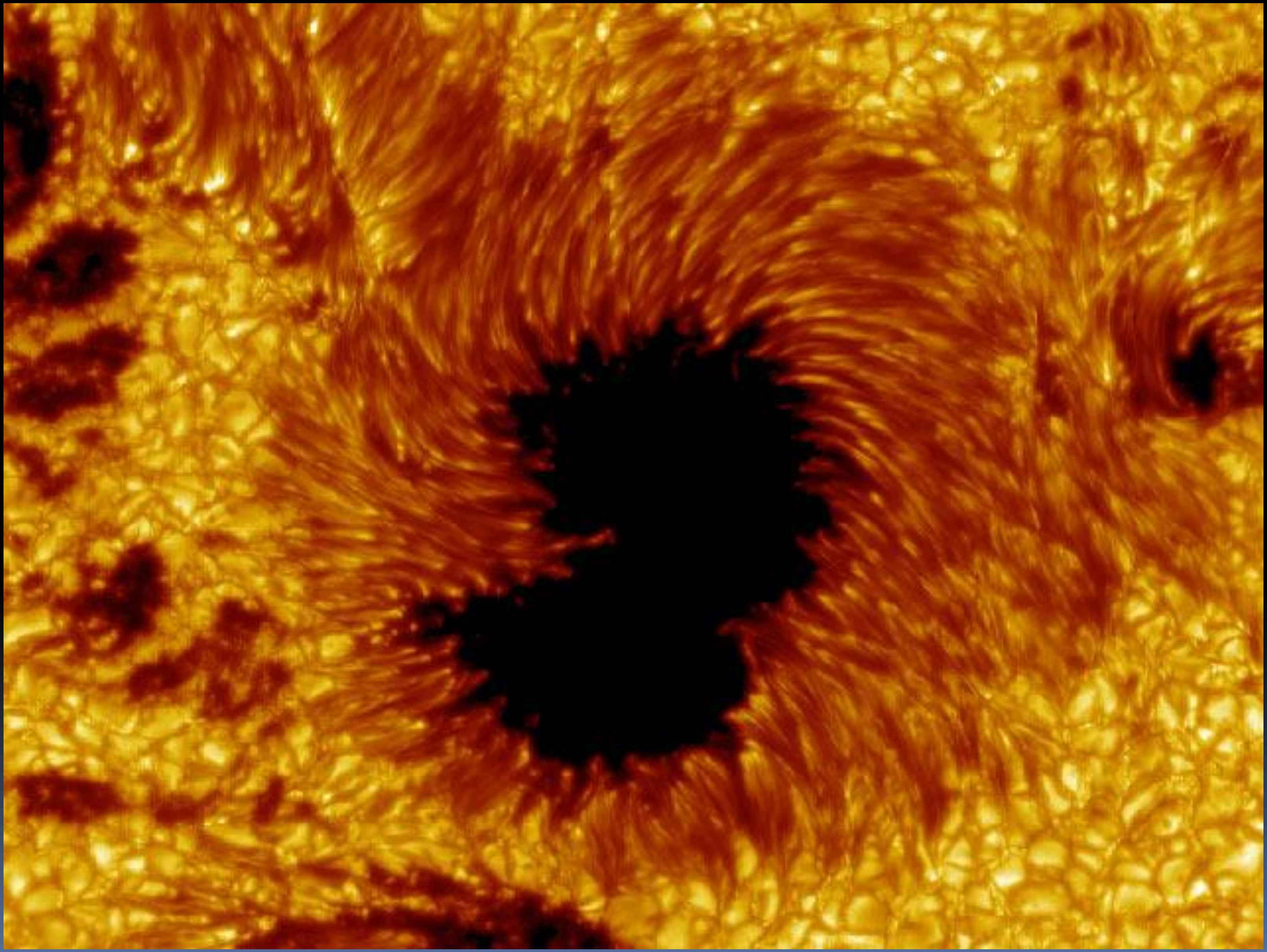
Temperatura sup = 5800 K
Temperatura int = 14.000.000 K
Presión = 250.000 millones de atm.

Equilibrio PESO – PRESION

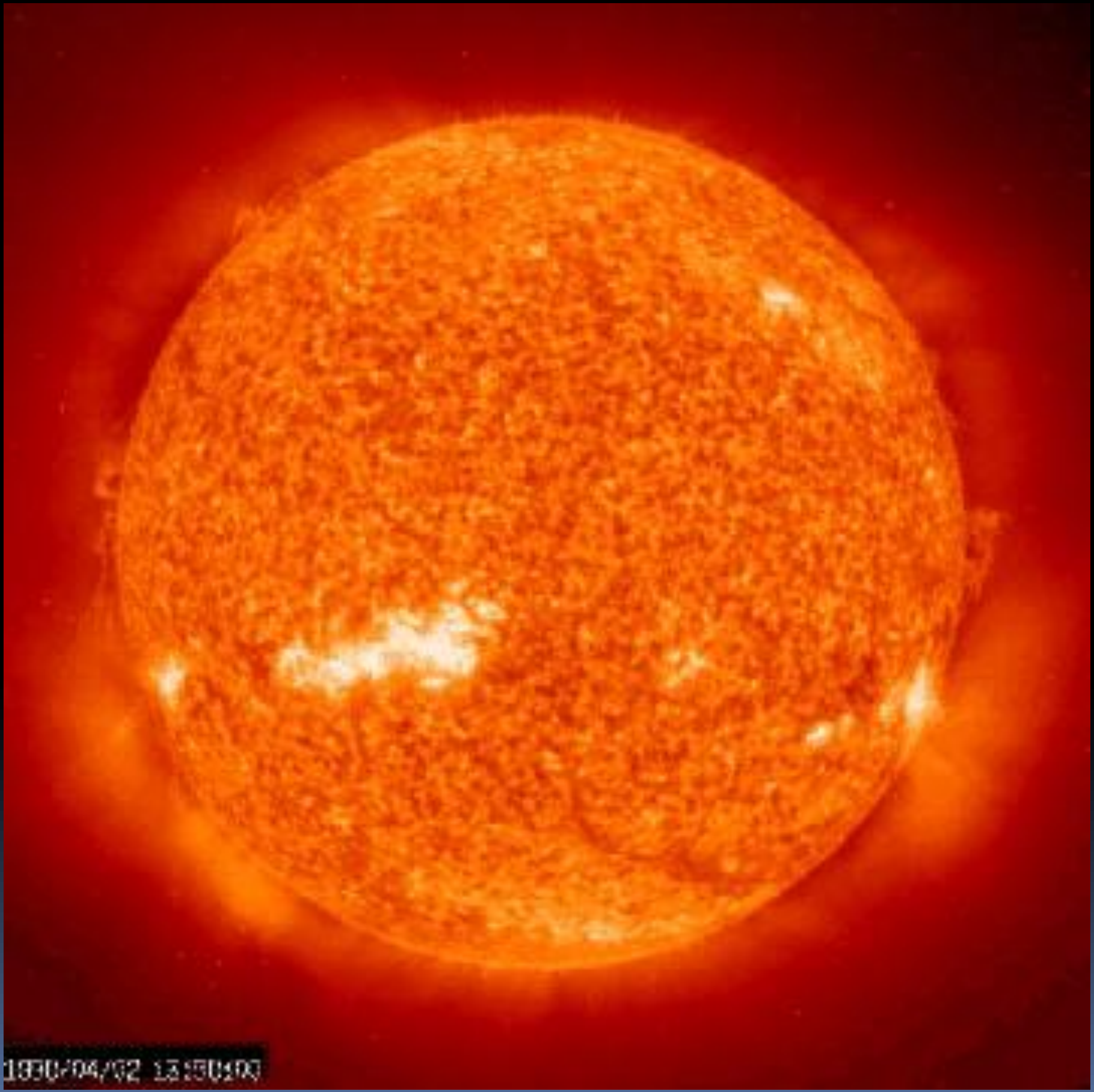
Fuente de fotones,
viento solar y gravedad



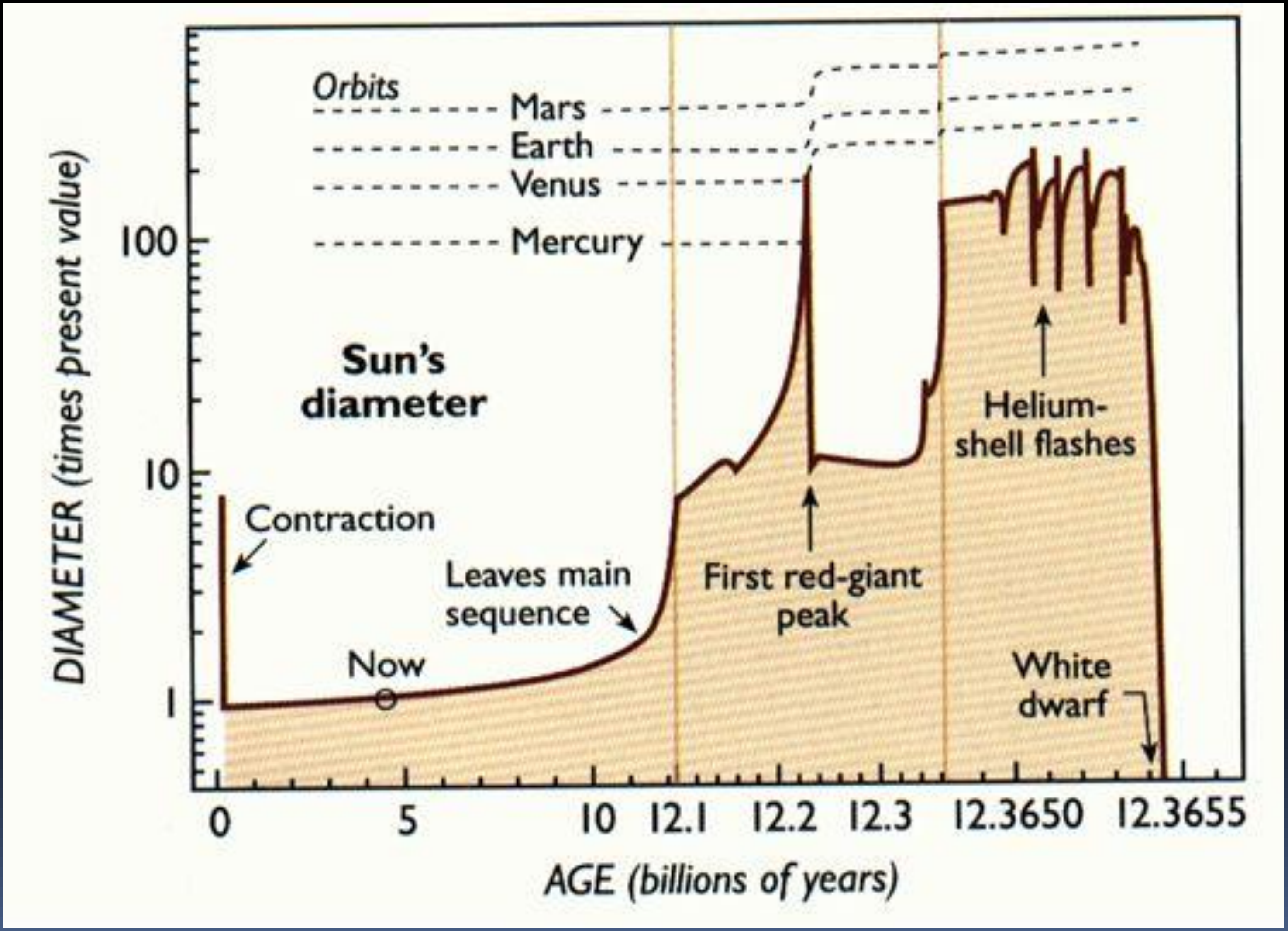
# Campos magnéticos intensos



# Estrellas: reactores de fusión

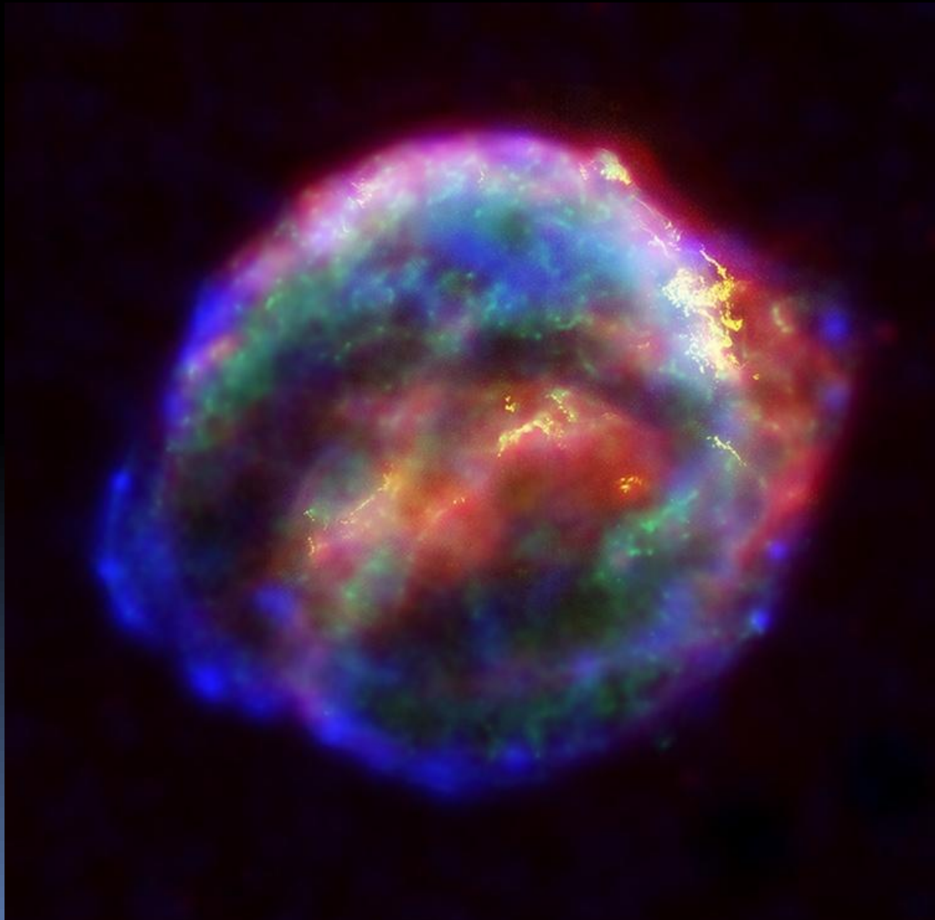

1999/04/02 13:50:00

# Futuro del Sol

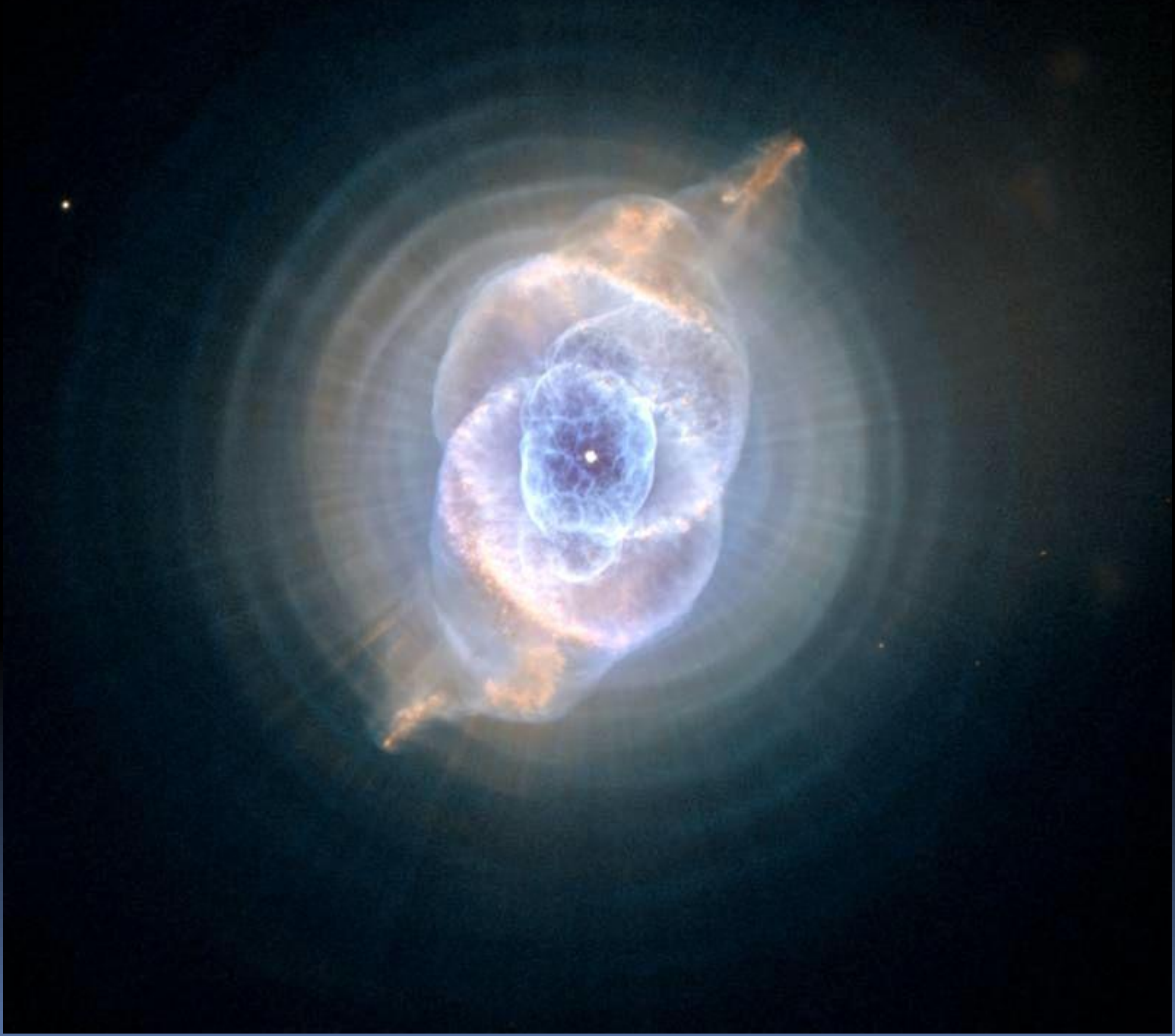


# Formación de elementos

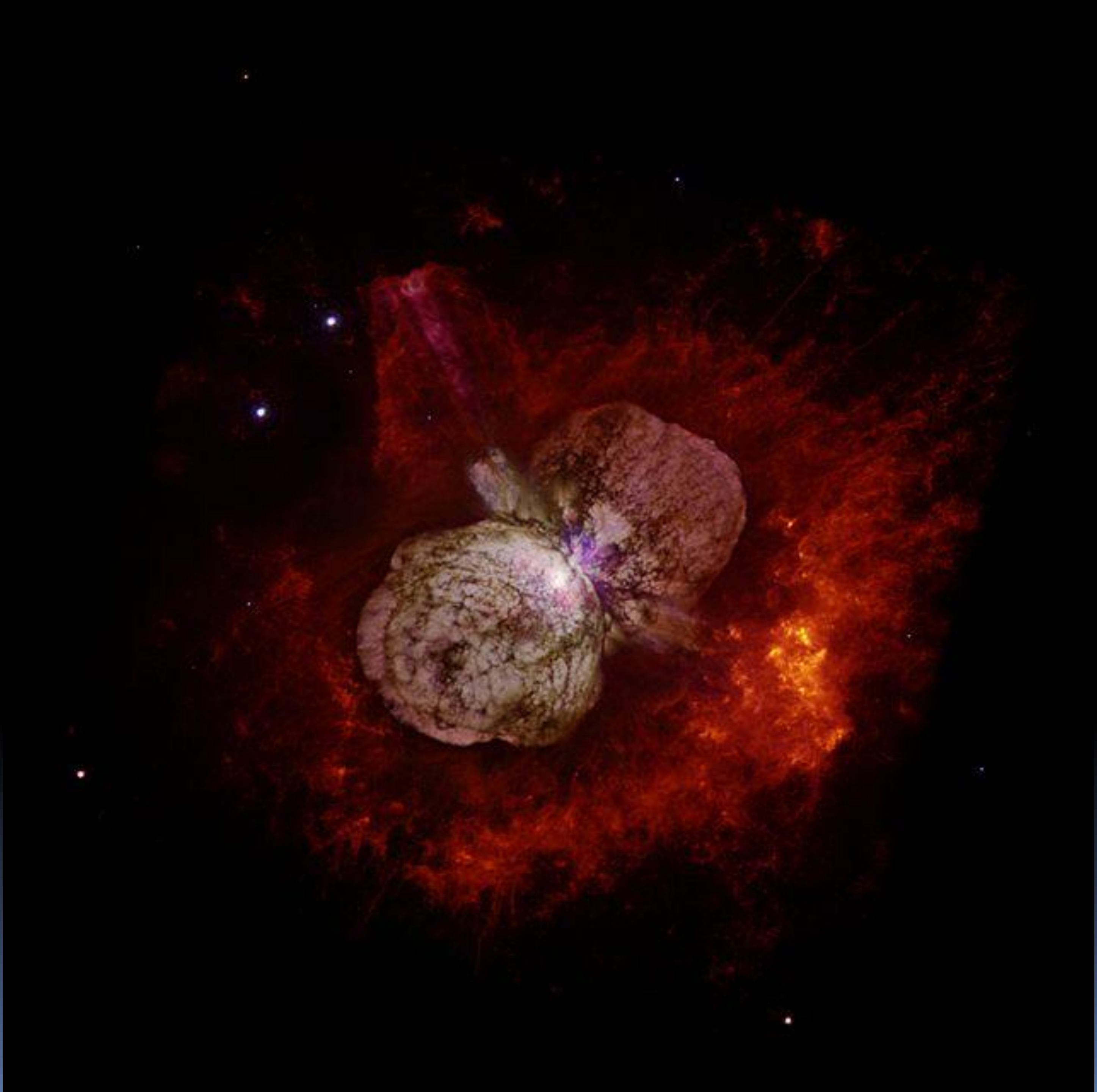
- Núcleo estrella: H → He → C → O → Fe
- Explosión supernova: demás elementos de la tabla



# Muerte estelar



www.hubblesite.org



# Medio interestelar enriquecido con “polvo” de estrellas.

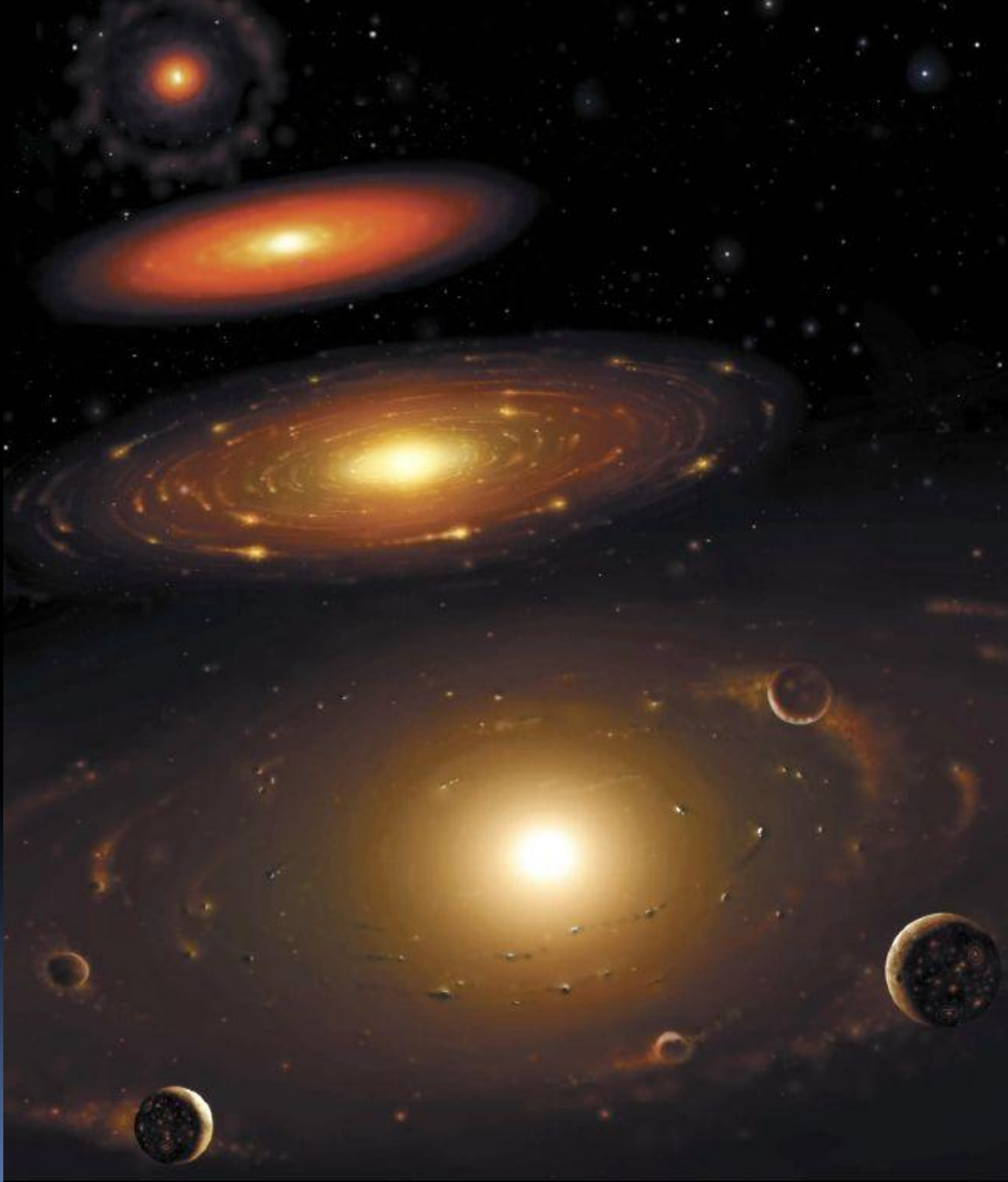
# Principales elementos en el polvo: CHON

# Formación estelar

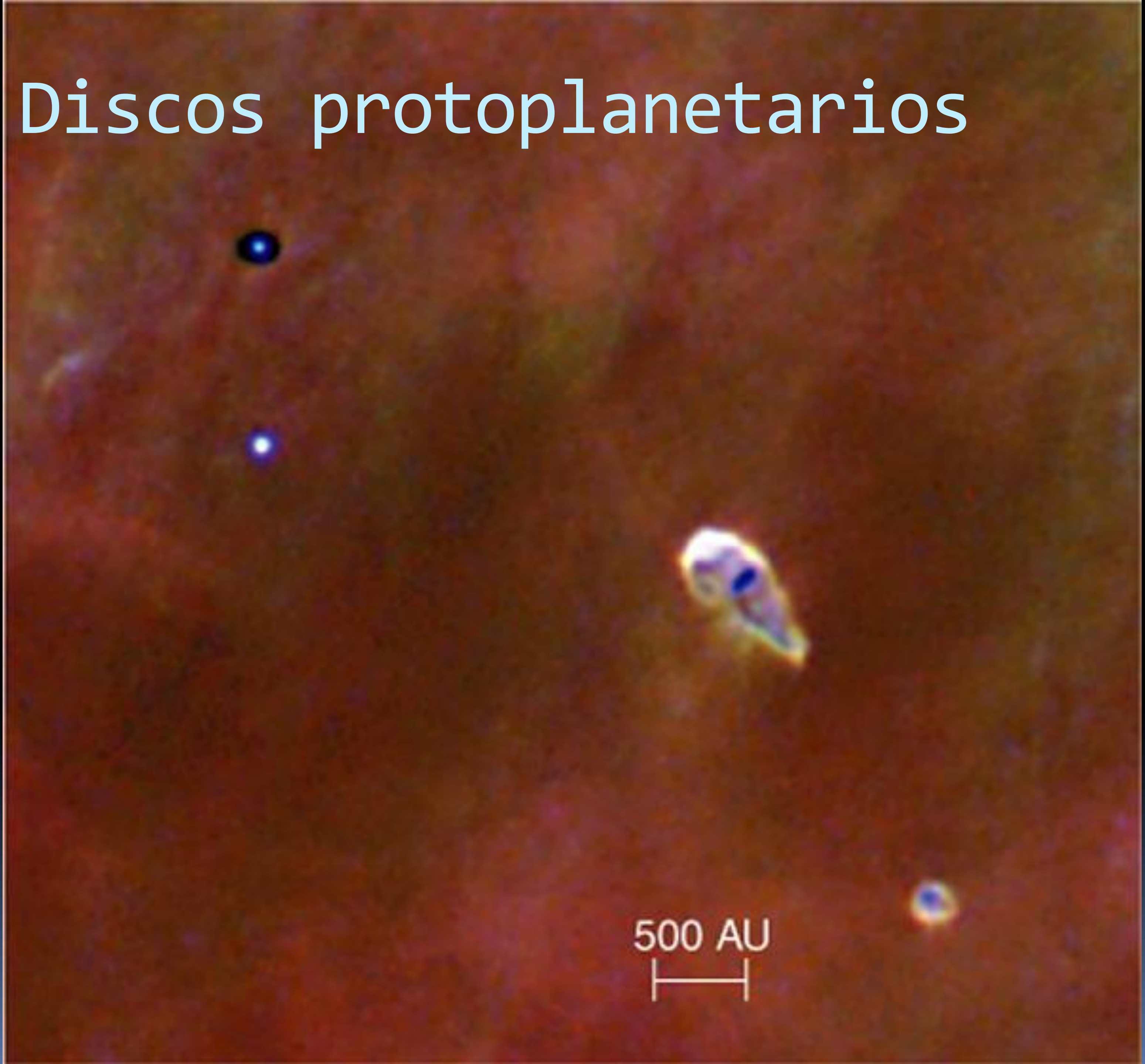
# Formación del Sistema Solar

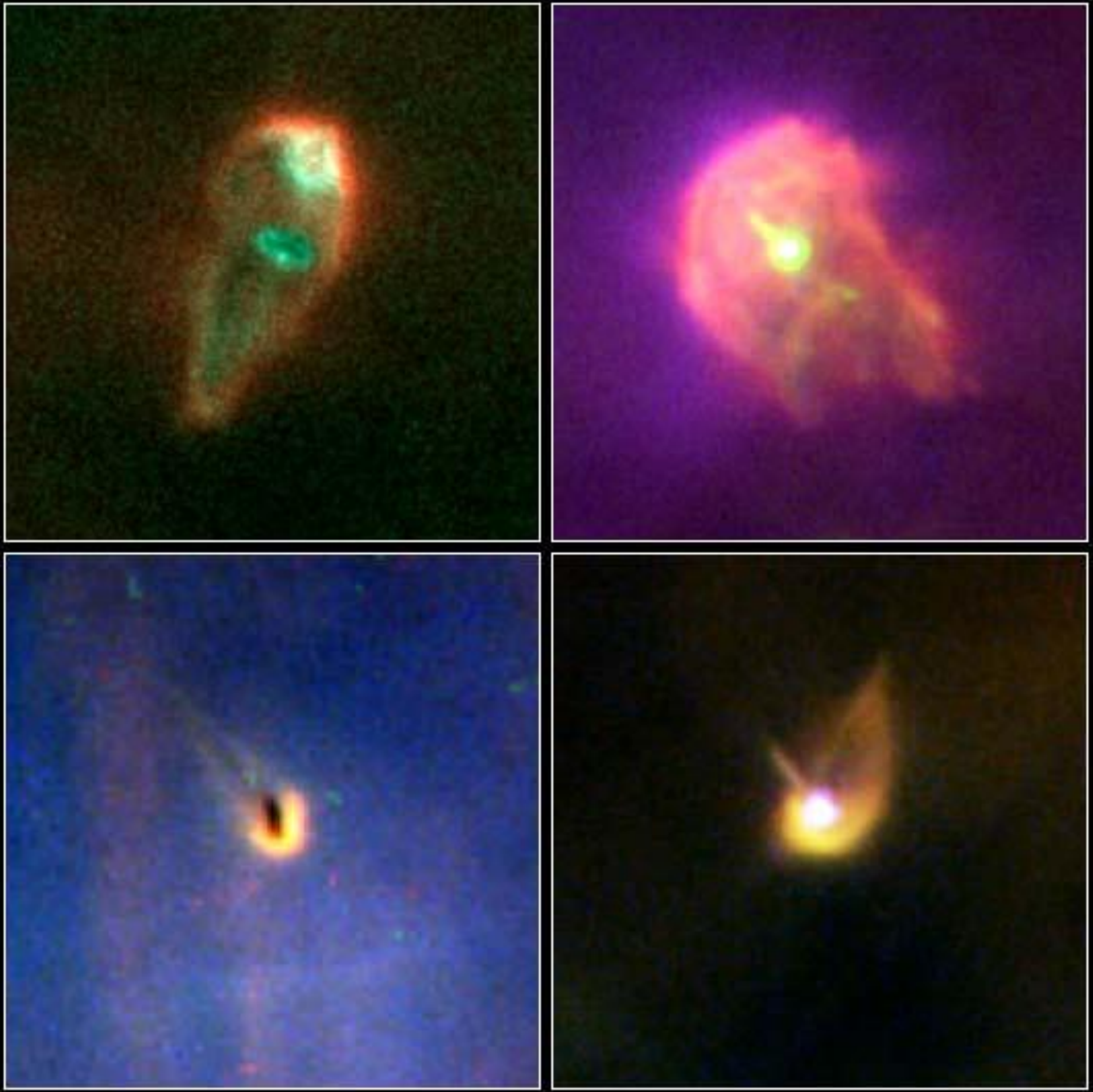
- Hace 4700 millones de años
- Nube de gas (H + He) y polvo (restos estelares) que se contrae por gravitación
- Se transforma en un disco por rotación
- Se forma el Sol en el centro
- El disco se enfría y aparecen primeros sólidos
- Se inicia la química del disco: primeros minerales
- Formación de planetas en disco de polvo

# Formación del Sistema Solar



# Discos protoplanetarios

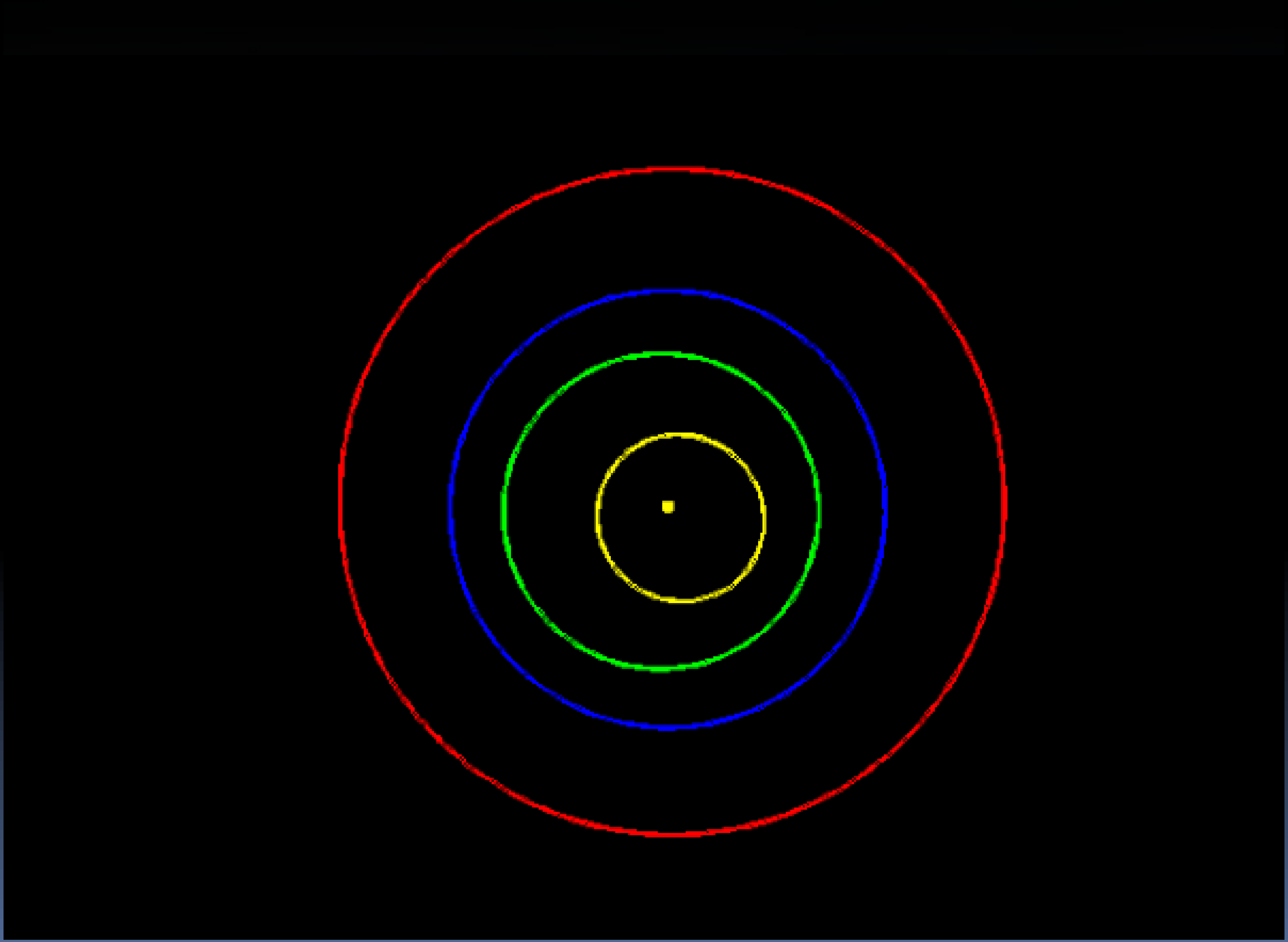




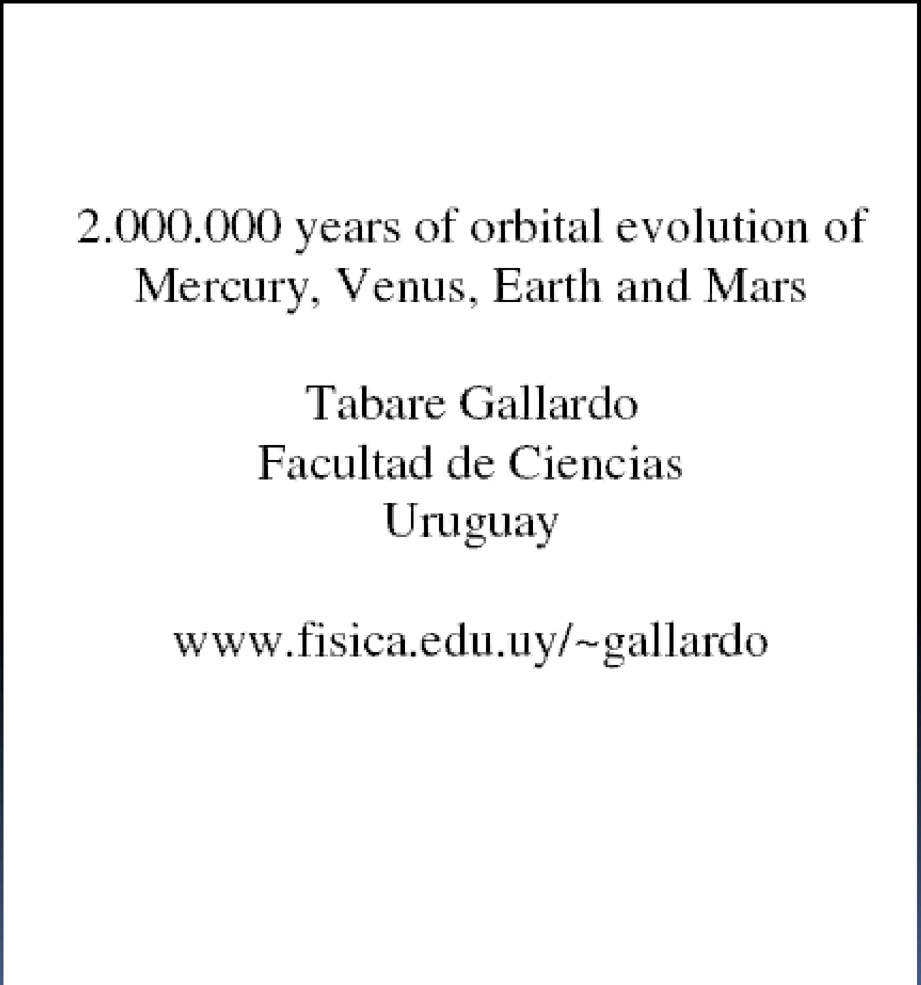
**Protoplanetary Disks in the Orion Nebula** **HST • WFPC2**

NASA, J. Bally (University of Colorado), H. Throop (SWRI), and C.R. O'Dell (Vanderbilt University) • STScI-PRC01-13

# Órbitas planetarias



# Evolución orbital planetaria

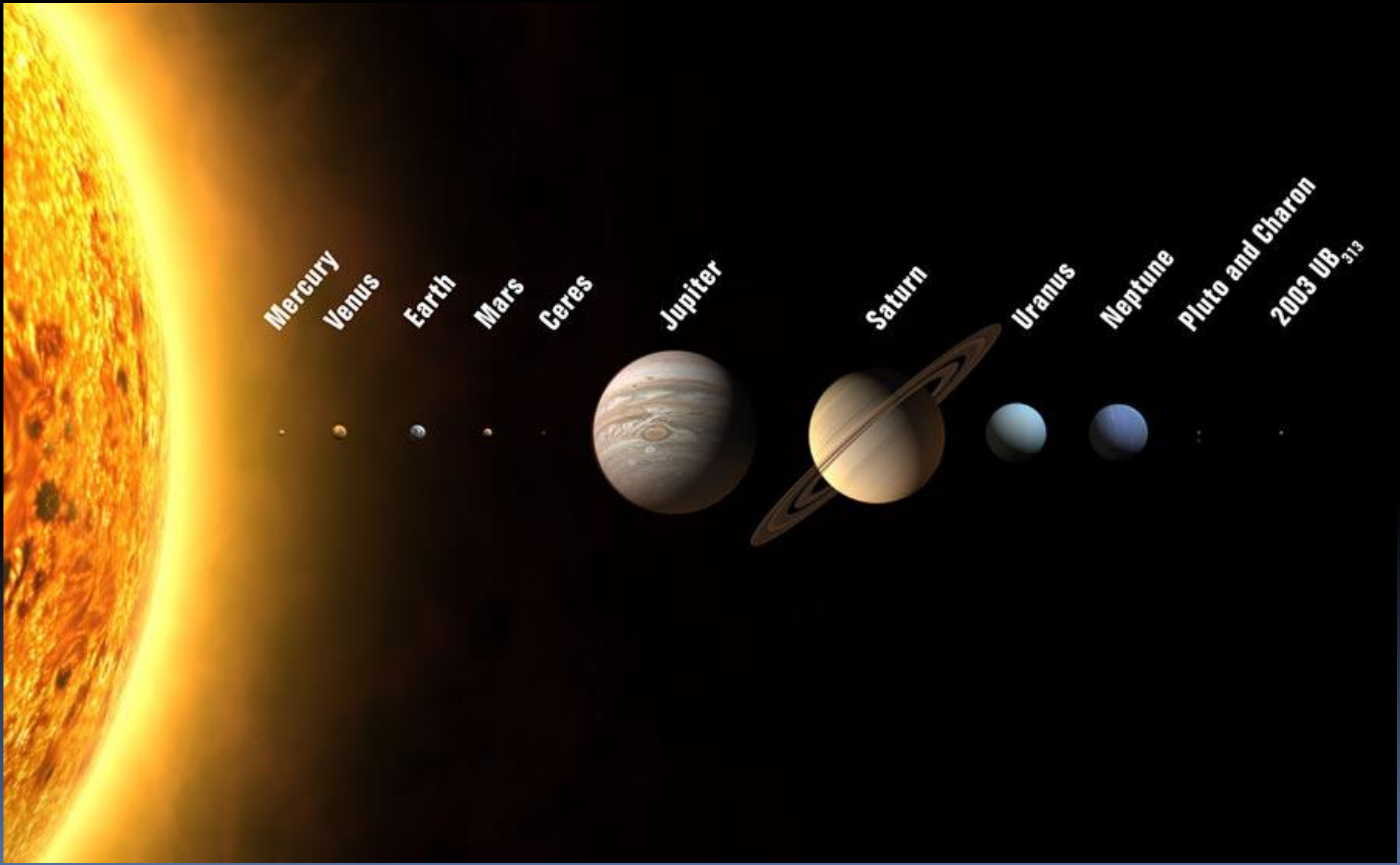


2.000.000 years of orbital evolution of
Mercury, Venus, Earth and Mars

Tabare Gallardo
Facultad de Ciencias
Uruguay

www.fisica.edu.uy/~gallardo

# Sistema Solar


Mercury
Venus
Earth
Mars
Ceres
Jupiter
Saturn
Uranus
Neptune
Pluto and Charon
2003 UB$_{313}$

# Sistemas extrasolares

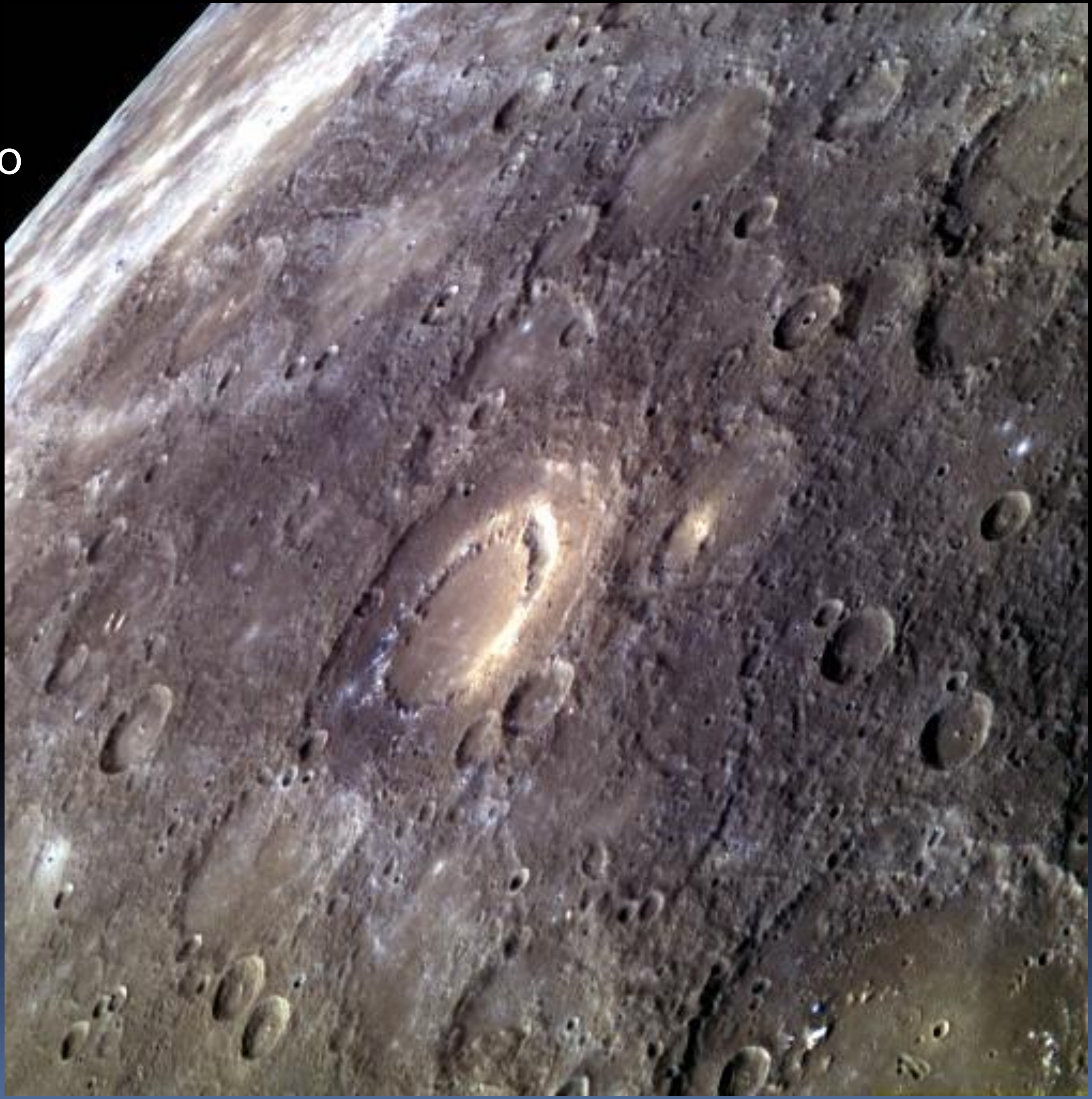
- Miles descubiertos
- Órbitas muy excéntricas
- Muy próximos a la estrella
- Hot Júpiters, rotación sincrónica
- Super Tierras
- En estrellas de “alta metalicidad”
- Planetas vagabundos (Free Floating)

# Mercurio

Día = 2 años mercurianos !
100 K < Temperatura < 700 K

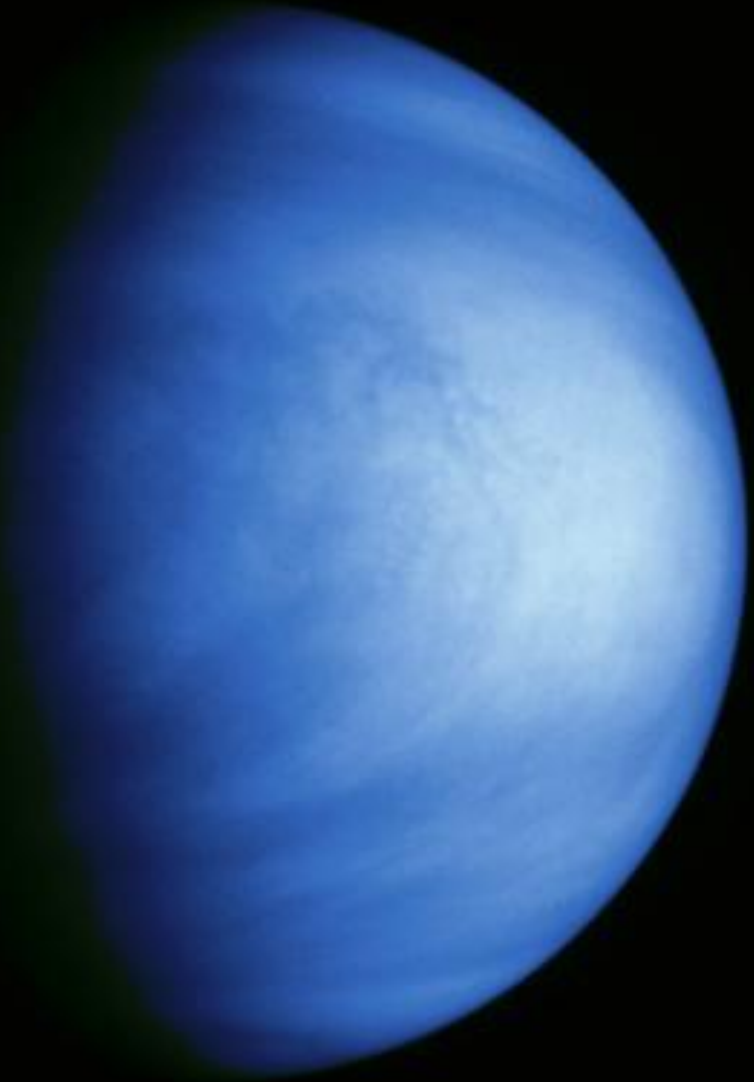
# Mercurio

Cráteres de impacto



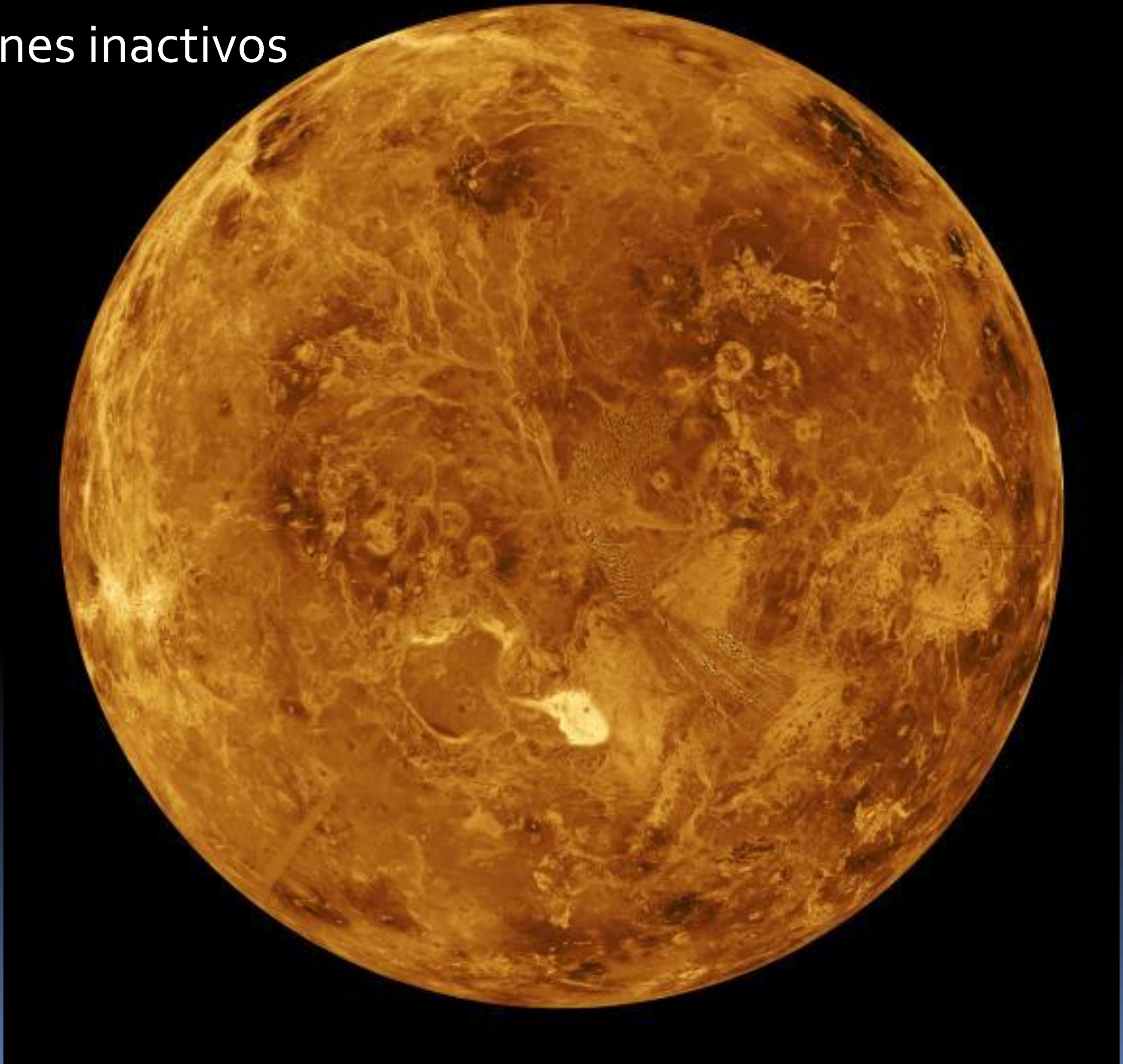
# Venus

Día = - 117 días terrestres
Temperatura media = 750 K
Presión = 90 atm.
$CO_2$
No hay agua

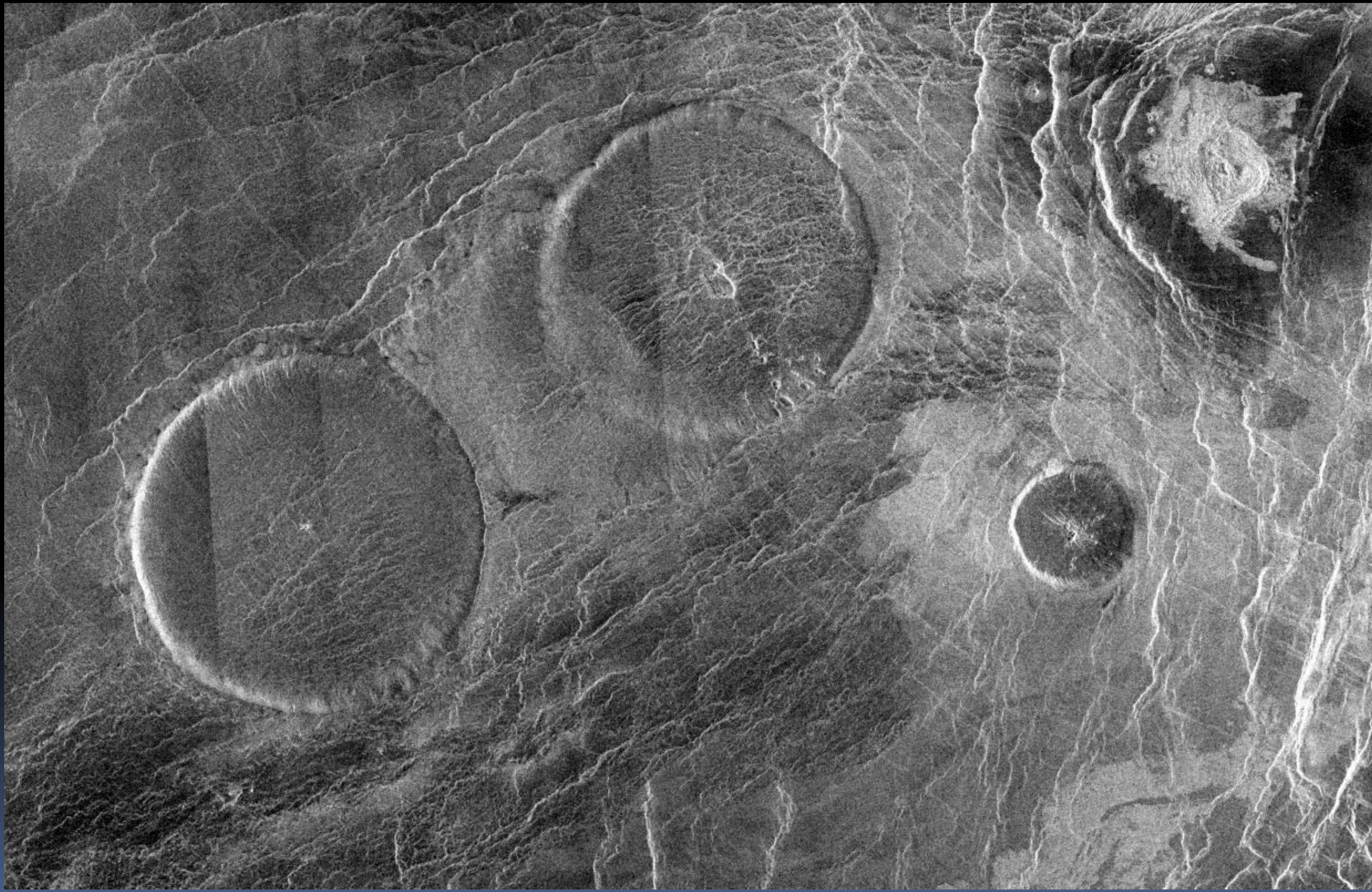


# Venus

Miles de volcanes inactivos

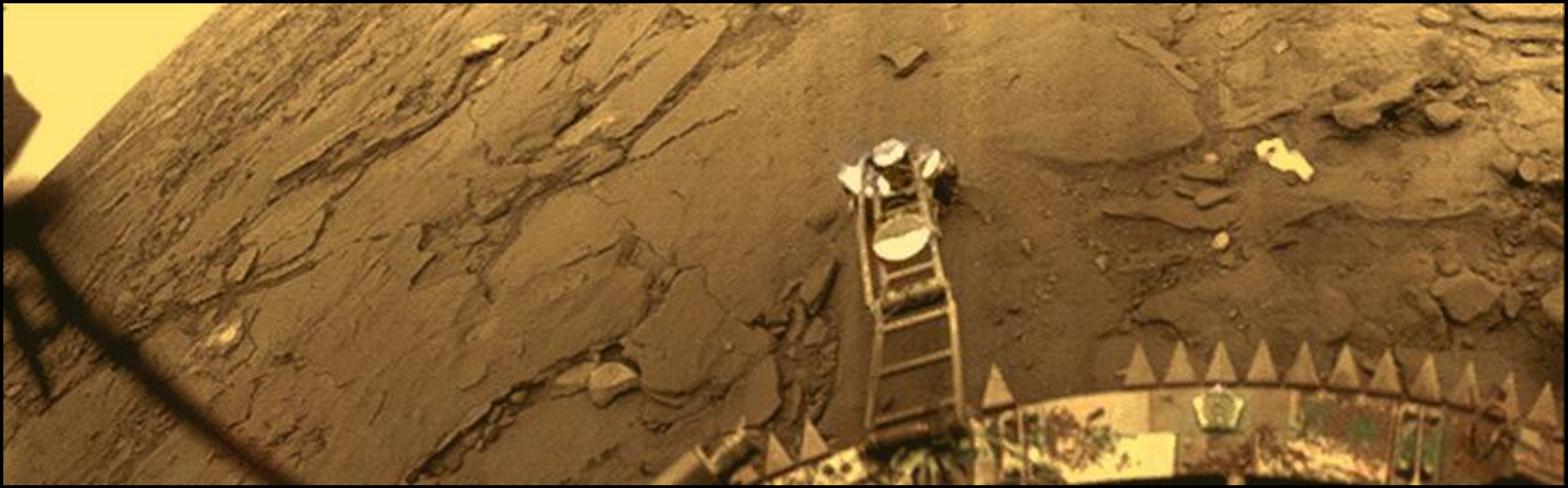


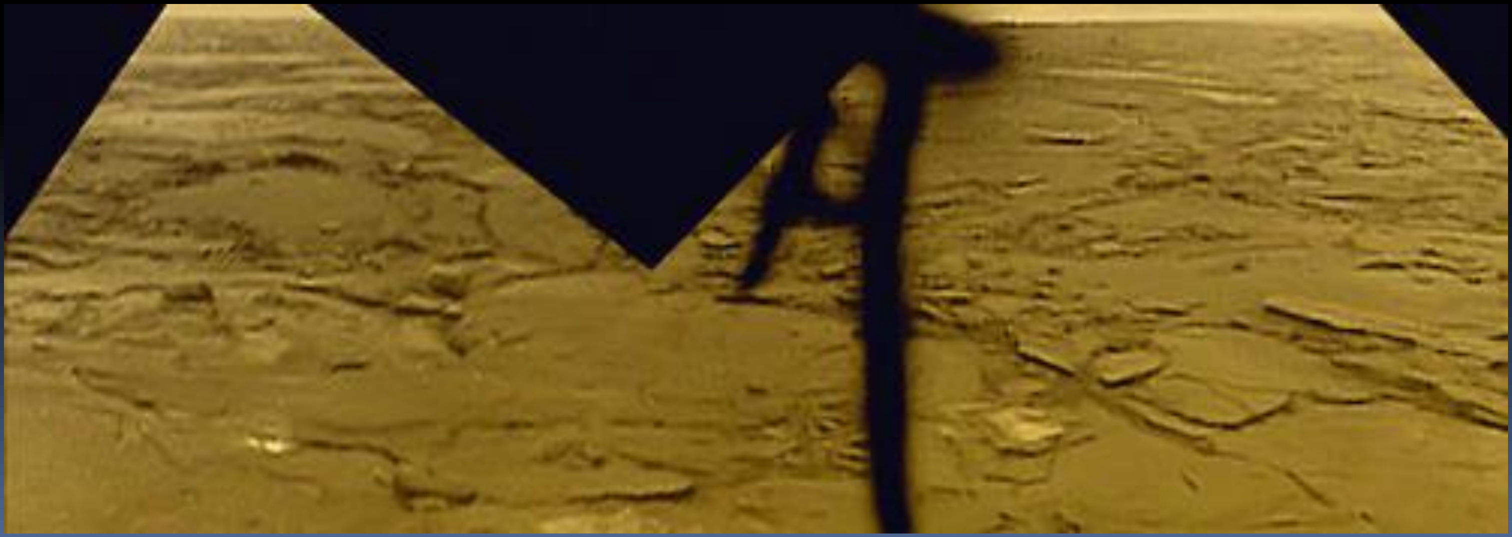
# Venus: panqueques



# Venus

Roca sólida y seca (basaltos)



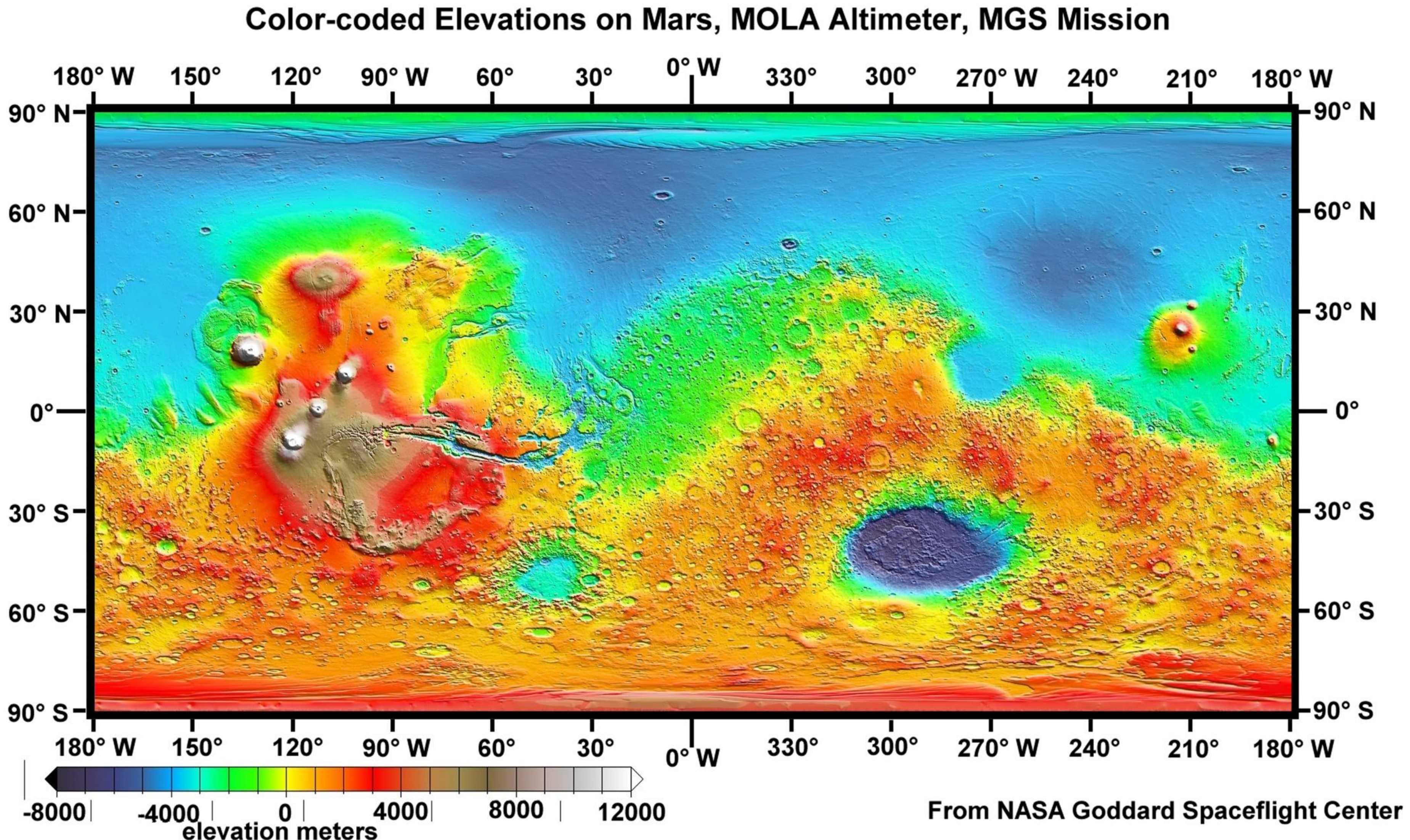


Agua sólida, líquida y gaseosa.
Única atmósfera rica en Oxígeno: energía y protección UV.
Campo magnético.

# Marte

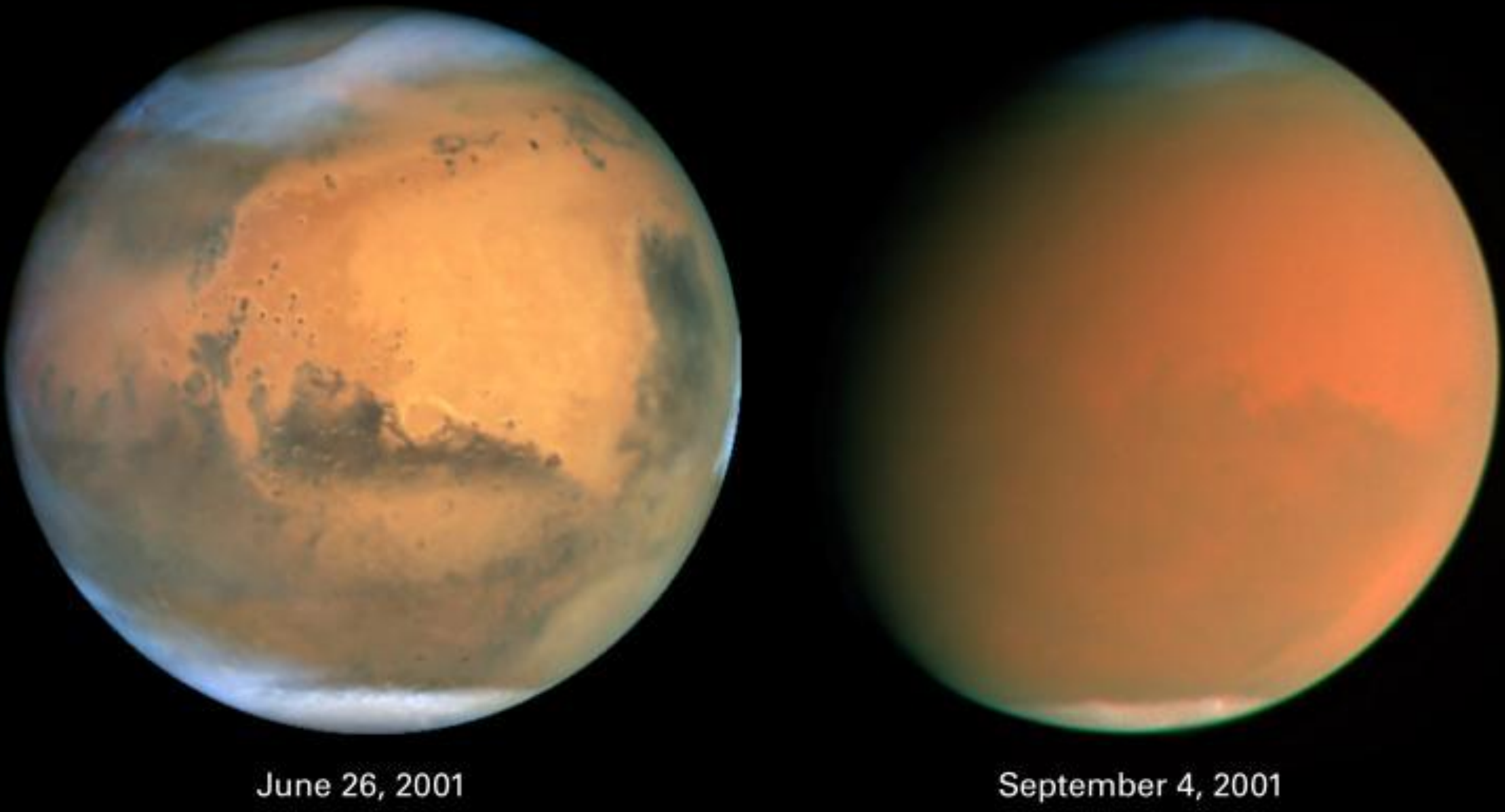
Volcanes fosilizados
Erosión por fluidos
Agua en el pasado

# Dos tipos de superficies


Color-coded Elevations on Mars, MOLA Altimeter, MGS Mission
180° W
150°
120°
90° W
60°
30°
0° W
330°
300°
270° W
240°
210°
180° W
90° N
60° N
30° N
0°
30° S
60° S
90° S
-8000
-4000
0
4000
8000
12000
elevation meters
From NASA Goddard Spaceflight Center

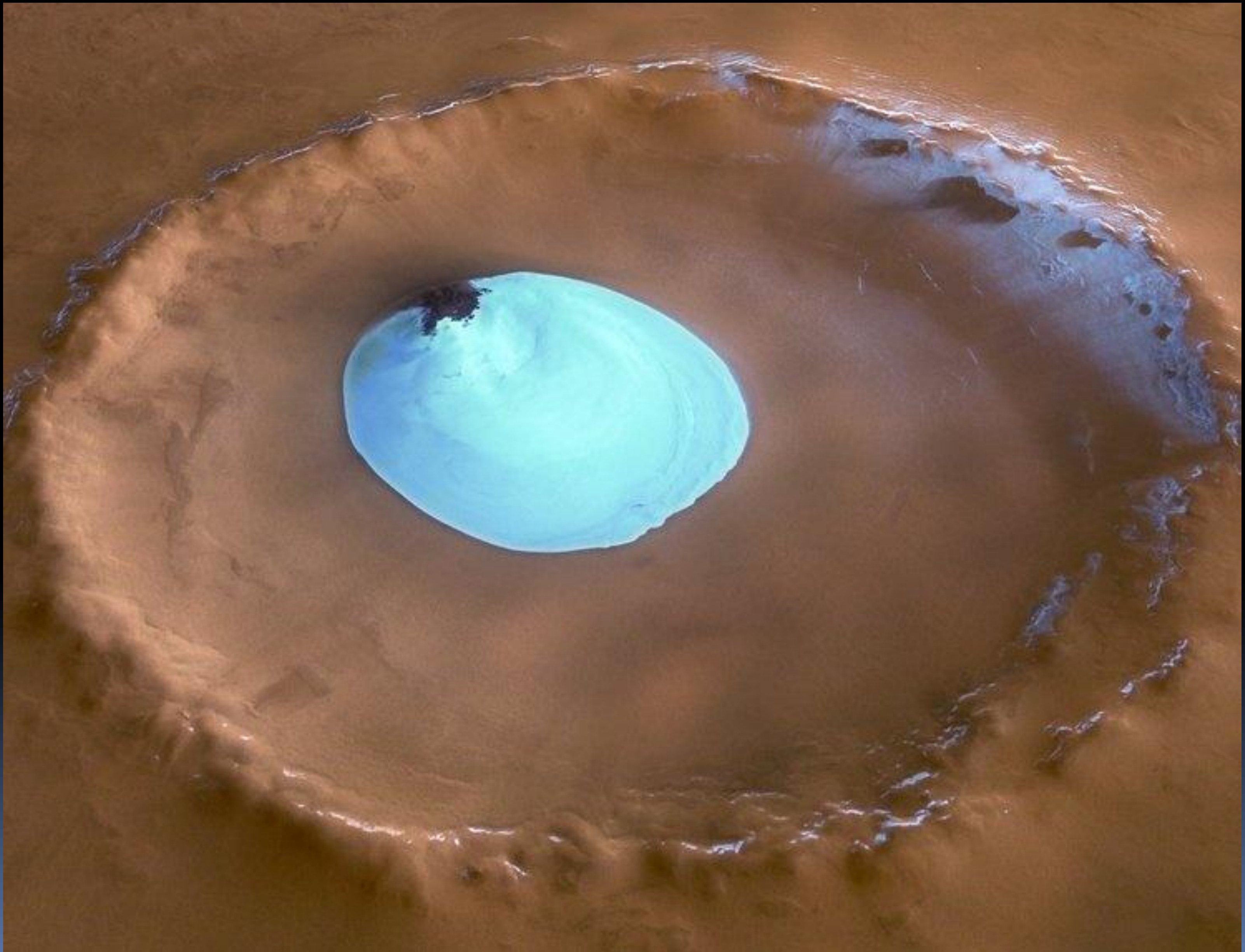
# Marte

Día = aprox. 1 día terrestre
Temperatura media = 220 K
Presión < 0.01 atm.


June 26, 2001
September 4, 2001

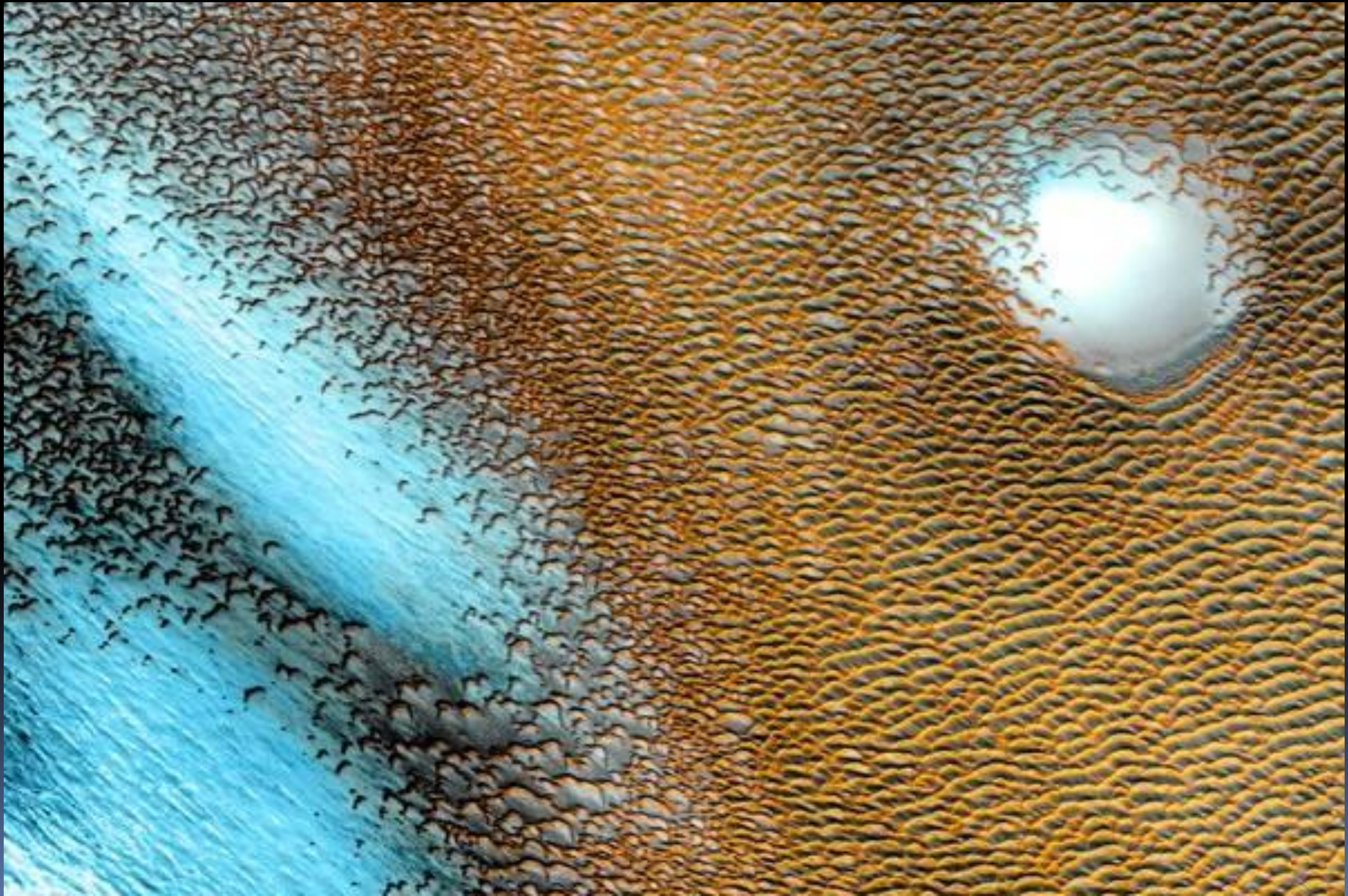
# Marte

CO2 sólido y gaseoso



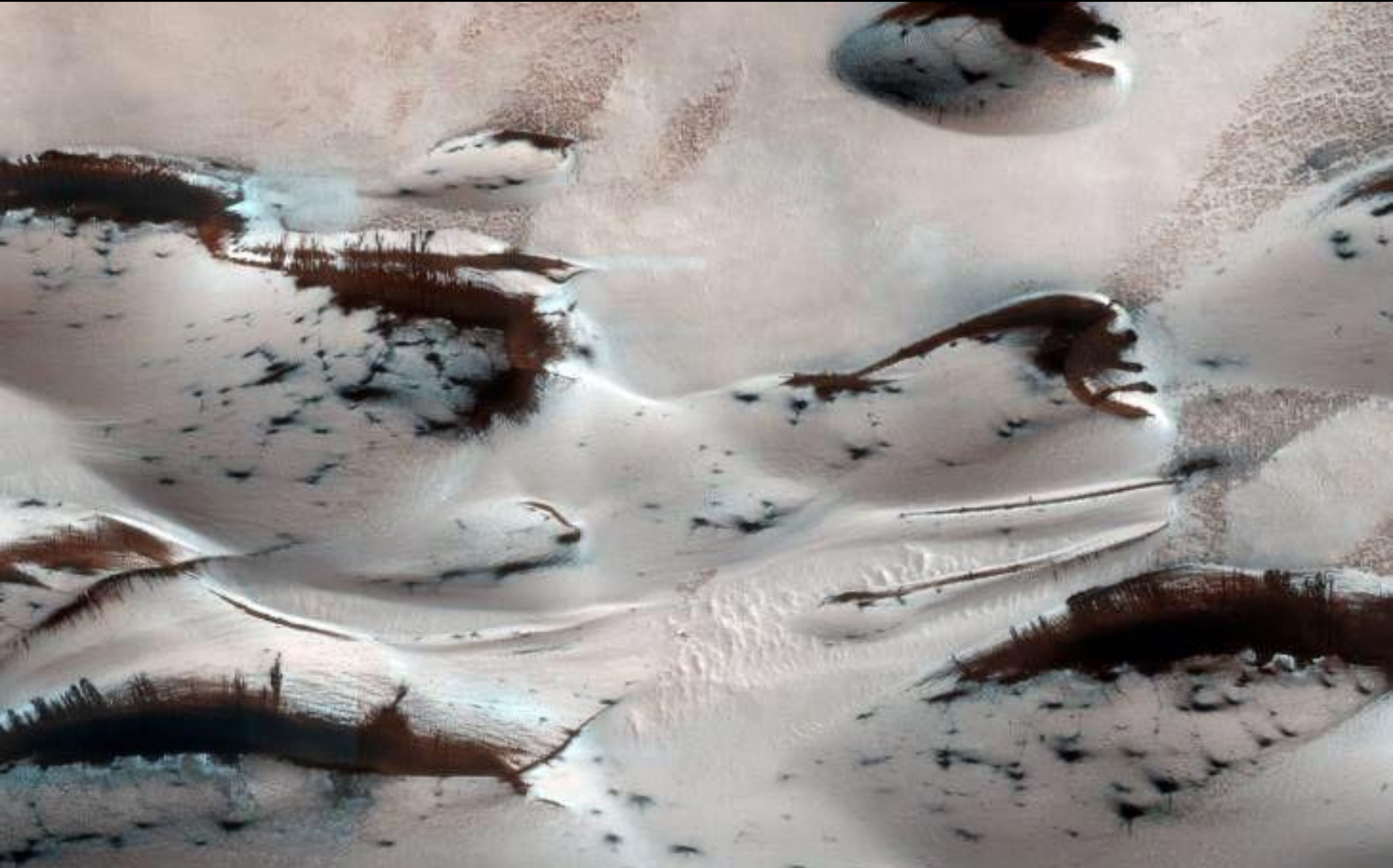
# Marte

Dunas

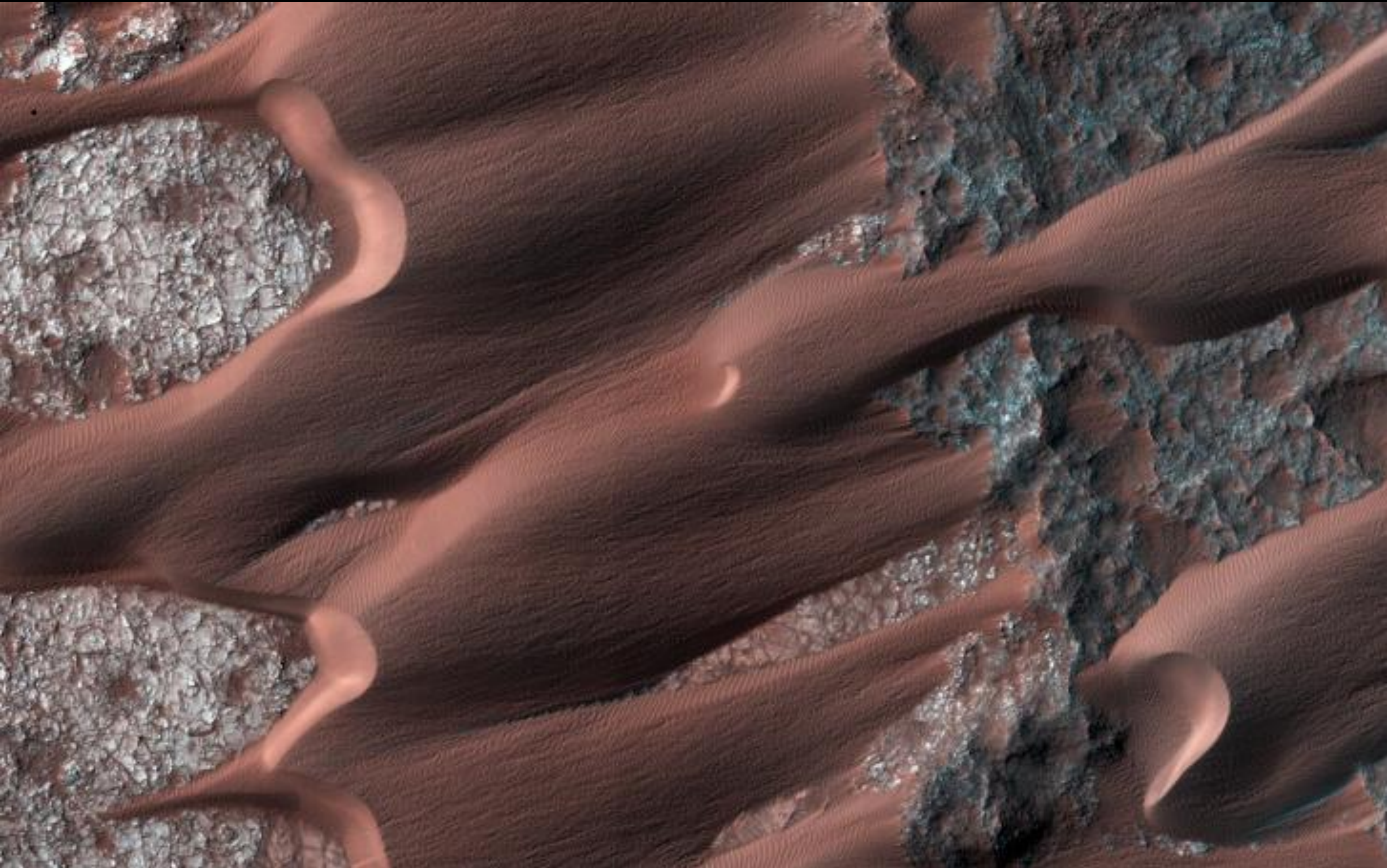


# Marte

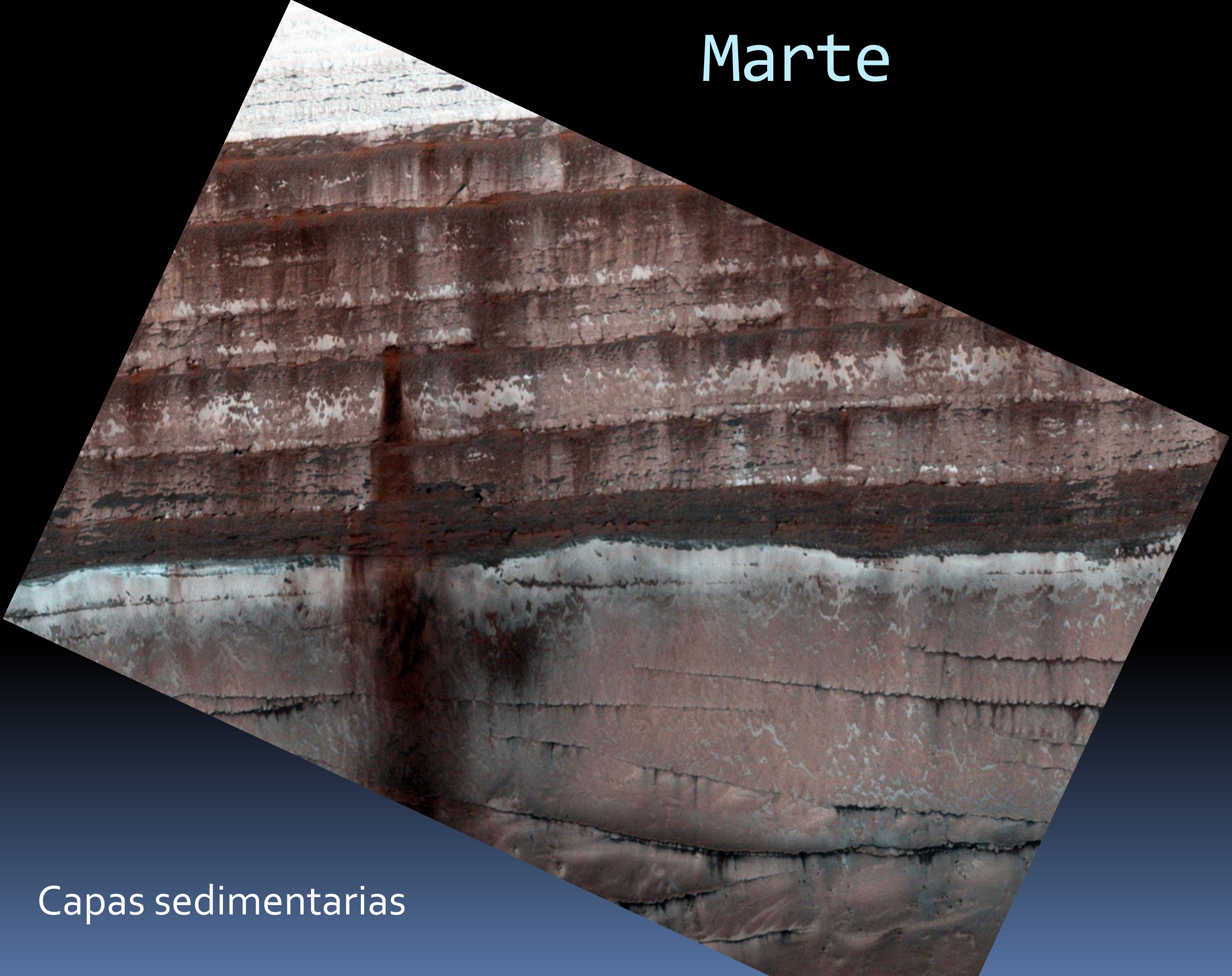
Dunas cubiertas de $CO_2$



# Marte



# Marte



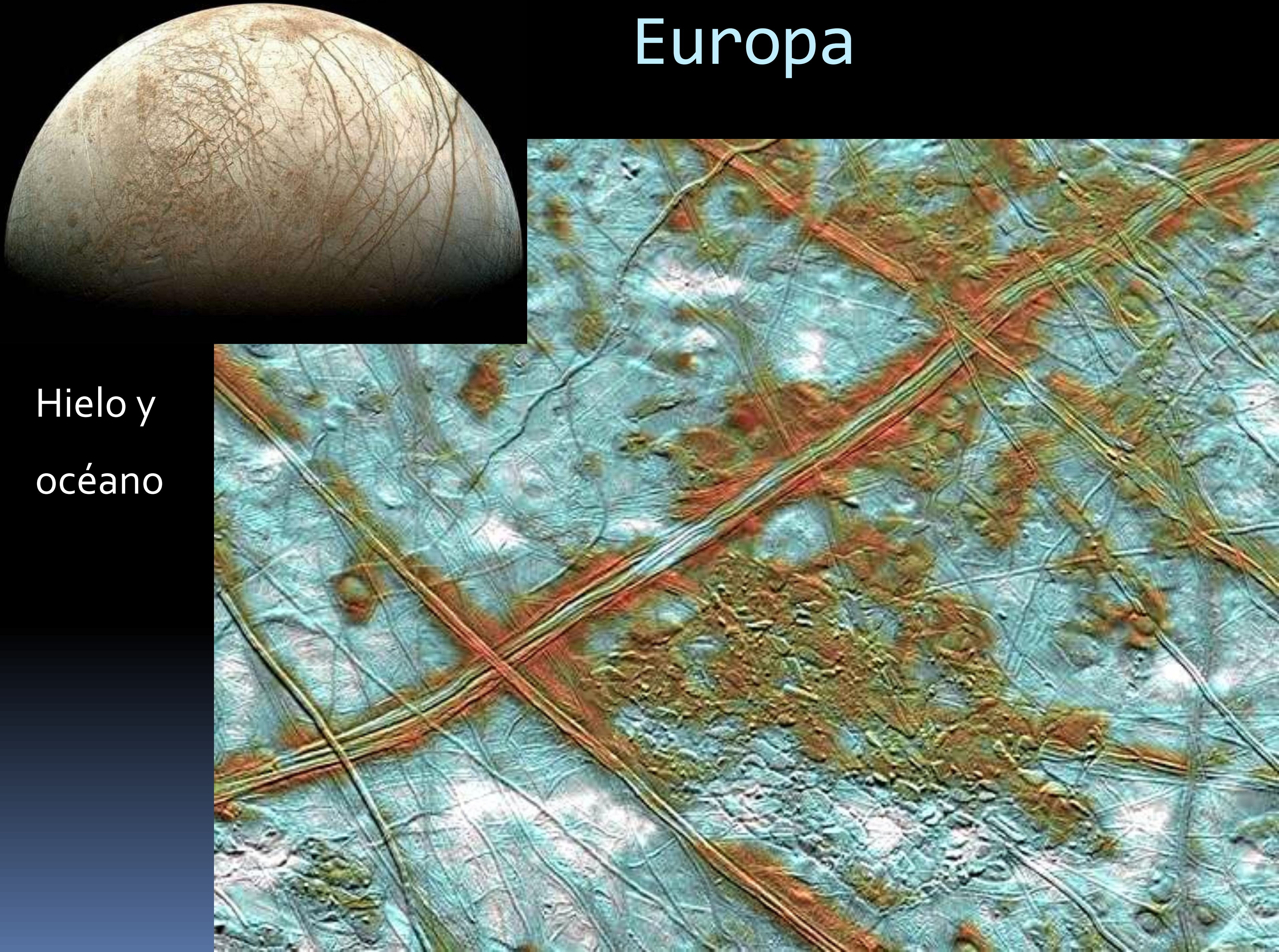
Capas sedimentarias

# Marte

Sin agua superficial.

Hielo subsuperficial (permafrost)

# Europa

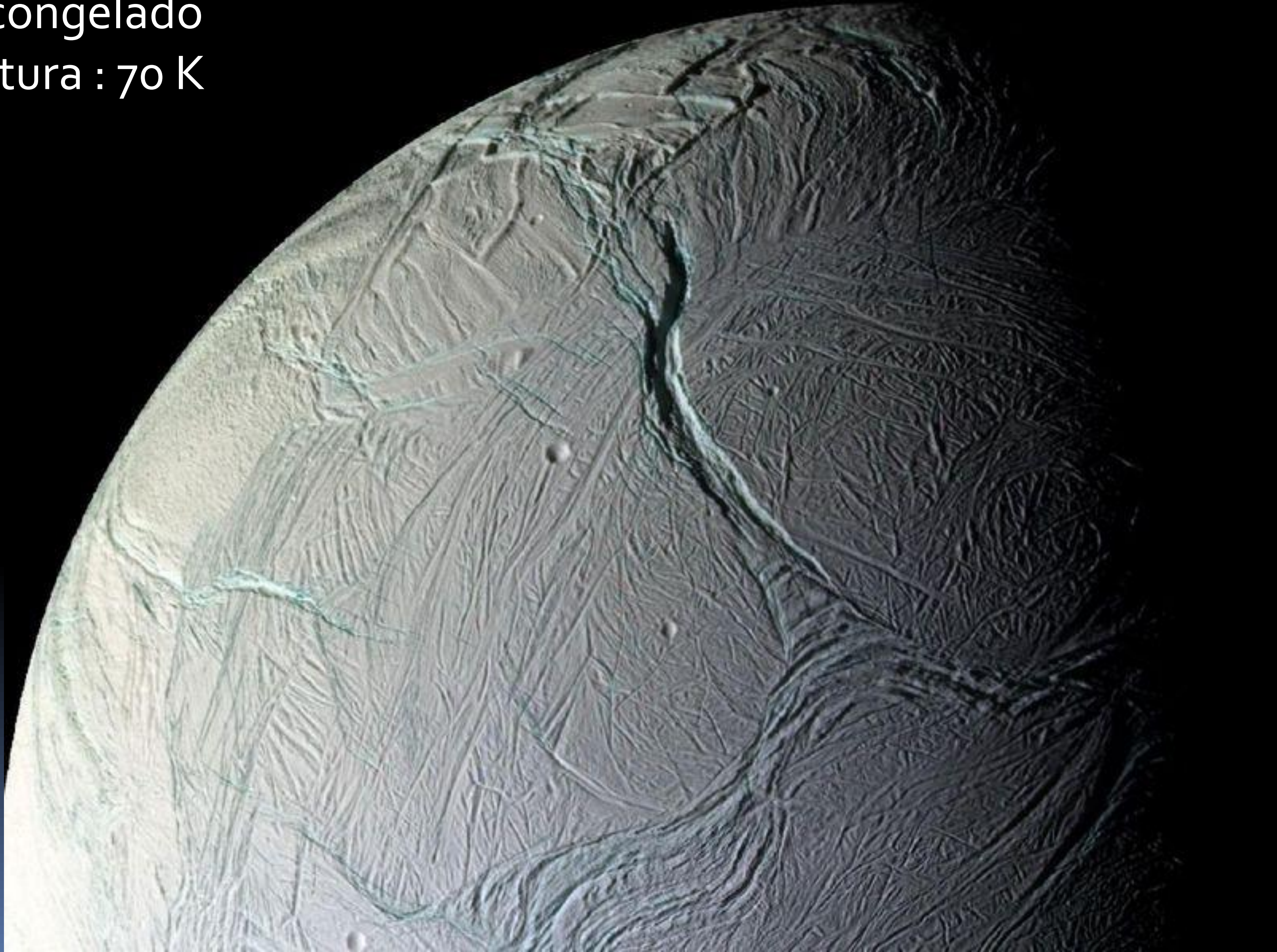


Hielo y

océano

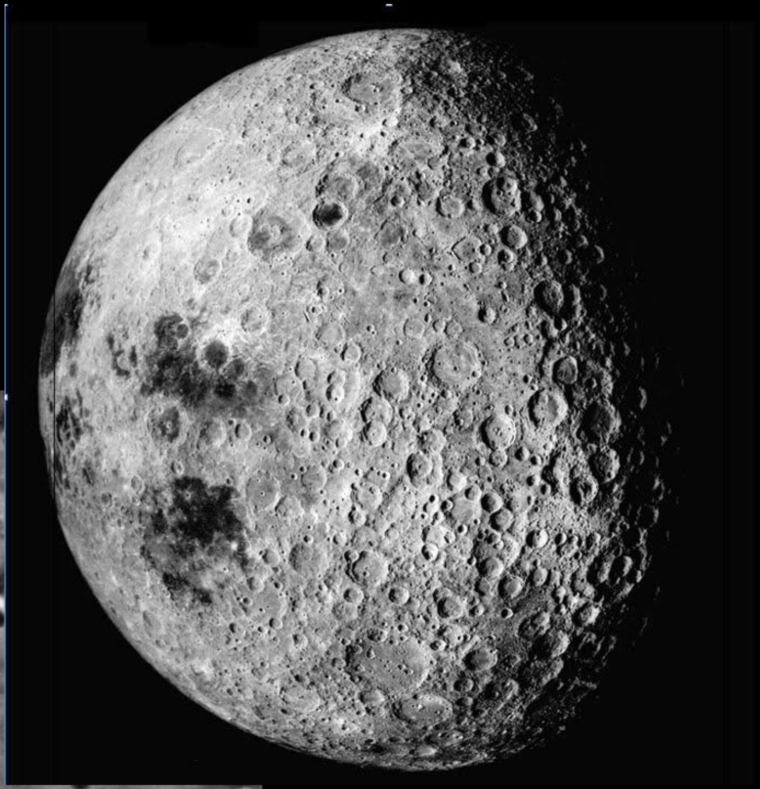
# Encelado

Océano congelado
Temperatura : 70 K

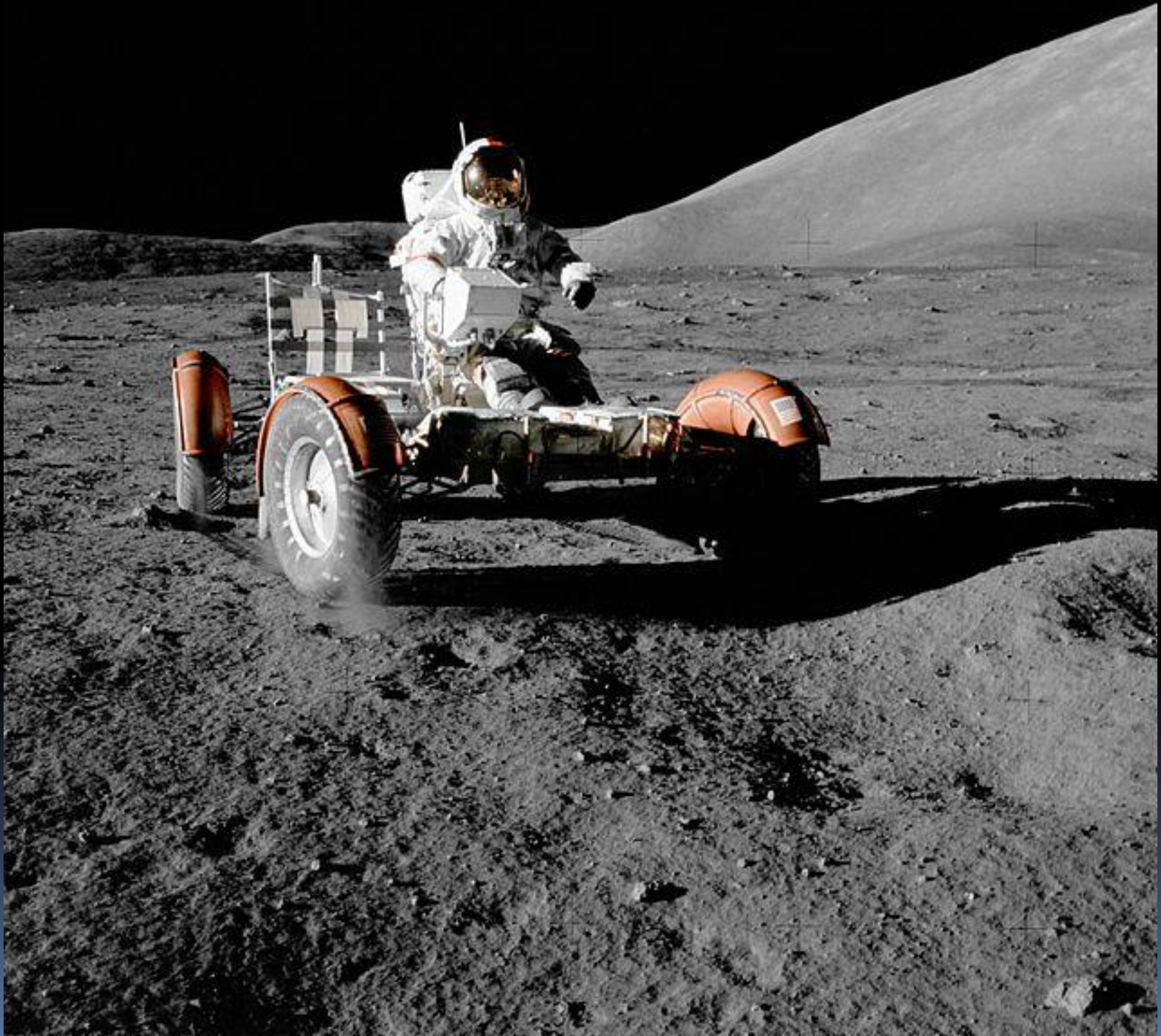


# Luna

Fosilizada desde hace miles de MA
Rotación sincrónica por mareas
100 K <Temp < 400 K



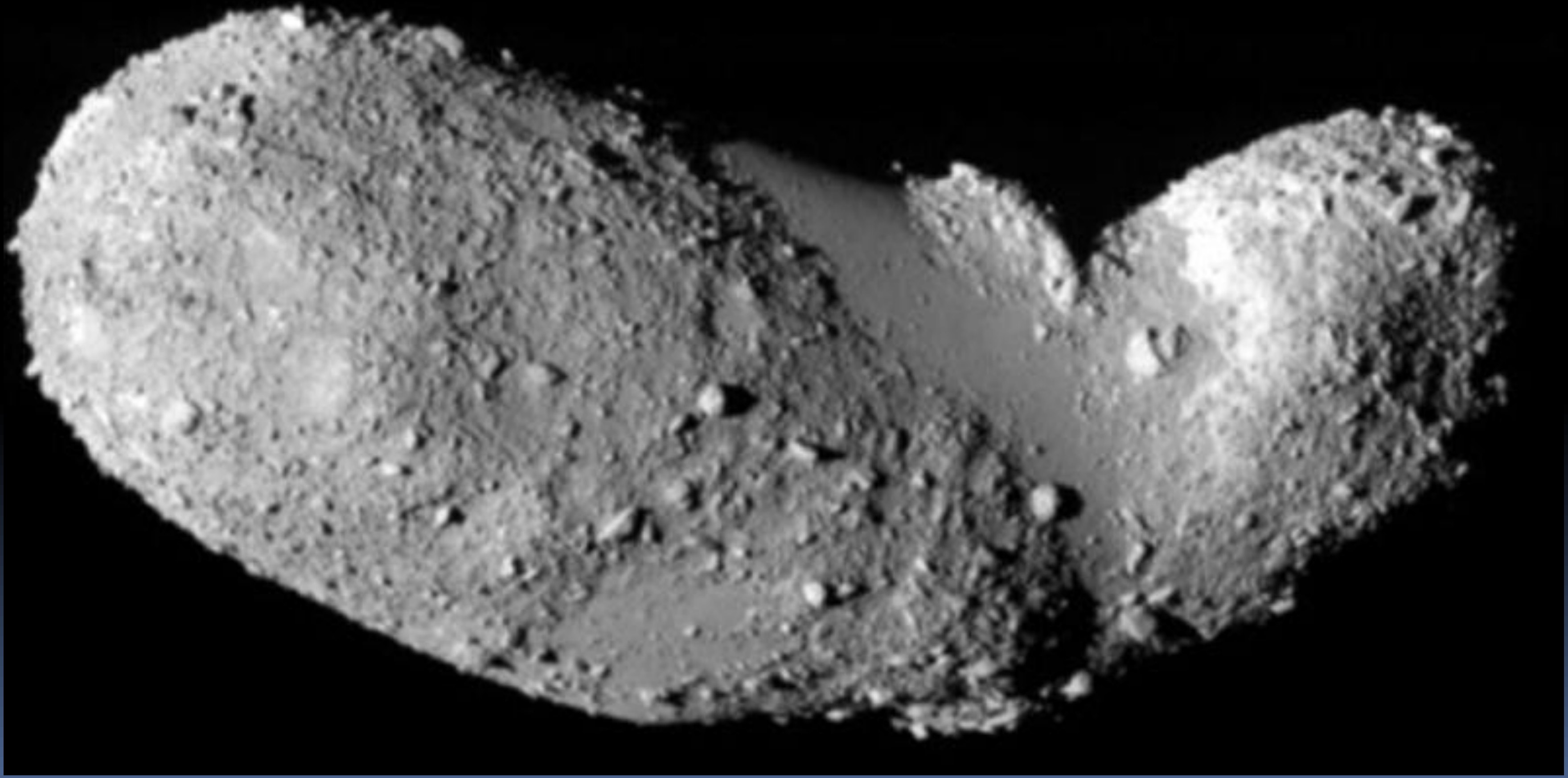
# Sin atmósfera: cielo negro



# Asteroide Eros

# Itokawa

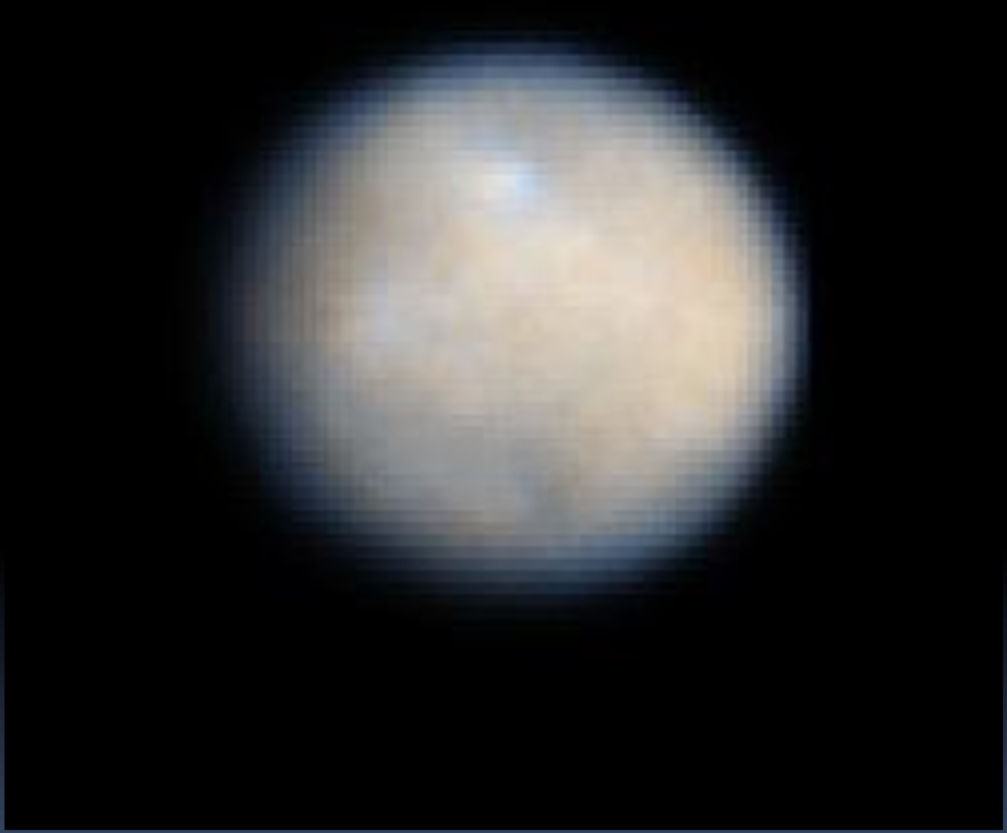
"Pila de escombros"



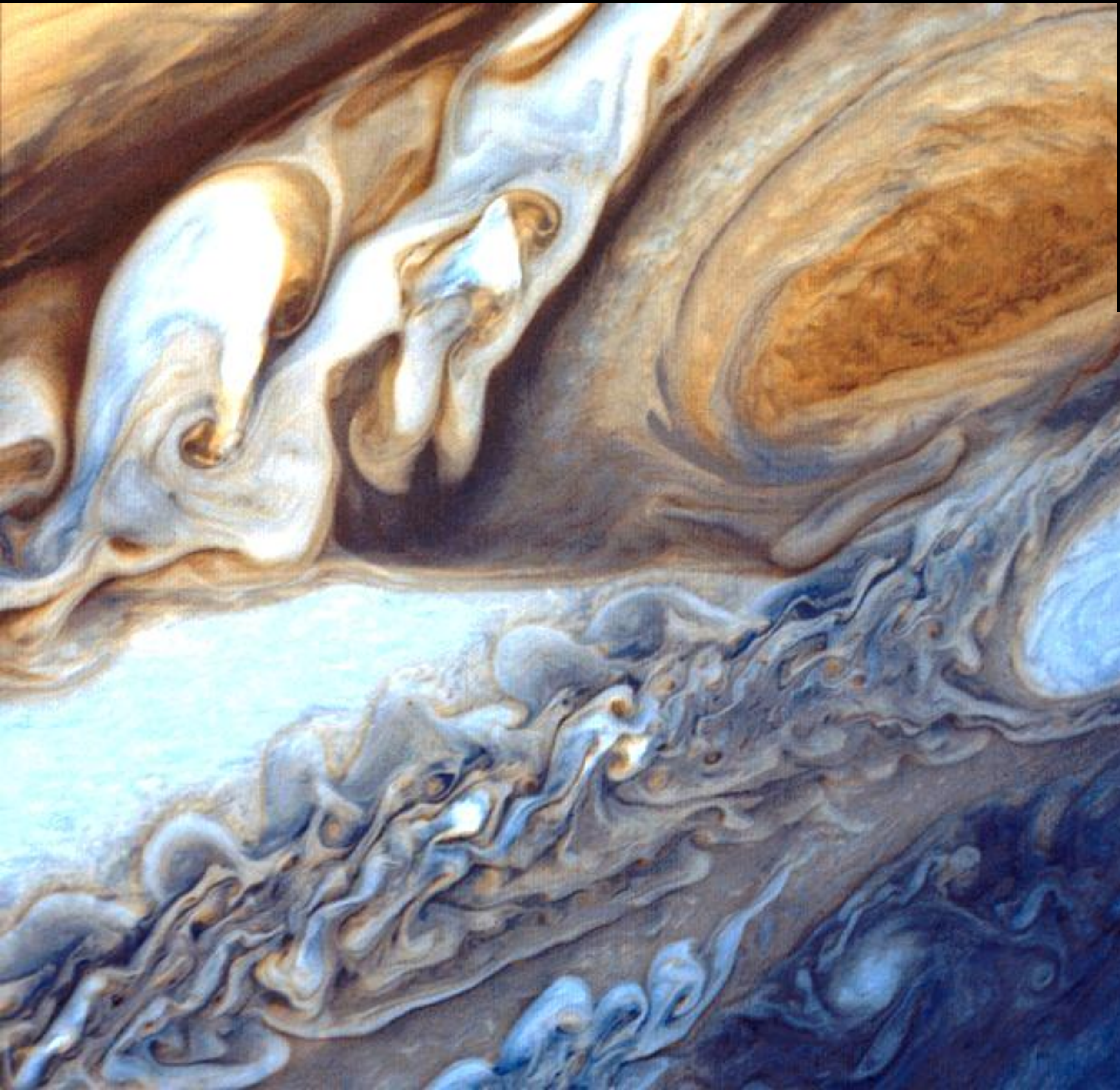
# Meteoritos

- Fragmentos de asteroides y cometas
- Fragmentos de Marte y Luna
- Sobreviven al ingreso en la atmósfera
- Metálicos, rocosos y carbonosos
- Se encontraron aminoácidos

# Ceres(planeta enano)



# Júpiter

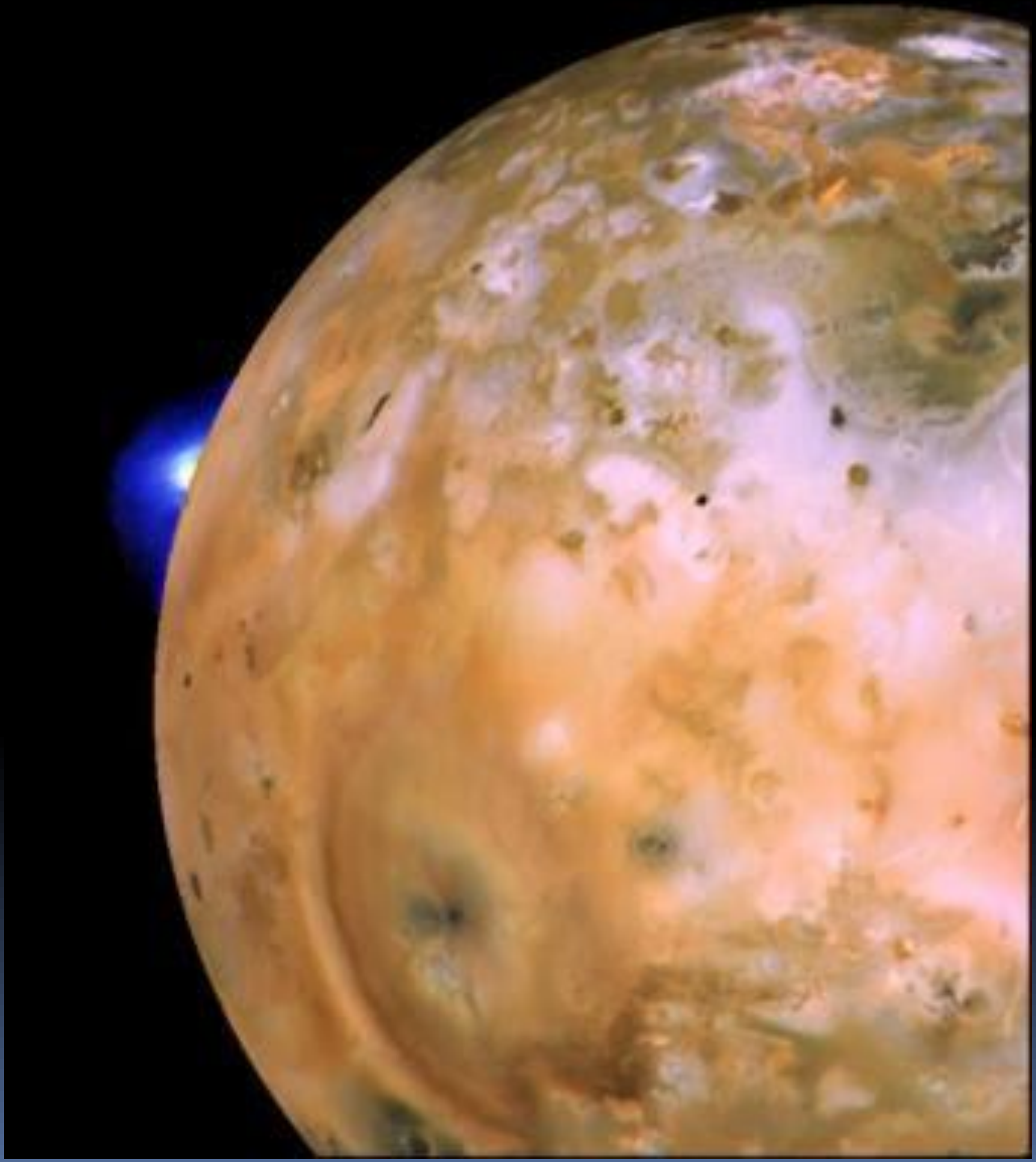


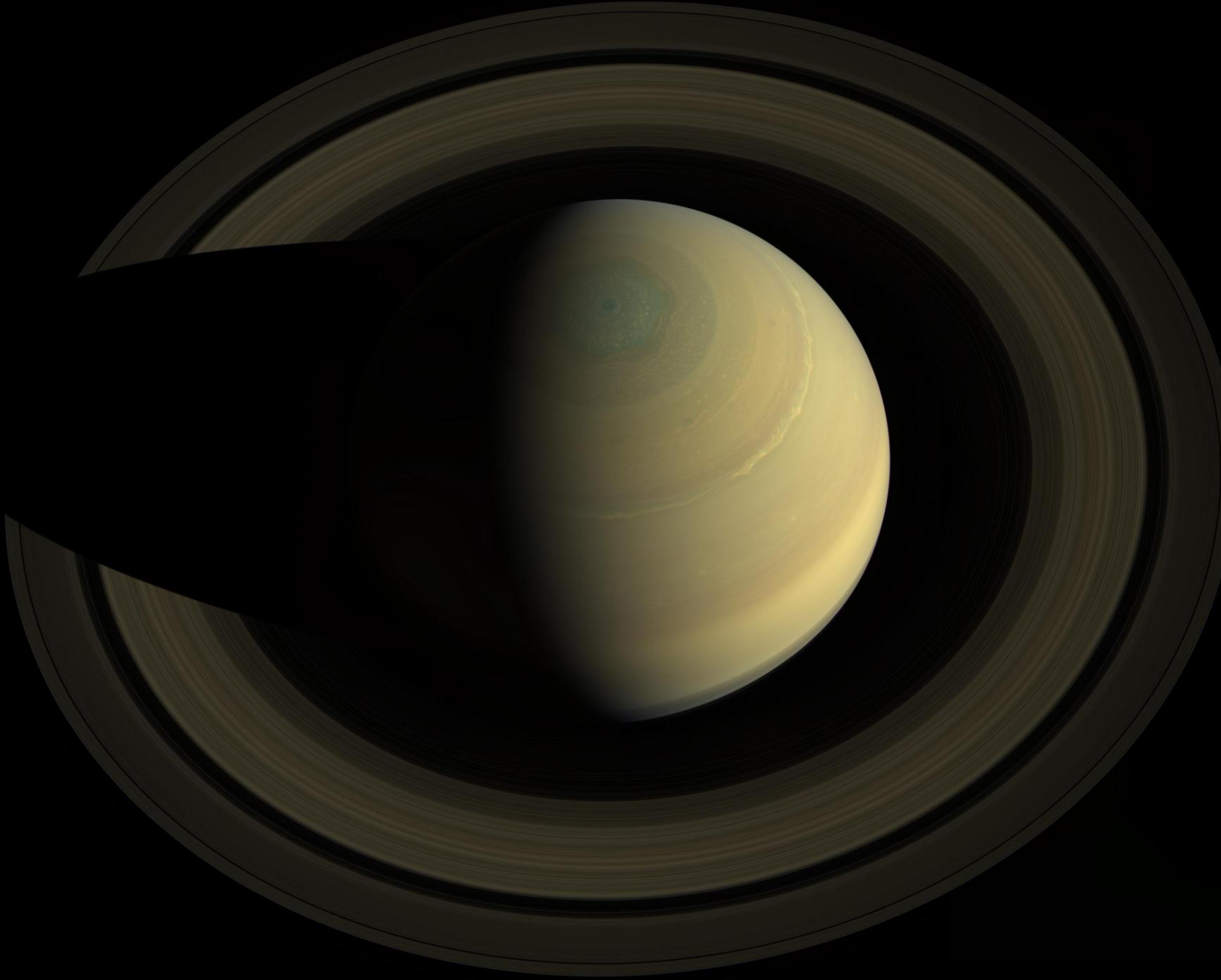
H + He
Temp.: 110 K

# Io

Volcanes activos

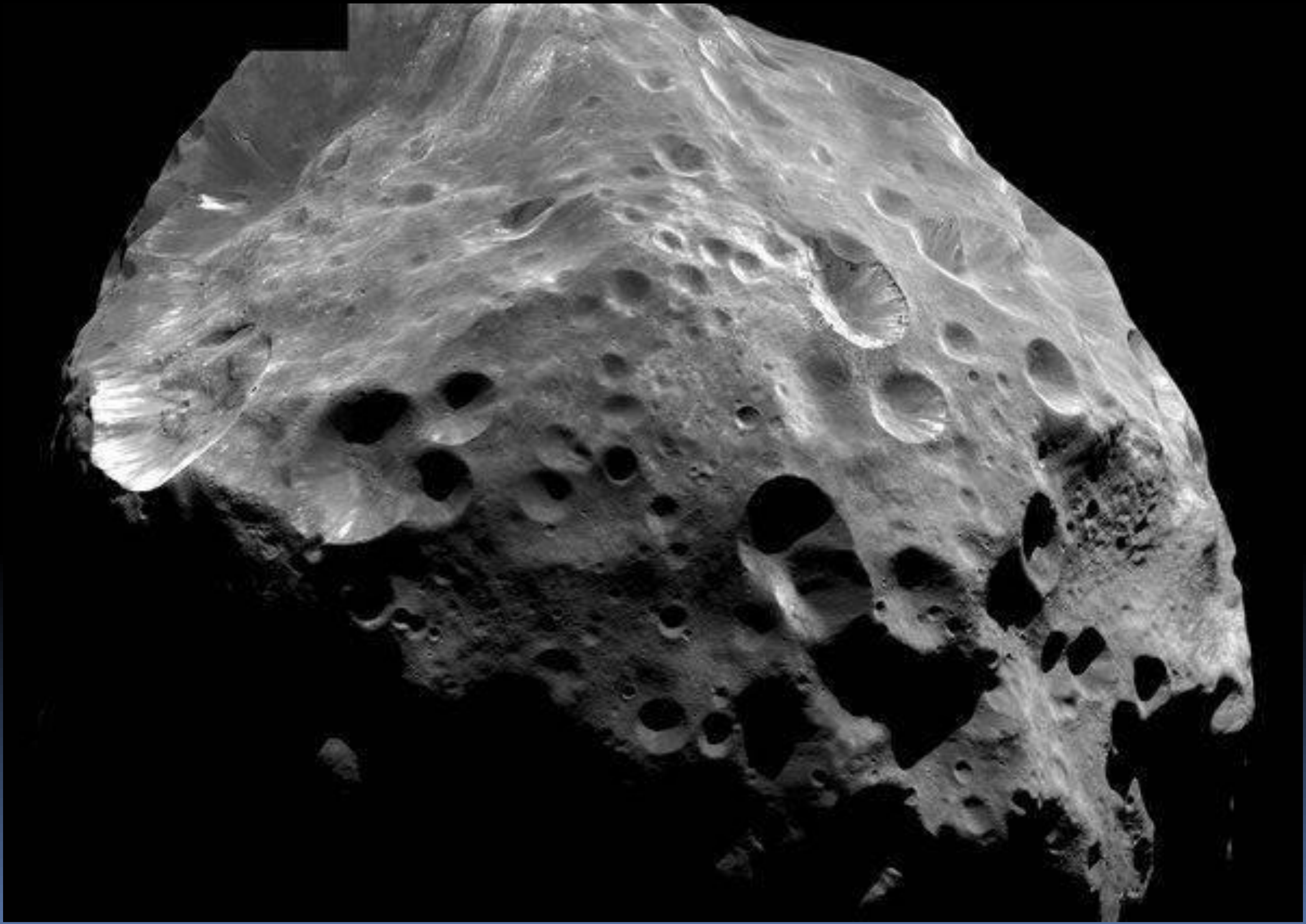
Mareas jovianas





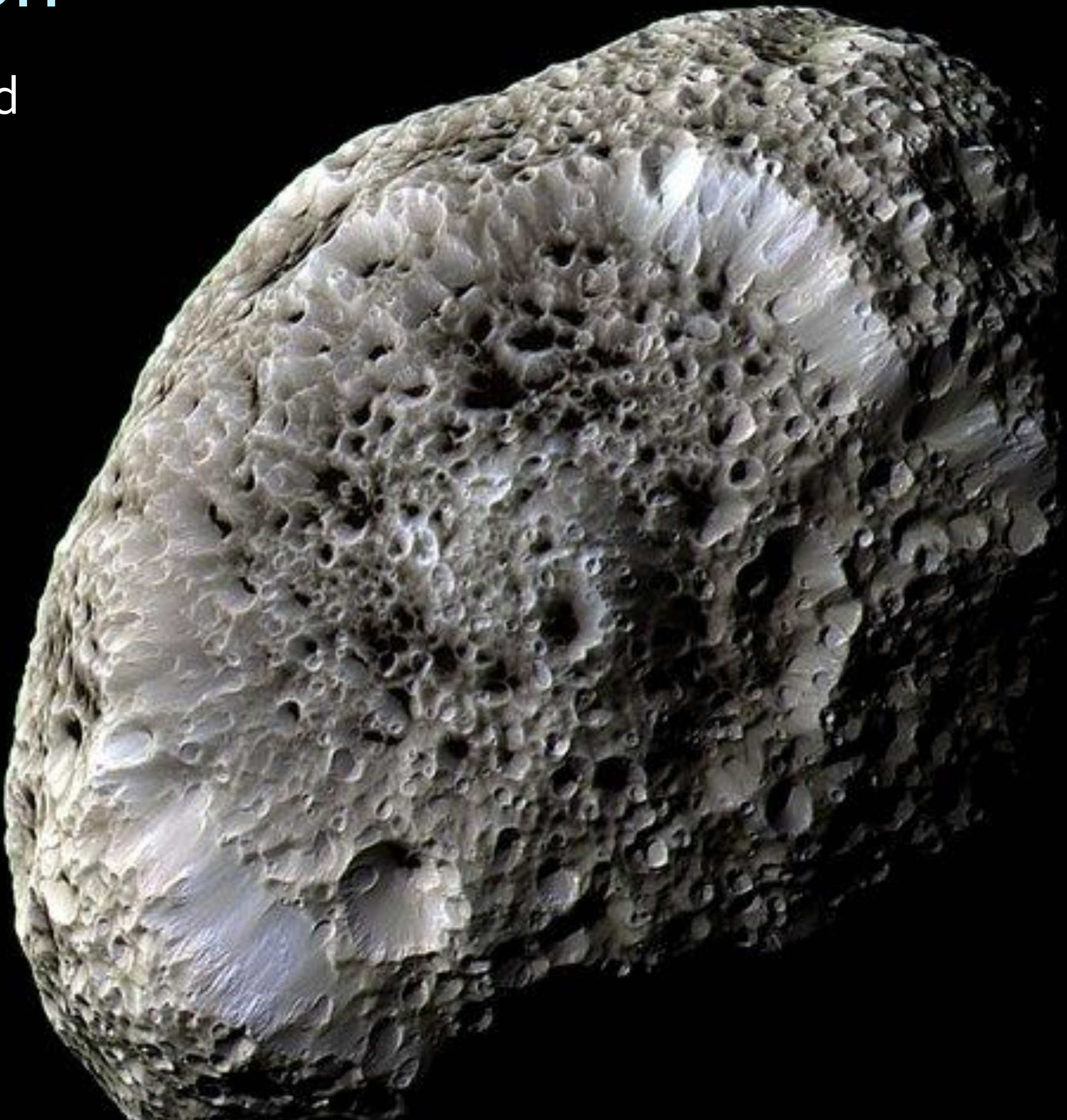
# Cruce anillos de Saturno

# Phoebe



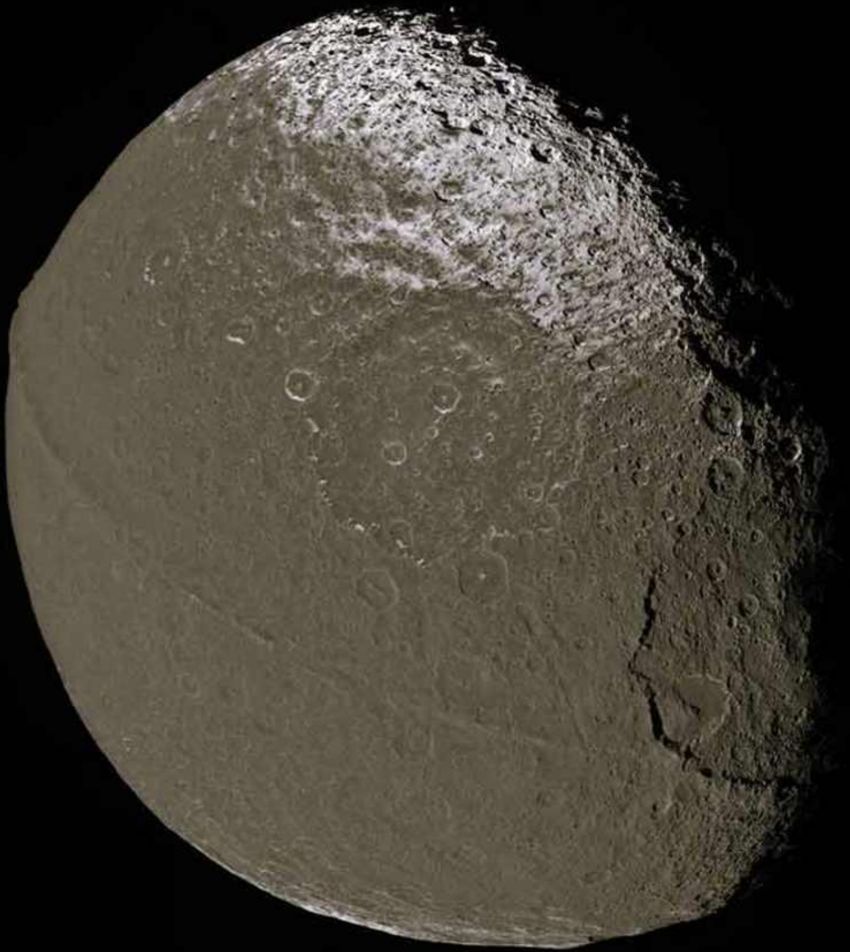
# Hiperion

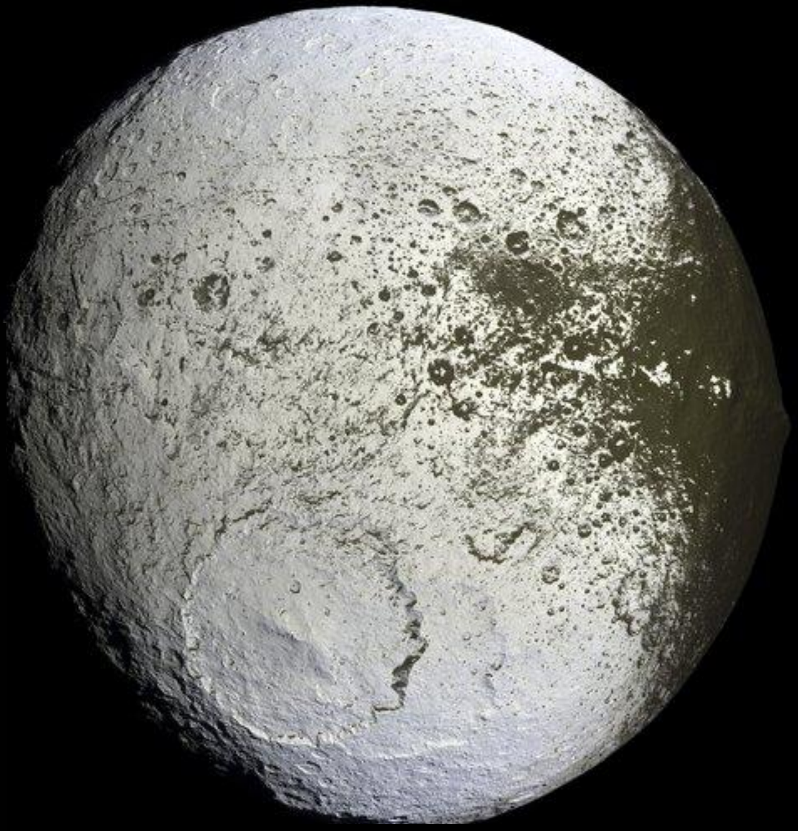
Alta porosidad

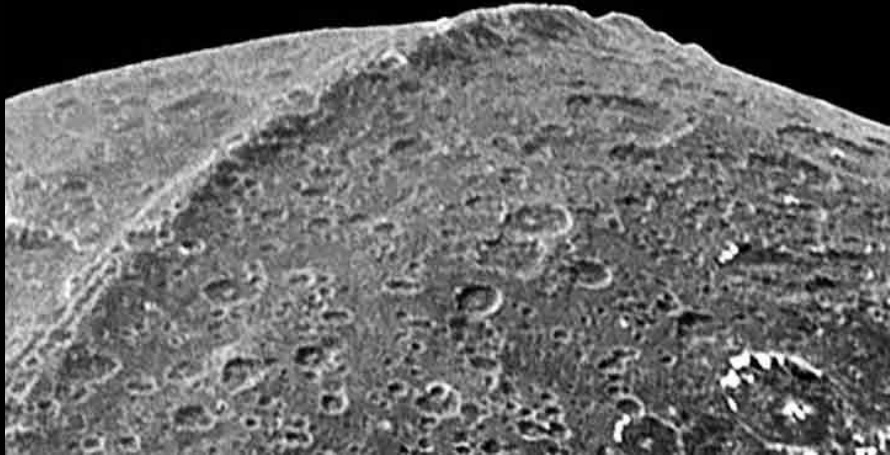


# Iapetus

Materia orgánica

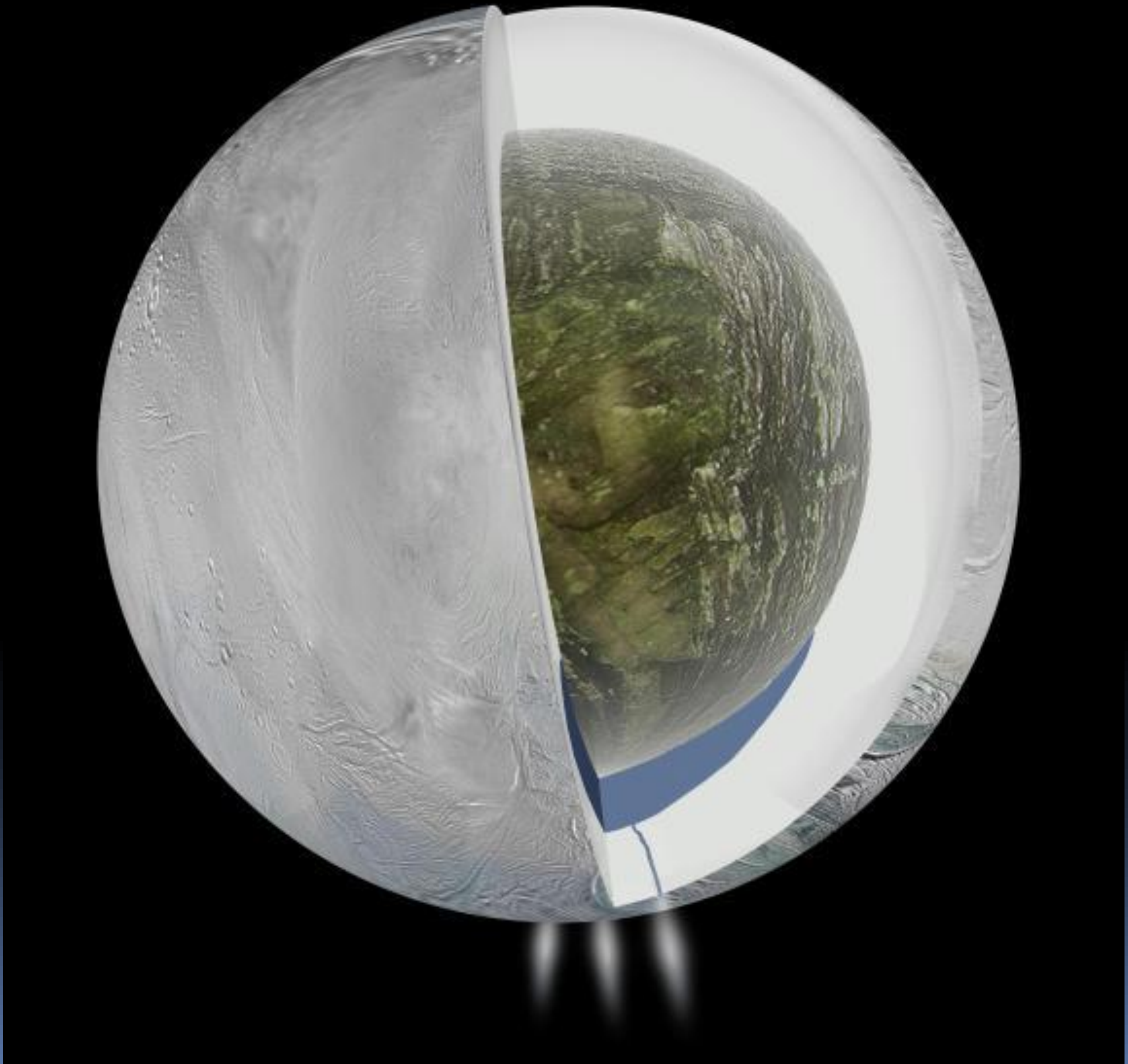






# Encelado

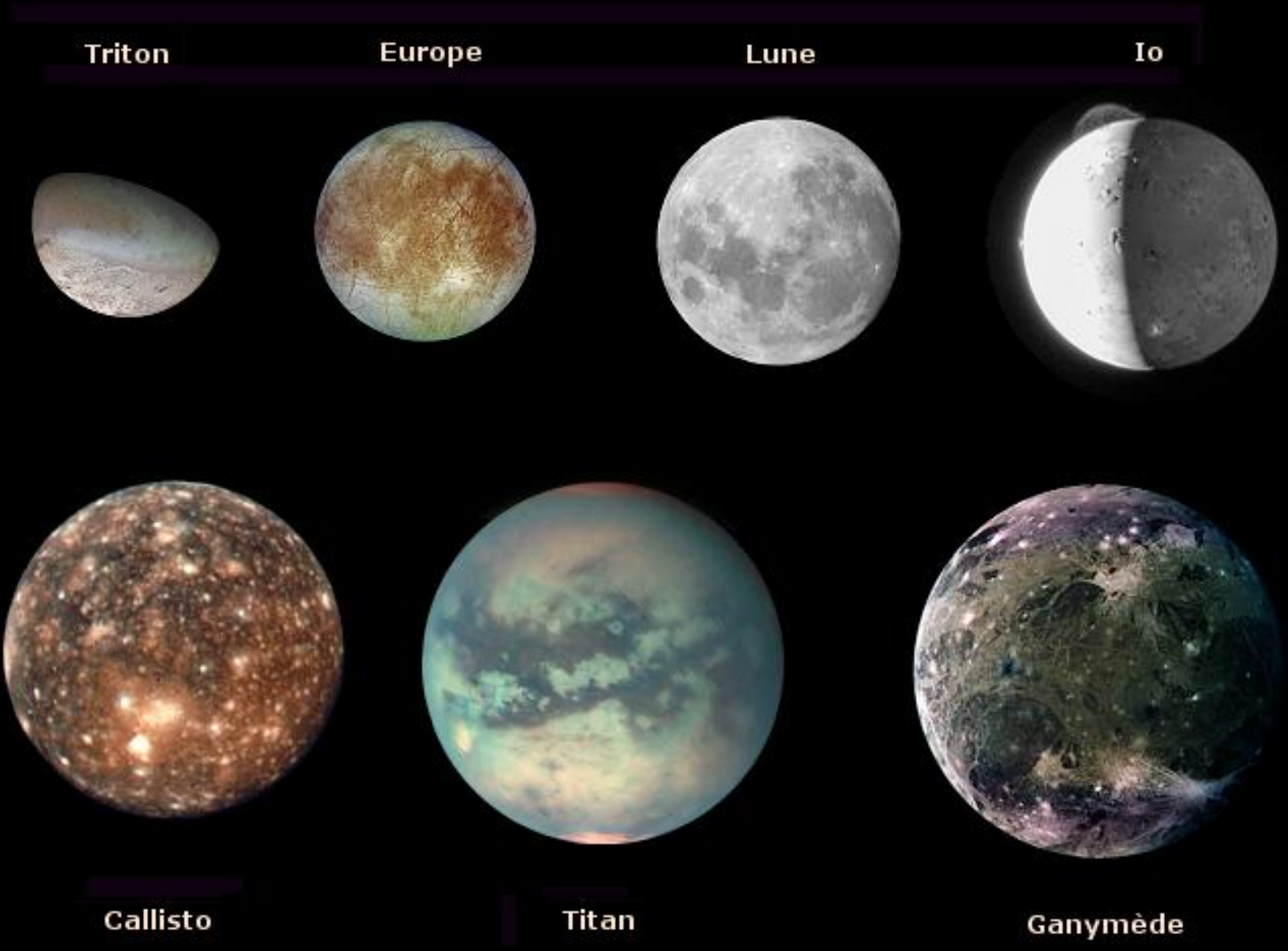
Géisers



# Titán

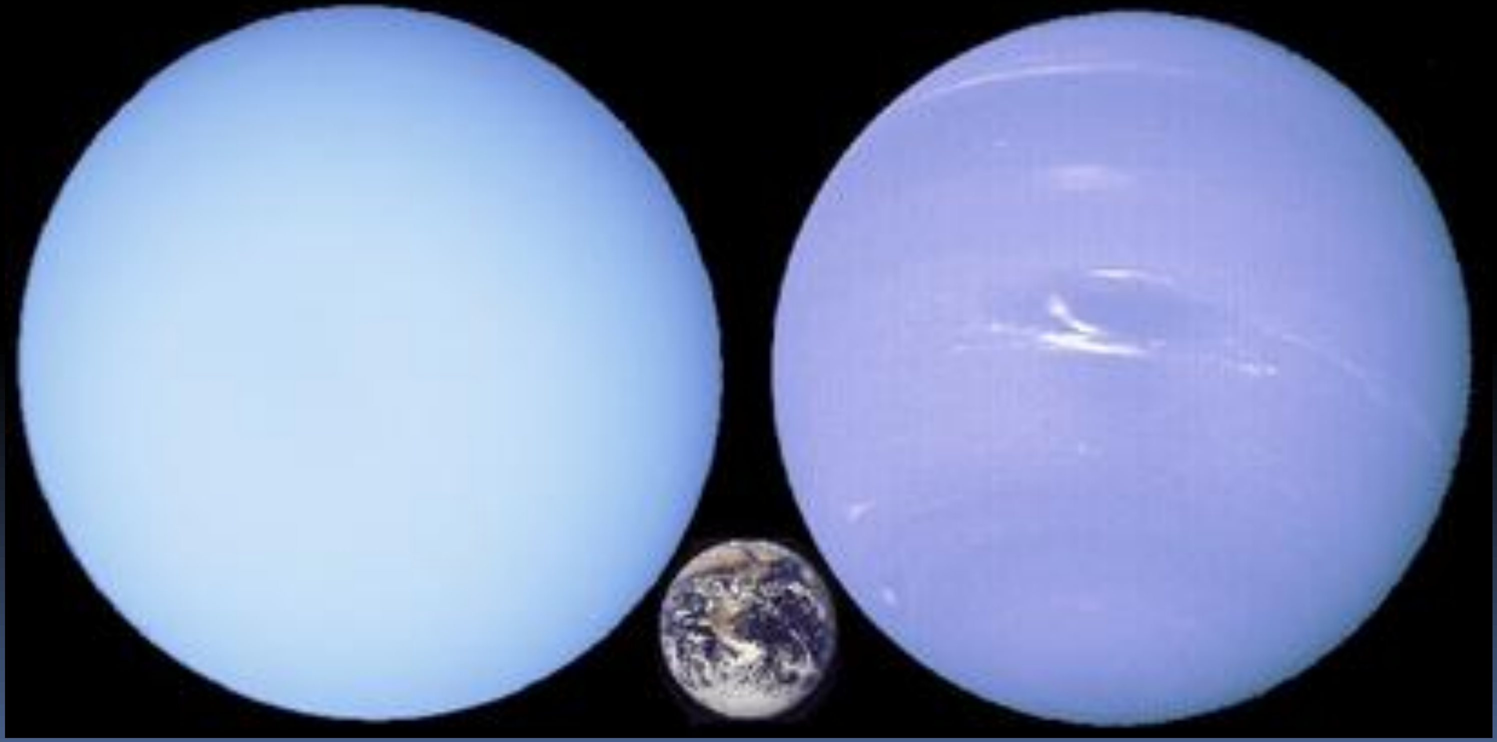
Atmósfera de Nitrógeno
Temperatura media = 100 K
Presión > 1 atm.
Criovulcanismo
Metano sólido en superficie
Lagos de nitrógeno

# Mayores satélites


Triton
Europe
Lune
Io
Callisto
Titan
Ganymède

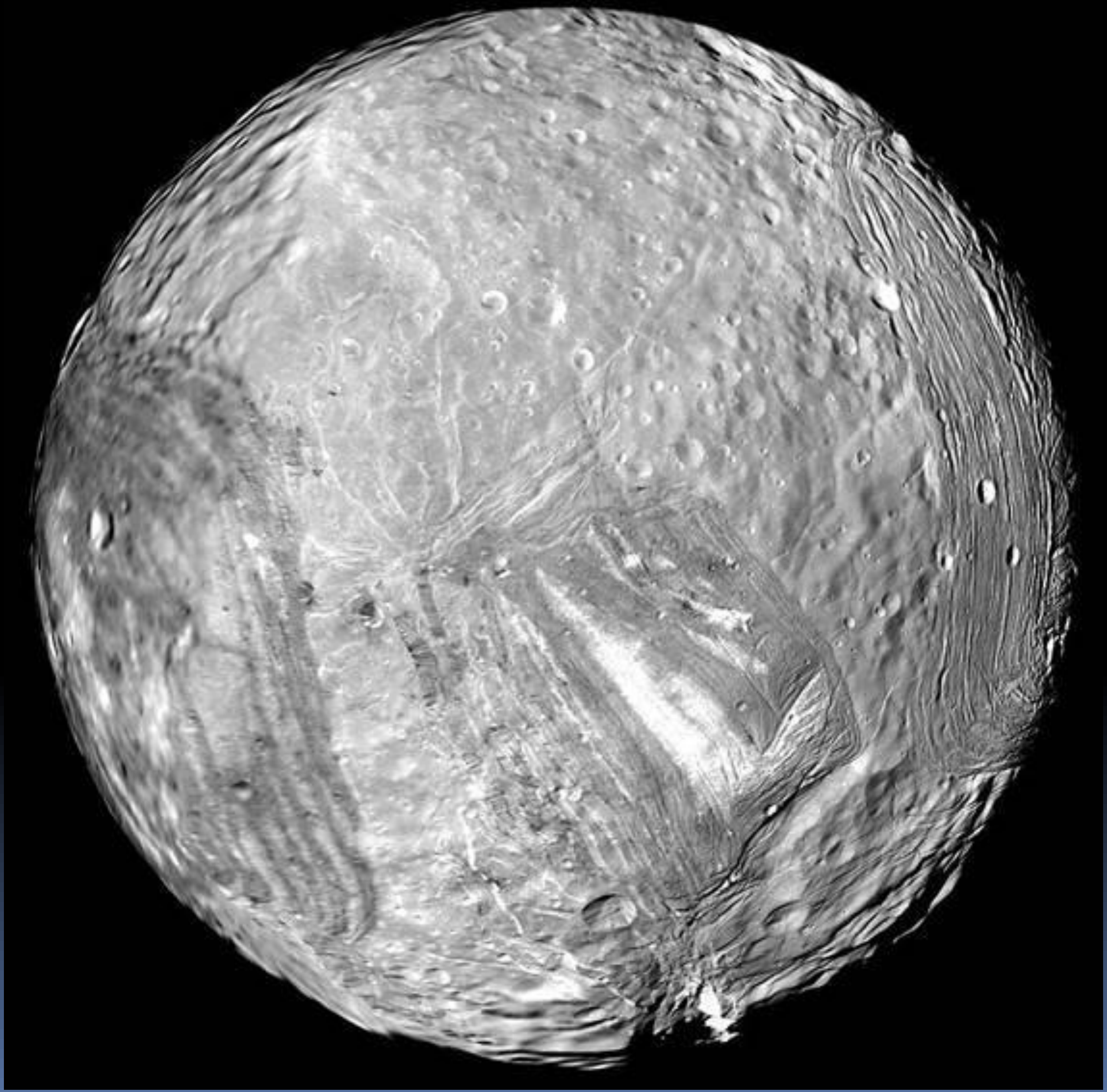
# Urano y Neptuno

$CH_4 + NH_3$
Temp: 50 K

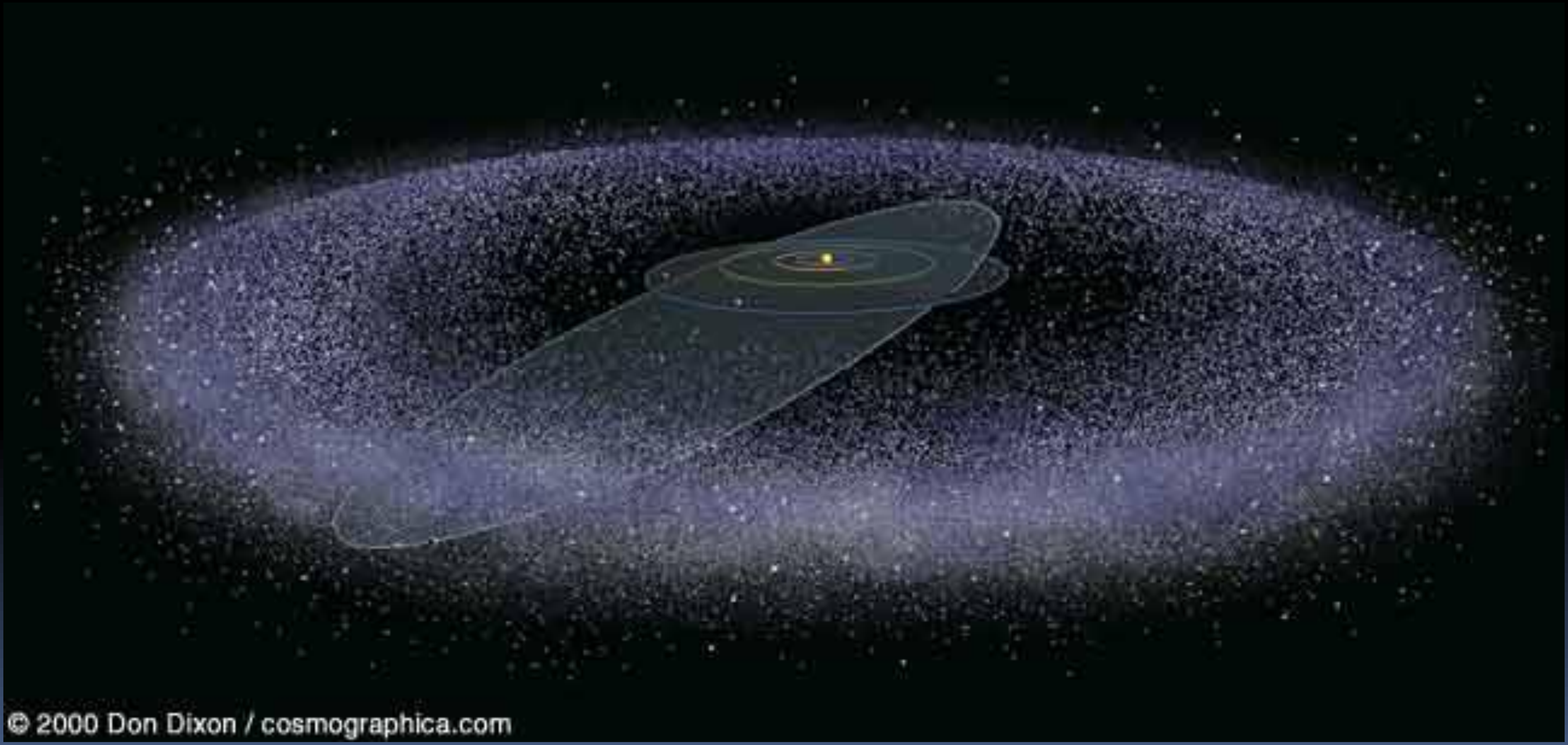


# Miranda

Superficie reprocesada

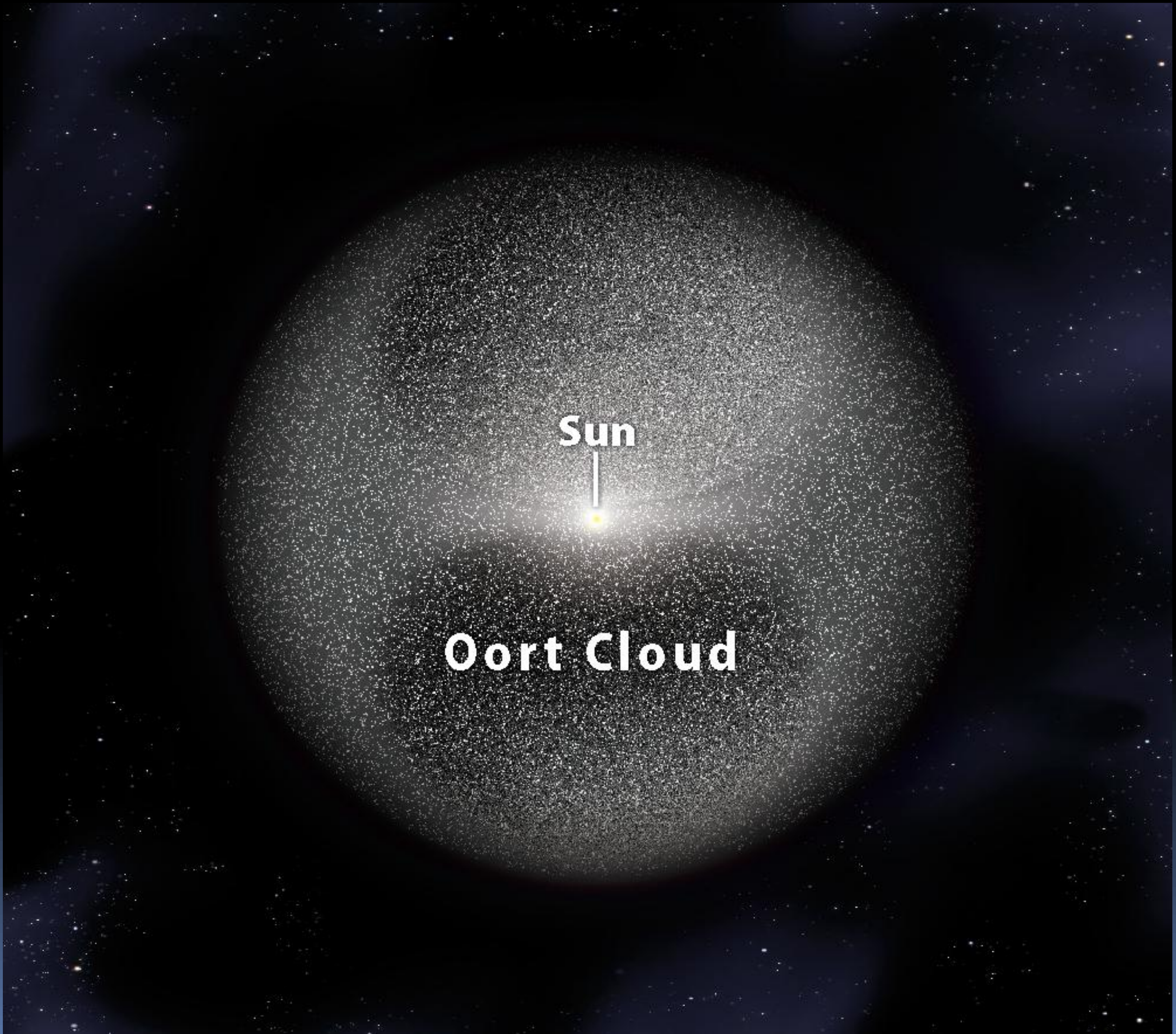


# Cinturón de Kuiper



© 2000 Don Dixon / cosmographica.com

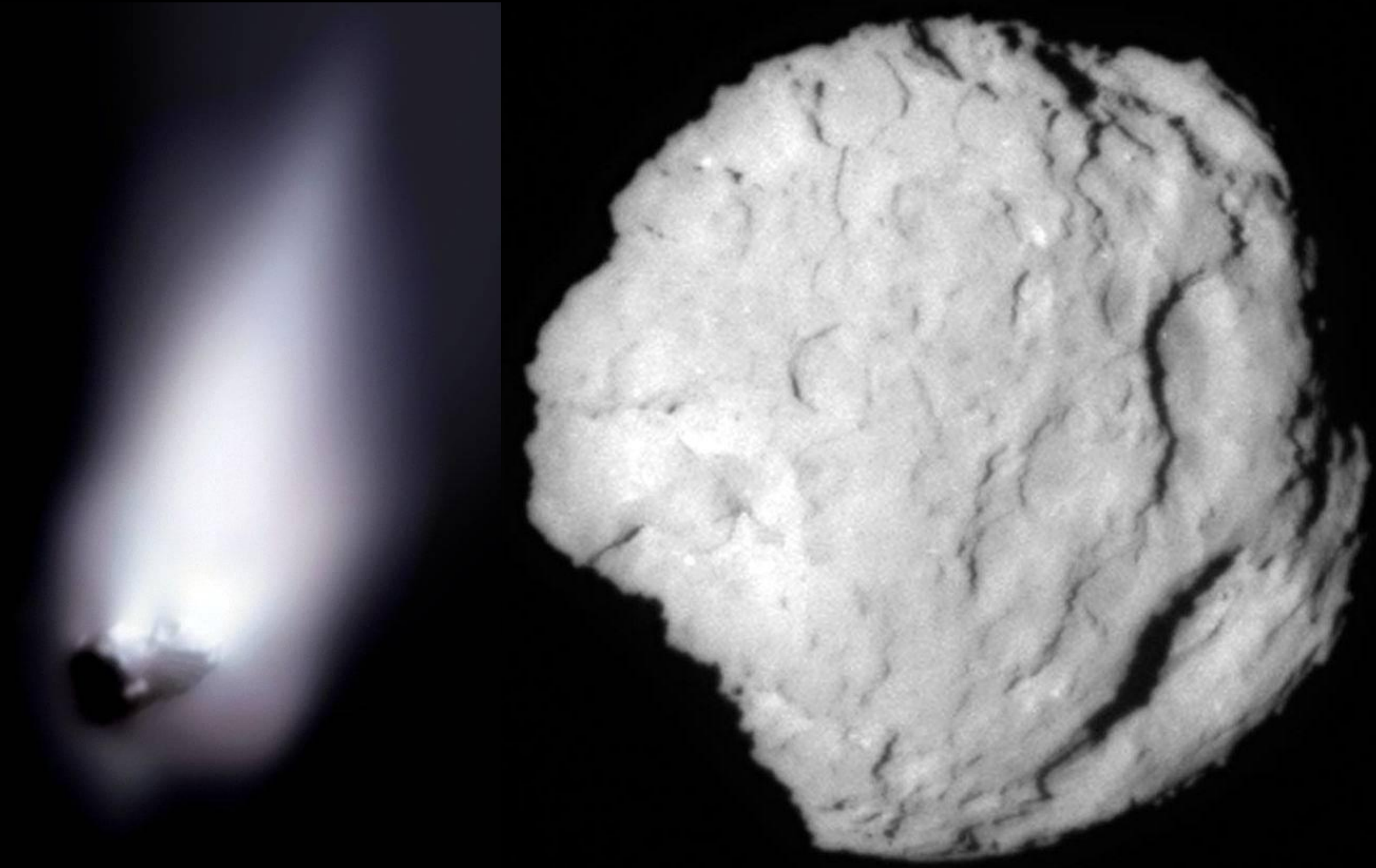
# Nube de Oort


Sun
Oort Cloud

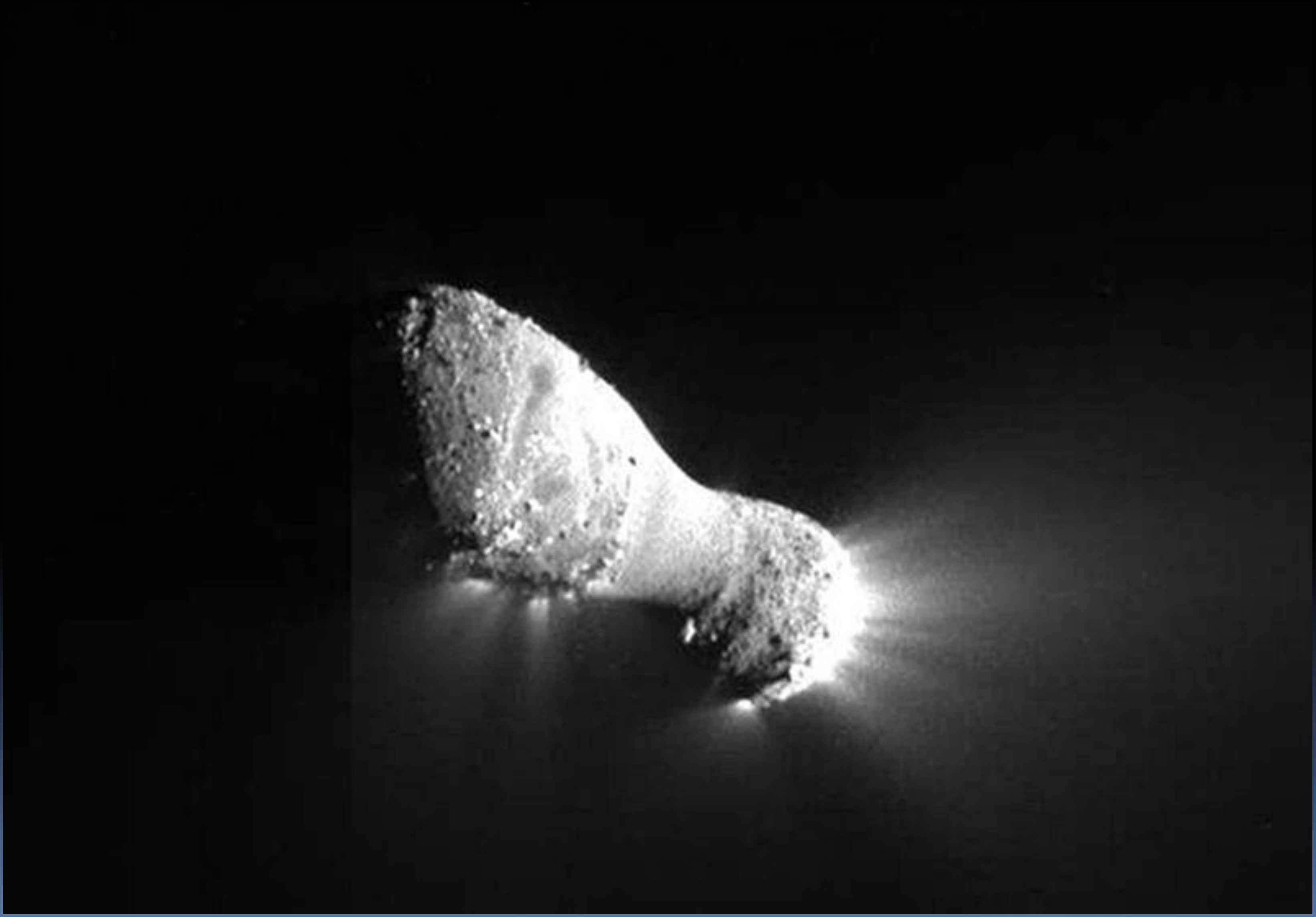
# Cometas

Autor: Giovanni Presenti

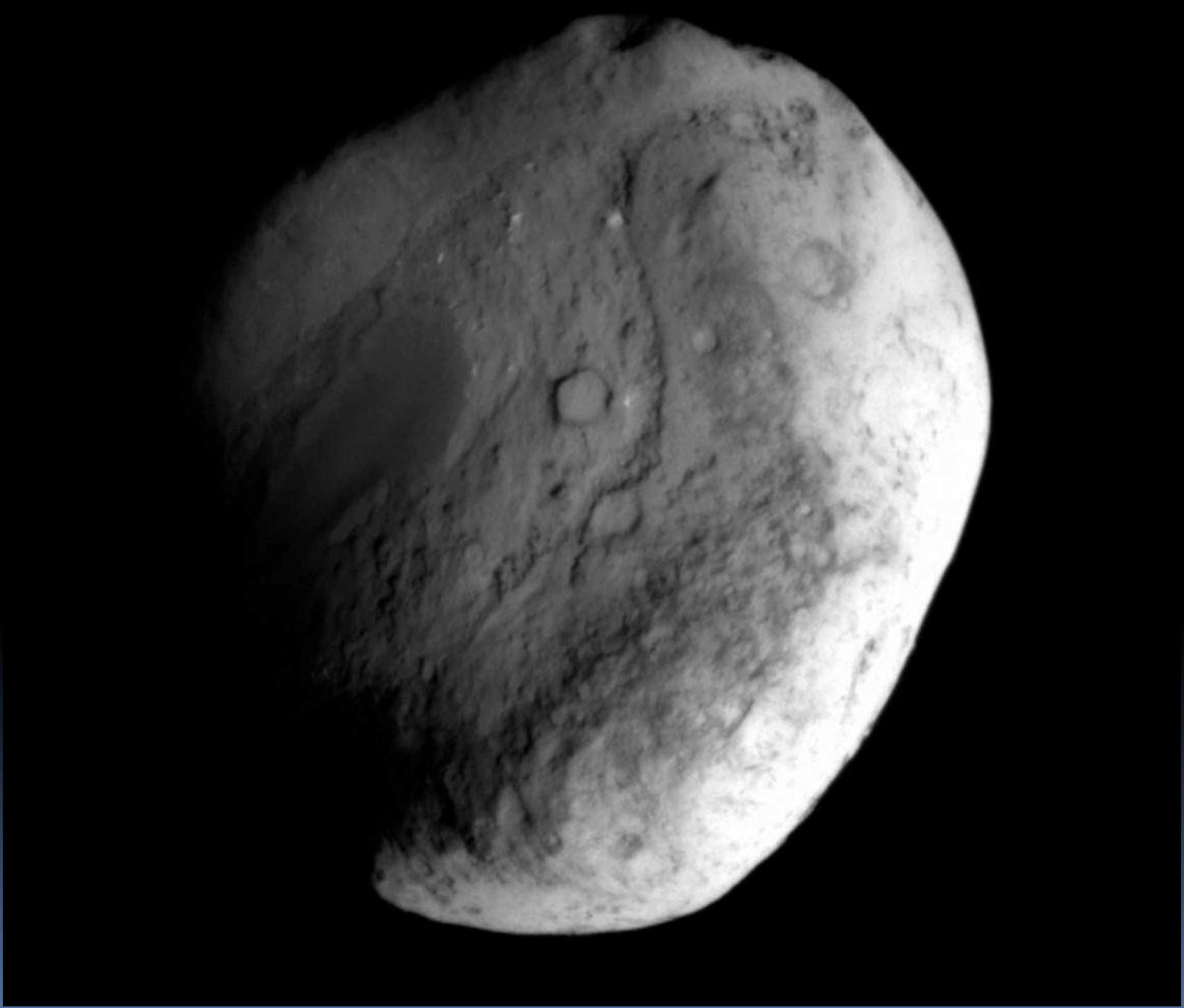
# Núcleo cometario



# Núcleo cometario



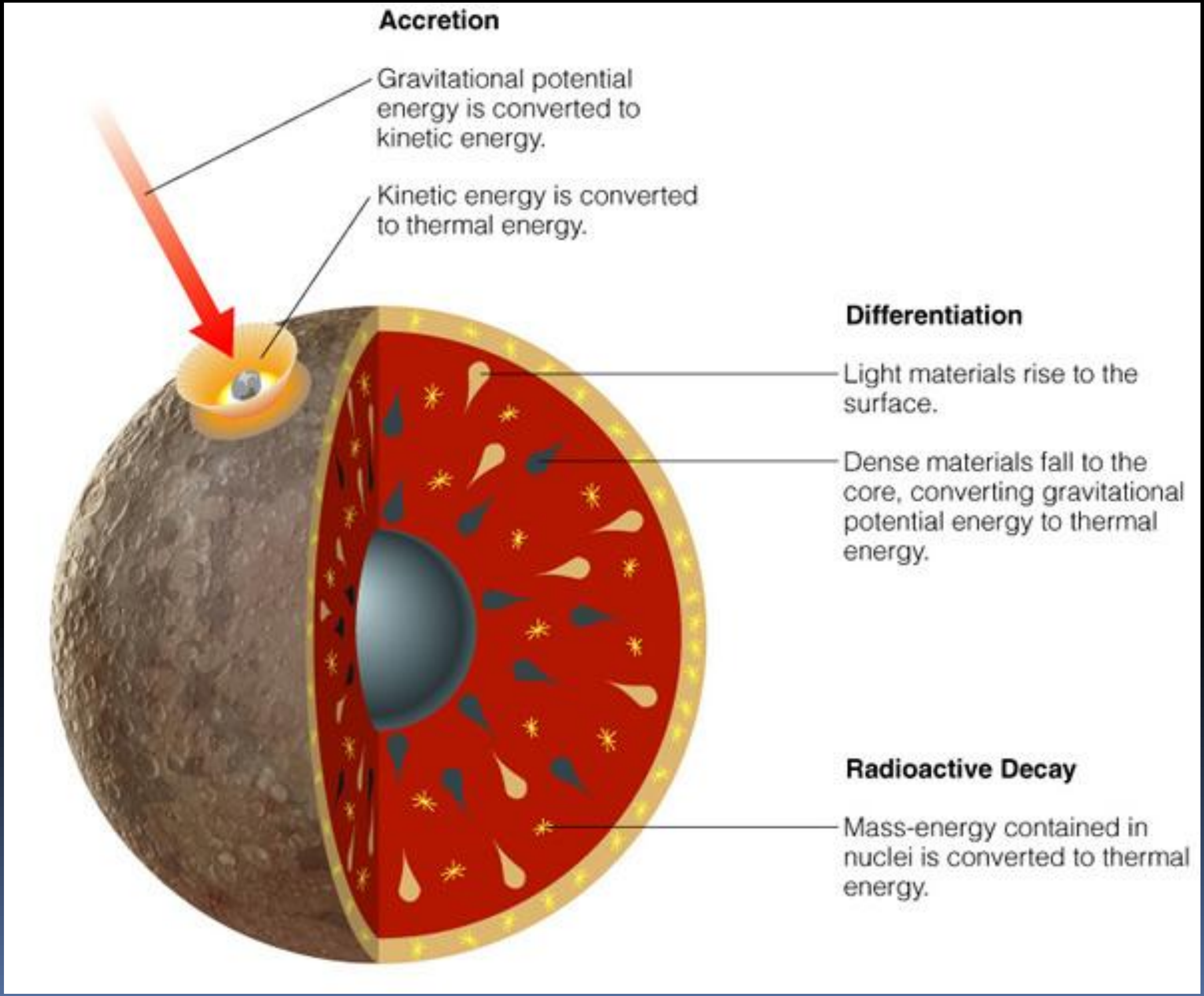
# Cometa Tempel 1



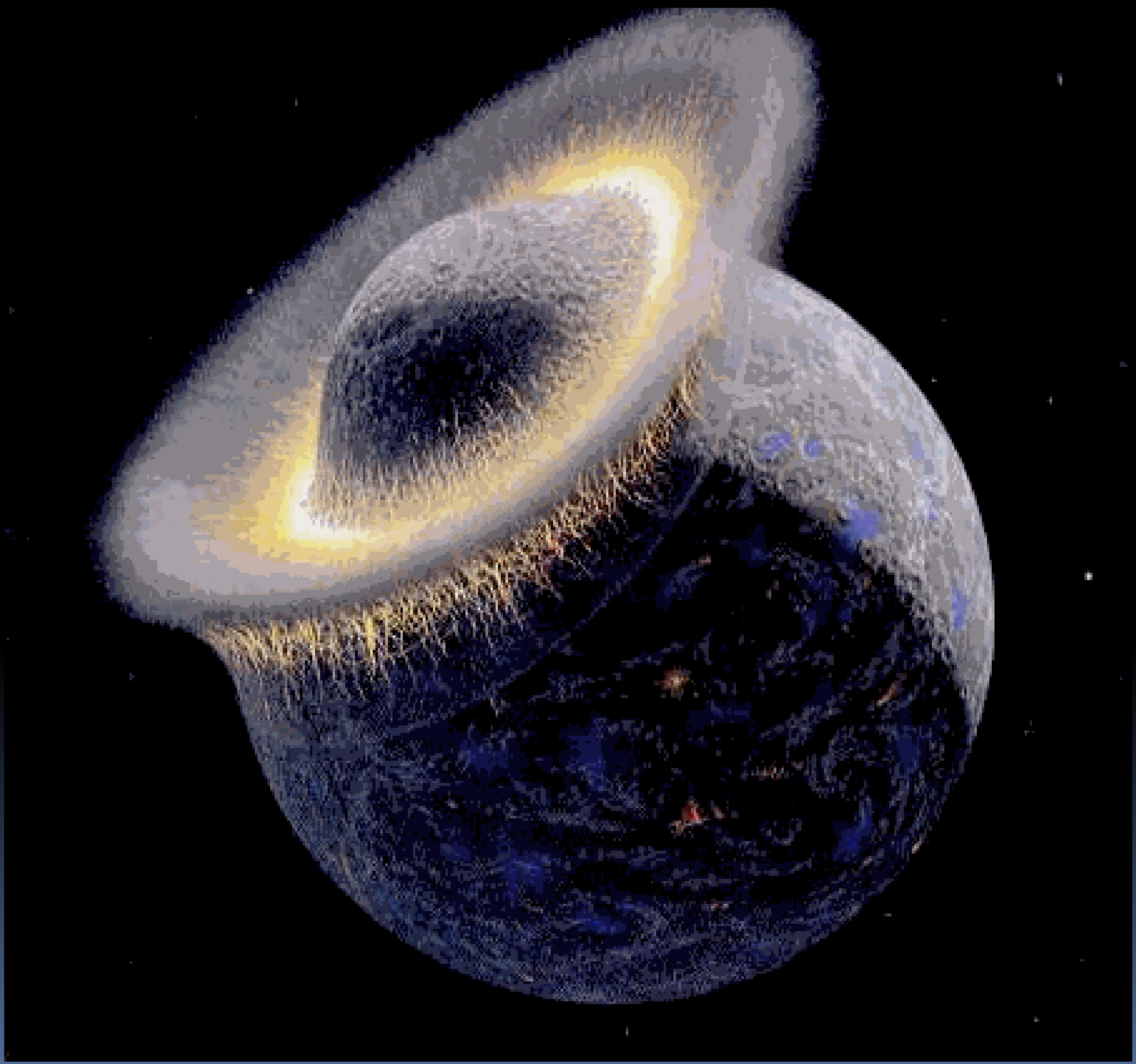
# Impacto

Ricos en “hielos”

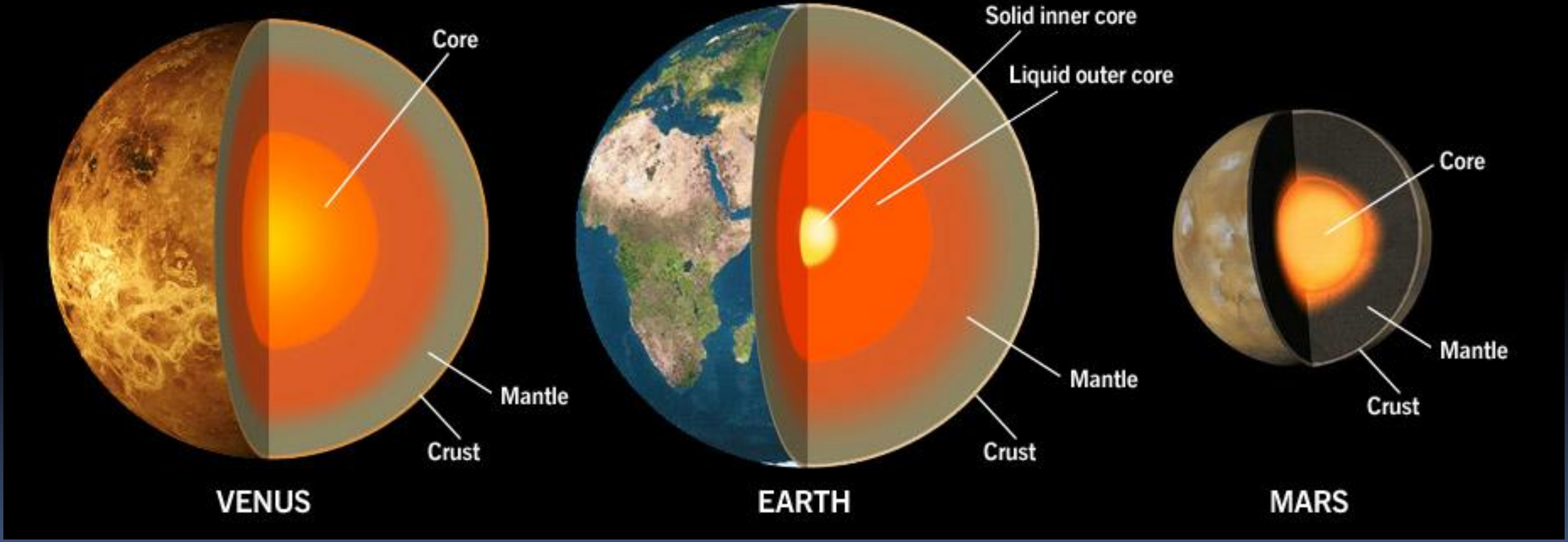
# Formación planetaria:
## etapas finales


**Accretion**
Gravitational potential energy is converted to kinetic energy.
Kinetic energy is converted to thermal energy.
**Differentiation**
Light materials rise to the surface.
Dense materials fall to the core, converting gravitational potential energy to thermal energy.
**Radioactive Decay**
Mass-energy contained in nuclei is converted to thermal energy.

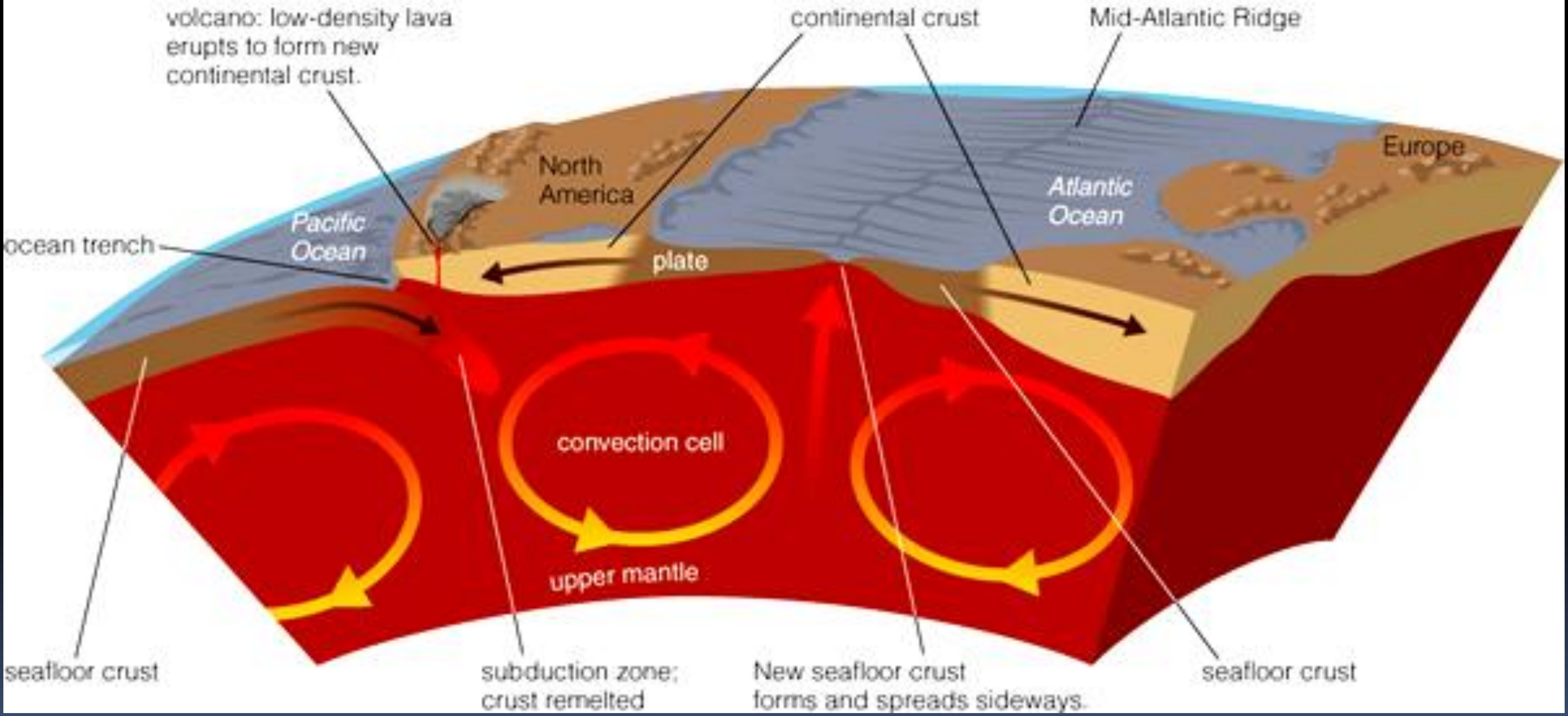
# Formación de la Luna



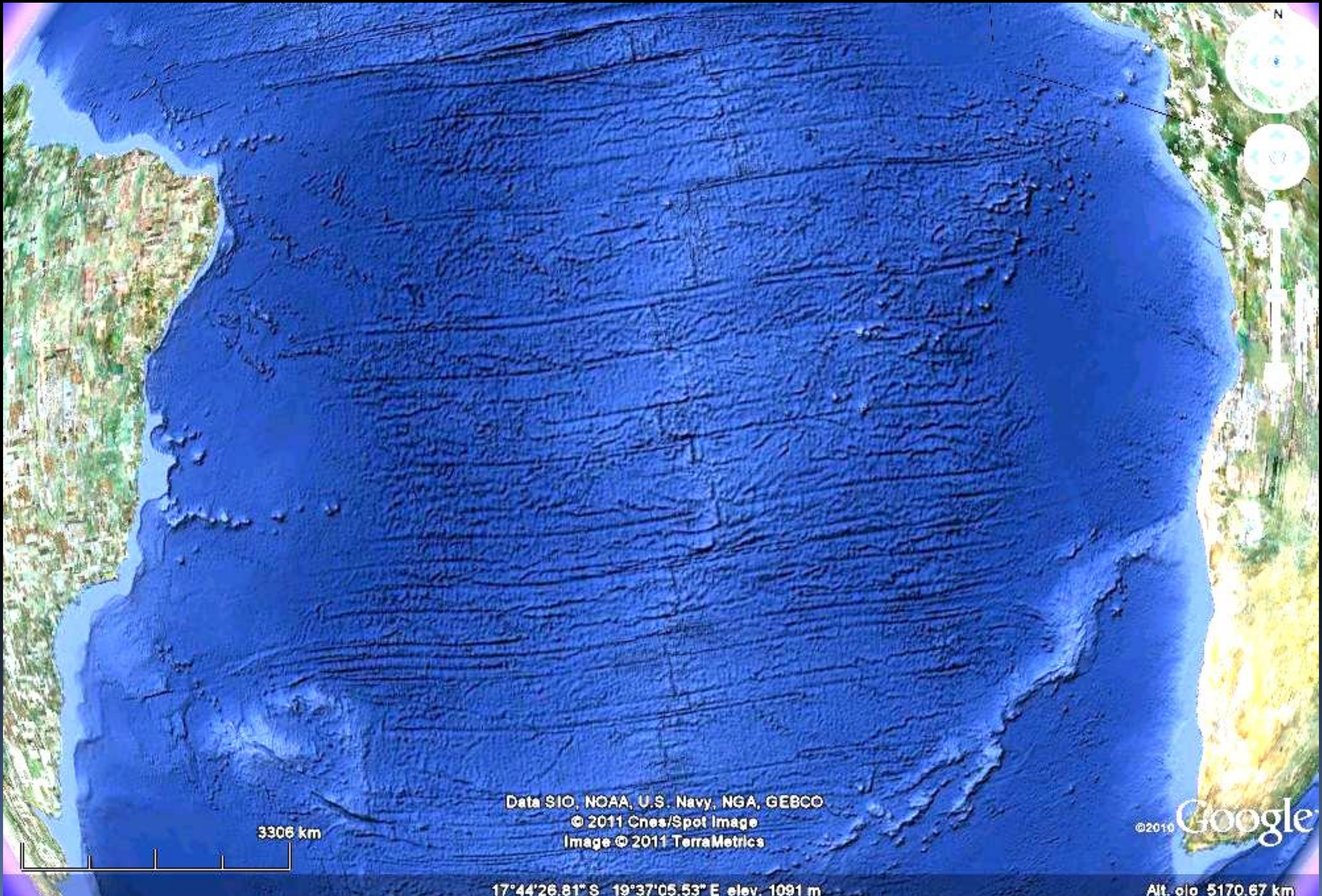
# Evolución planetaria: administración del calor interno


Core
Mantle
Crust
VENUS
Solid inner core
Liquid outer core
Mantle
Crust
EARTH
Core
Mantle
Crust
MARS

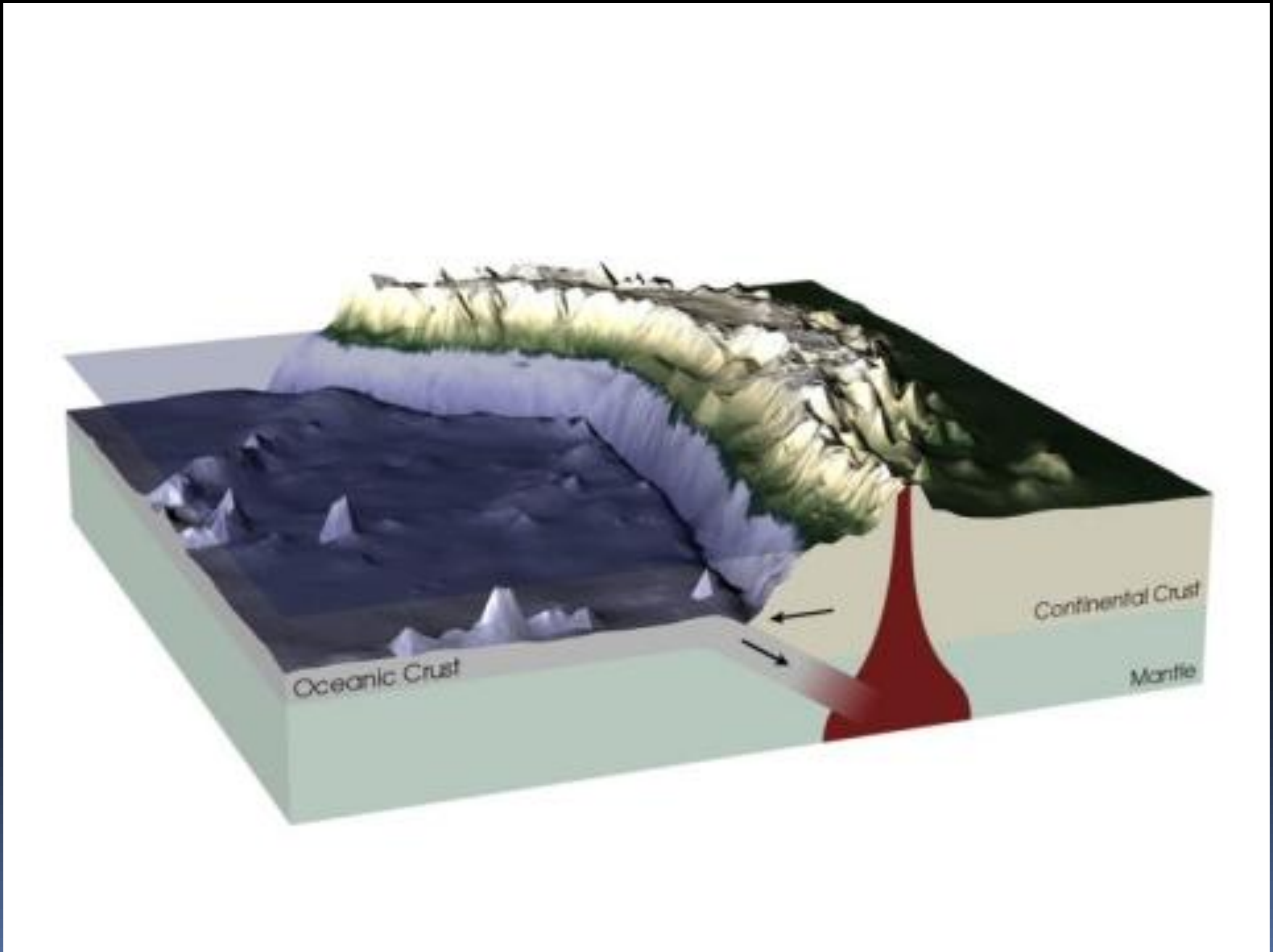
# Tierra:
# renovación superficie y atmósfera


volcano: low-density lava erupts to form new continental crust.
continental crust
Mid-Atlantic Ridge
North America
Europe
Pacific Ocean
Atlantic Ocean
ocean trench
plate
convection cell
upper mantle
seafloor crust
subduction zone: crust remelted
New seafloor crust forms and spreads sideways.
seafloor crust

# Reciente formación de corteza oceánica


N
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
© 2011 Cnes/Spot Image
Image © 2011 TerraMetrics
3306 km
©2010 Google
17°44'26.81" S 19°37'05.53" E elev. 1091 m
Alt. ojo 5170.67 km

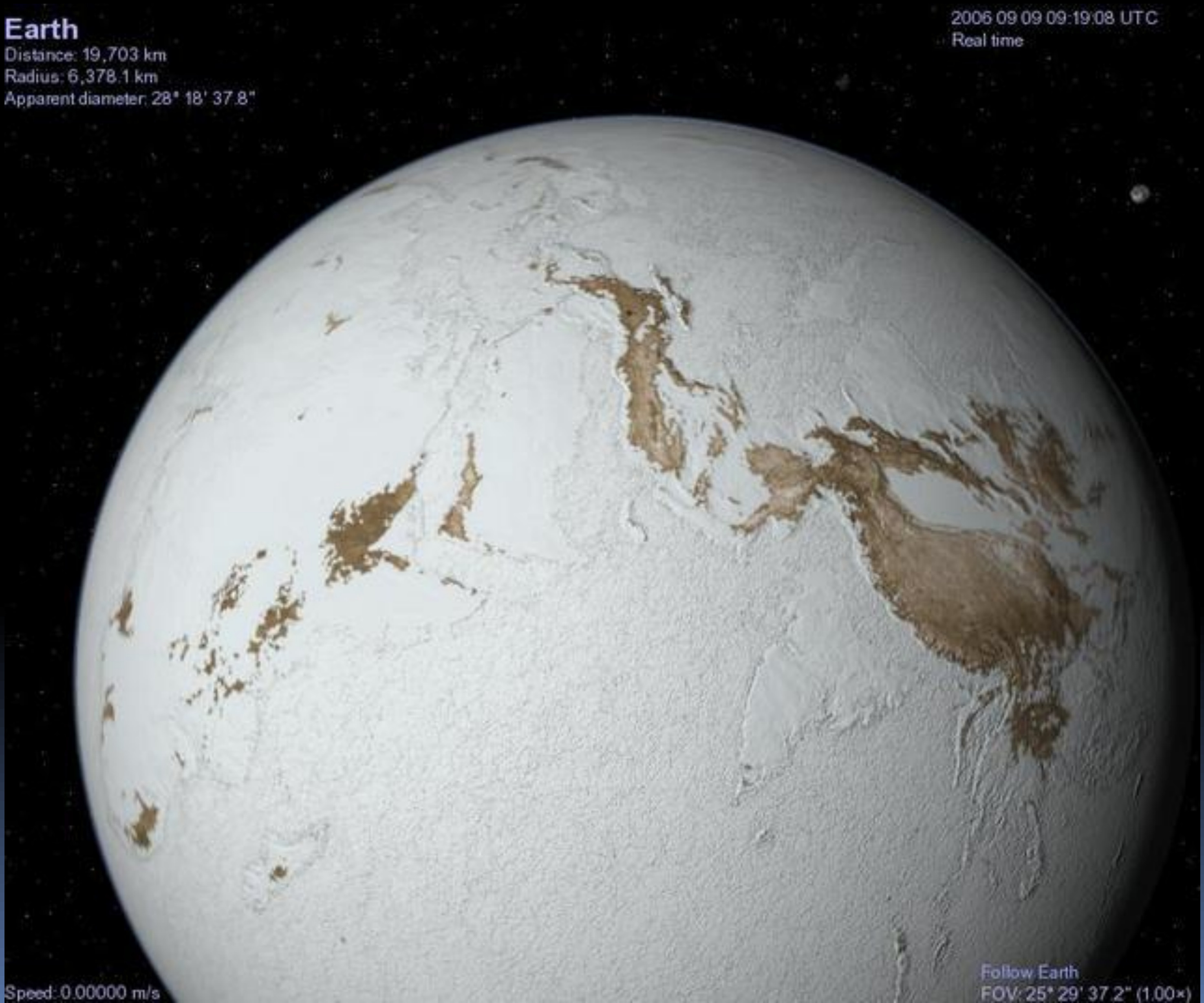
# Reciclaje de $CO_2$


Continental Crust
Mantle
Oceanic Crust

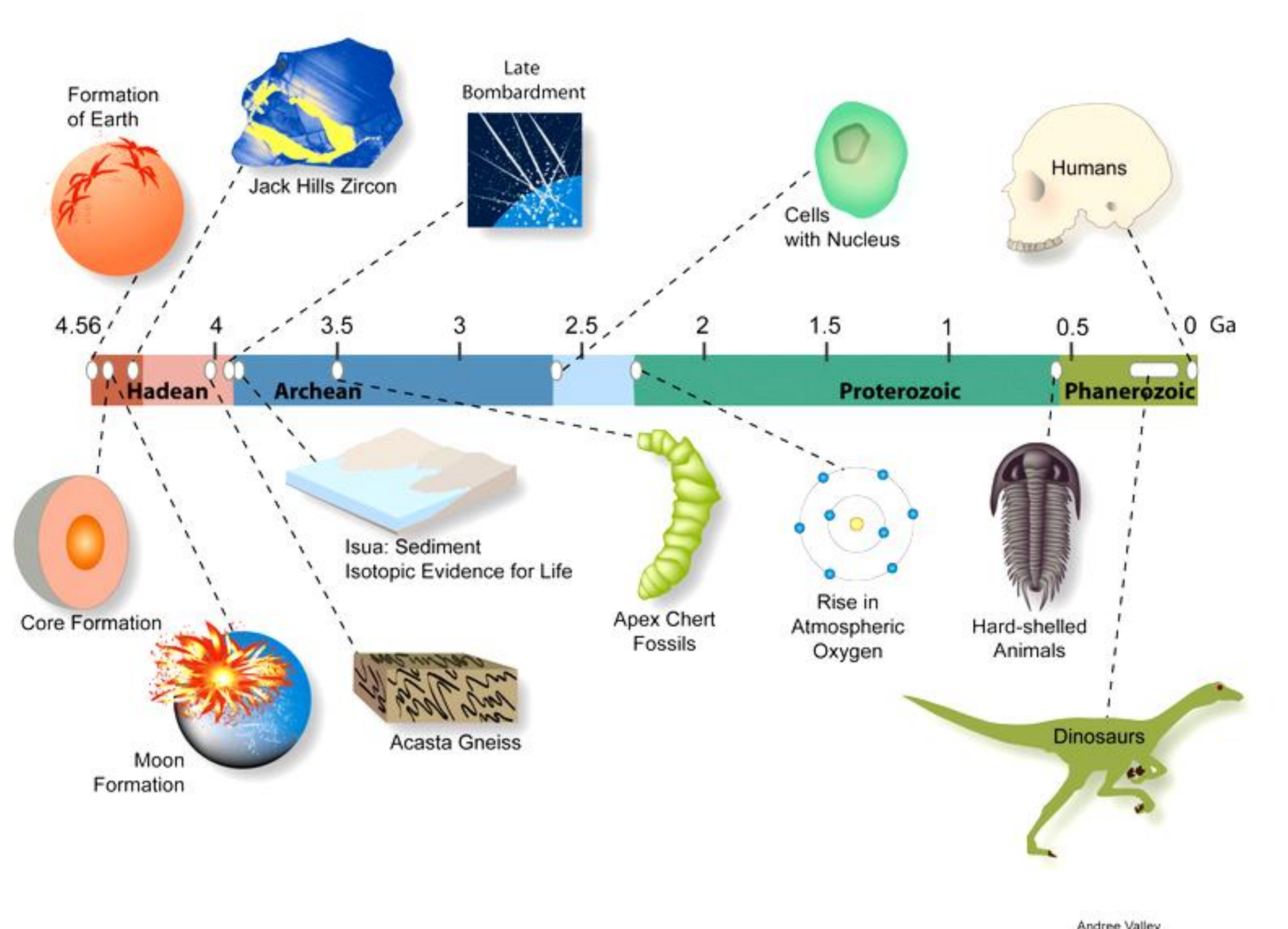
# Ciclo $CO_2$

- Plantas lo absorben y lo fijan al suelo
- Pasa al fondo marino
- Subducción de placas
- Magma volcánico
- Sale a la atmósfera a través de volcanes
- Las plantas lo absorben

# Tierra Bola de Nieve

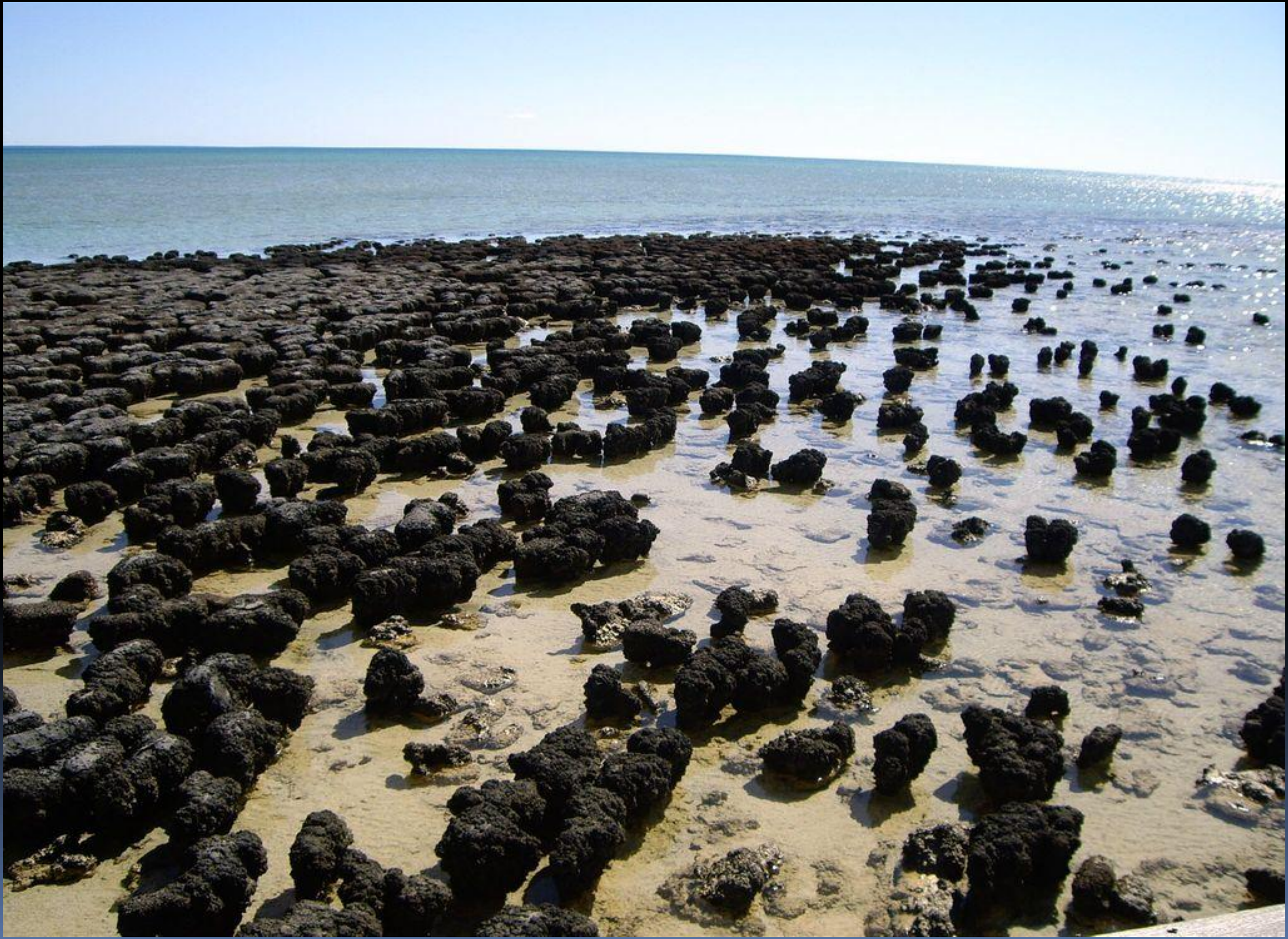

Earth
Distance: 19,703 km
Radius: 6,378.1 km
Apparent diameter: 28° 18' 37.8"
2006 09 09 09:19:08 UTC
Real time
Speed: 0.00000 m/s
Follow Earth
FOV: 25° 29' 37.2" (1.00×)

# Evolución de la Tierra


Formation of Earth
Jack Hills Zircon
Late Bombardment
Cells with Nucleus
Humans
4.56
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
Ga
Hadean
Archean
Proterozoic
Phanerozoic
Core Formation
Moon Formation
Isua: Sediment Isotopic Evidence for Life
Acasta Gneiss
Apex Chert Fossils
Rise in Atmospheric Oxygen
Hard-shelled Animals
Dinosaurs

Andree Valley

# ESTROMATOLITOS: 3500 millones de años



# Vida ←→ ADN

# Complejidad creciente

- Partículas subatómicas
- Átomos
- Moléculas
- Proteínas (miles de átomos)
- Virus (ADN, miles de millones de átomos)
- Células procariotas (sin núcleo diferenciado)
- Células eucariotas (con núcleo, bacterias)
- Organismos pluricelulares
- Plantas
- Animales (sistema nervioso, cerebro)

# Evolución de la Vida

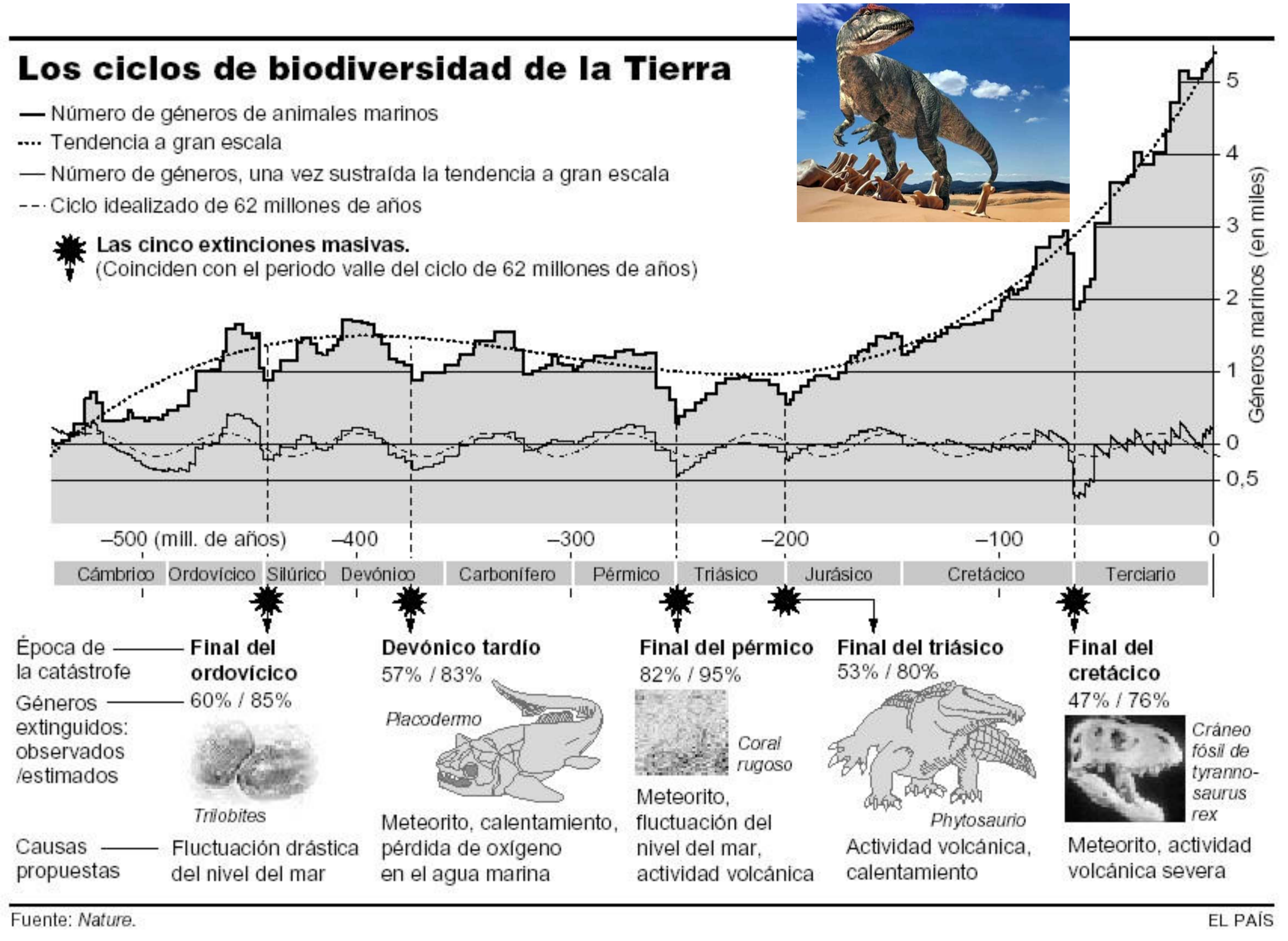
- Surgió "rápidamente"
- ¿Contribución de meteoritos?
- En los océanos (protección UV)
- Unicelulares: durante 2000 MA. Extraen $CO_2$ y liberan oxígeno

OXIGENO:
energía y protección UV

# Evolución de la Vida

- Pluricelulares y mezcla de ADN: en los últimos 1200 MA
- Colonización de la superficie: hace 500 MA
- Animales que se alimentan de plantas
- Animales que se alimentan de animales
- Cerebro: coordinación de información

# Extinciones masivas



## Los ciclos de biodiversidad de la Tierra

— Número de géneros de animales marinos

···· Tendencia a gran escala

— Número de géneros, una vez sustraída la tendencia a gran escala

- - Ciclo idealizado de 62 millones de años

**Las cinco extinciones masivas.**
(Coinciden con el periodo valle del ciclo de 62 millones de años)

| Época de la catástrofe | **Final del ordovícico** | **Devónico tardío** | **Final del pérmico** | **Final del triásico** | **Final del cretácico** |
|---|---|---|---|---|---|
| Géneros extinguidos: observados /estimados | 60% / 85% | 57% / 83% | 82% / 95% | 53% / 80% | 47% / 76% |
| Causas propuestas | Fluctuación drástica del nivel del mar | Meteorito, calentamiento, pérdida de oxígeno en el agua marina | Meteorito, fluctuación del nivel del mar, actividad volcánica | Actividad volcánica, calentamiento | Meteorito, actividad volcánica severa |

Fuente: *Nature*.

EL PAÍS

# Frecuencia de impactos actual

- Asteroide de 1km cada 1 millón de años
- Catástrofe regional
- “Invierno nuclear” durante algunos meses

# La vida en el Universo

- La vida parece surgir rápidamente
- Pero evoluciona MUY lentamente al inicio
- Una civilización inteligente demora en surgir
- ¿cuántas deberían existir hoy en condiciones de comunicarse?

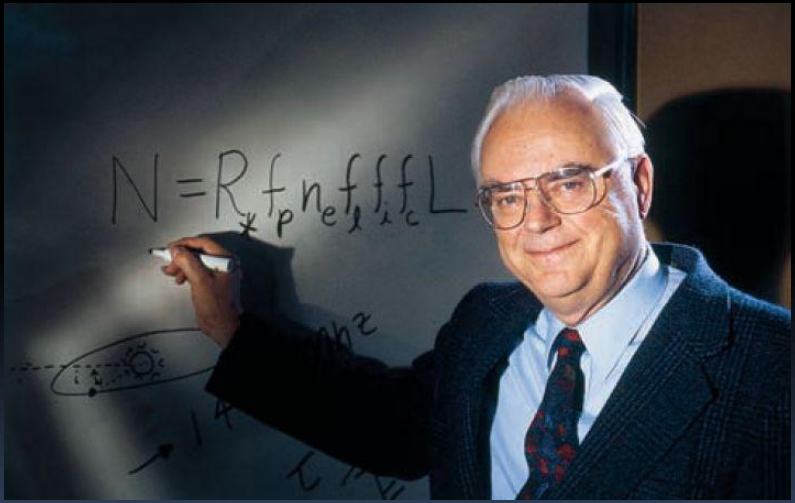
→ Ecuación de Drake

# Ecuación de Drake

$$N = N_{planetas} \times f_{vida} \times f_{civilizacion} \times f_{ahora}$$

$$N = 10^{12} \times 0.1 \times 0.1 \times 100/10.000.000.000$$

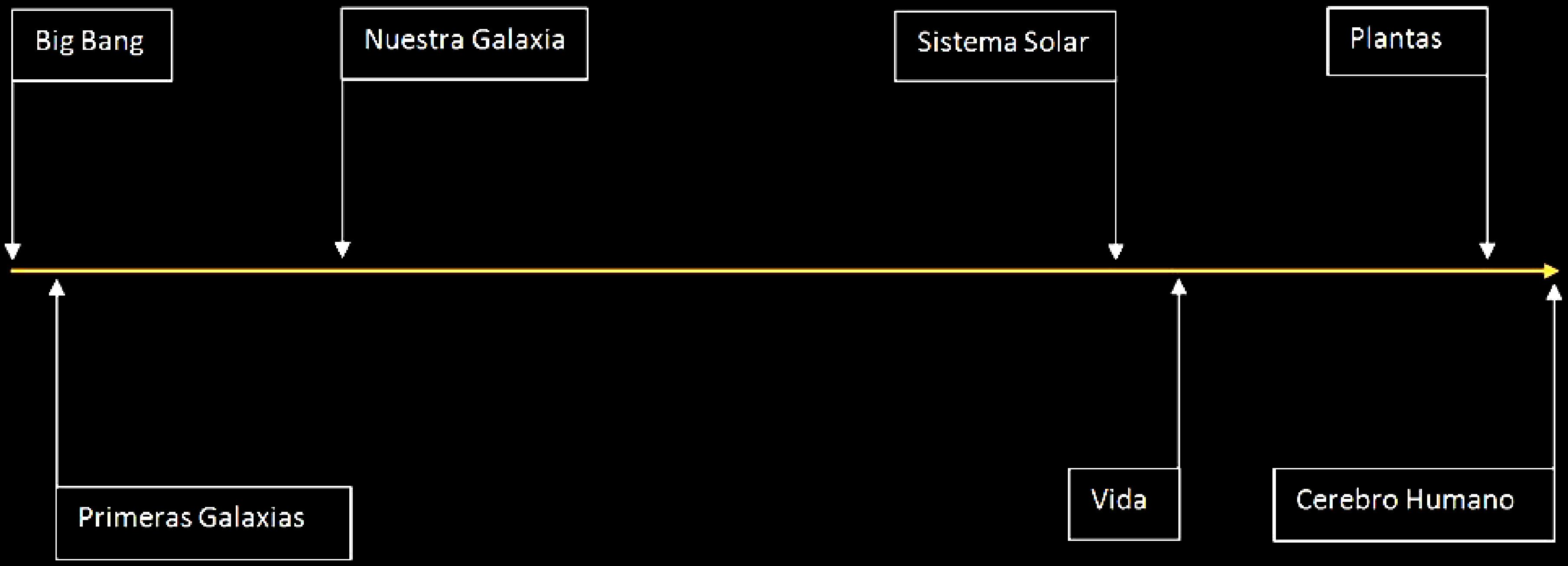
$$N \sim 100 \quad (???)$$


N=R* fp ne fl fi fc L

¿Por qué aún no las encontramos?

# SETI:
# Search Extra-Terrestrial Intelligence

# Resumen



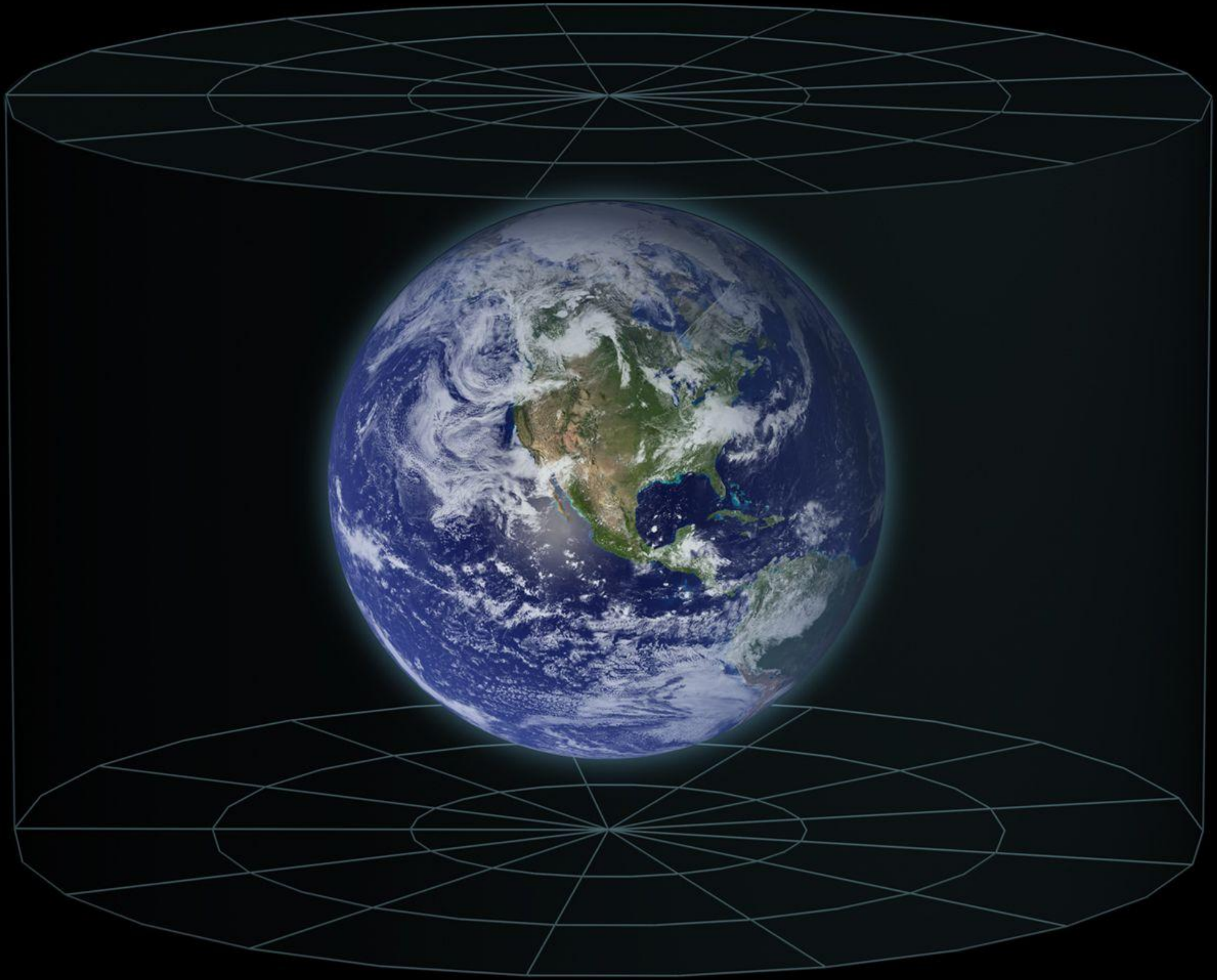
Big Bang
Primeras Galaxias
Nuestra Galaxia
Sistema Solar
Vida
Plantas
Cerebro Humano

Complejidad creciente

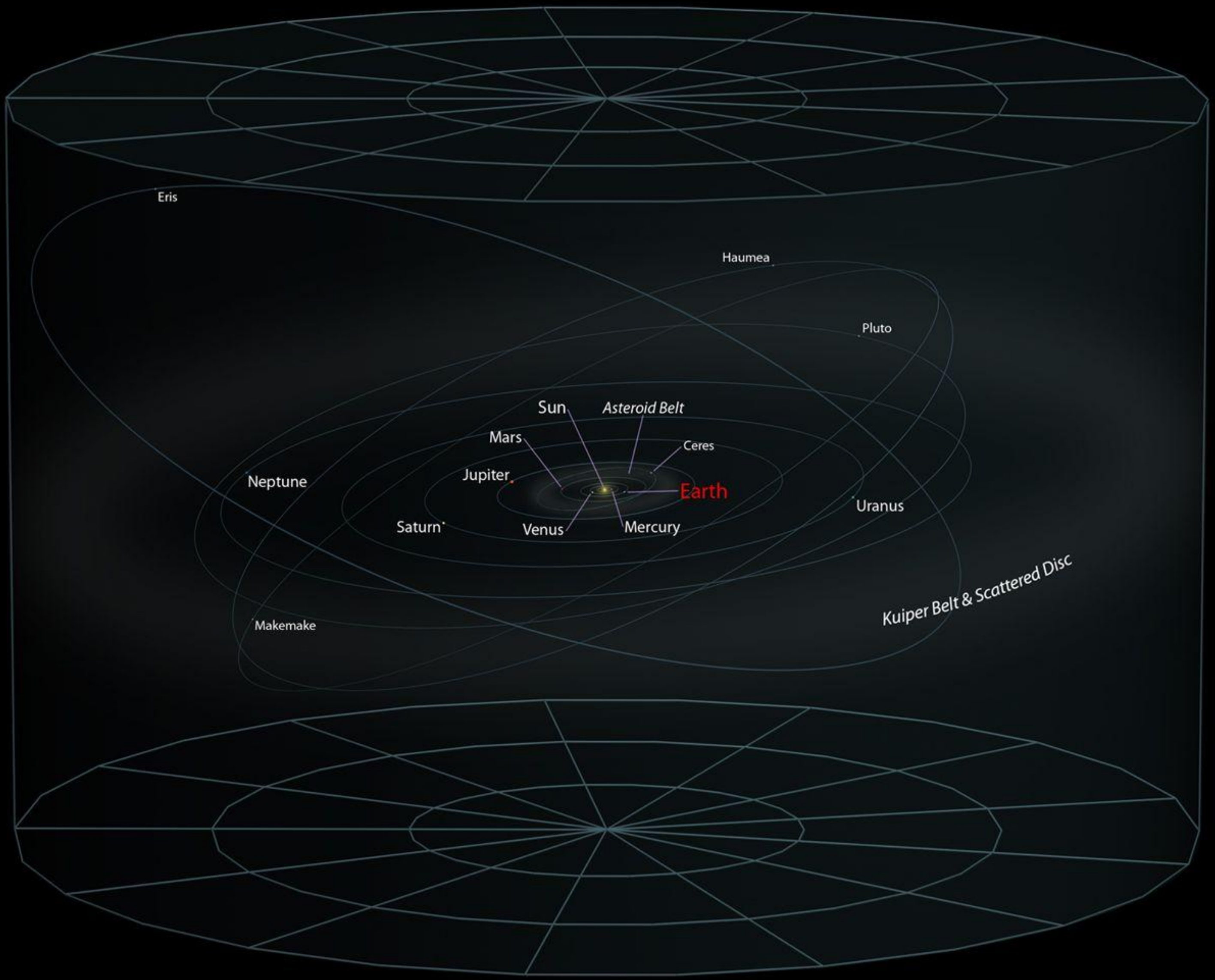
# Bibliografía

- Big History (Fred Spier)
- The Cosmic Perspective
- www.hubblesite.org
- photojournal.jpl.nasa.gov
- www.bighistoryproject.com

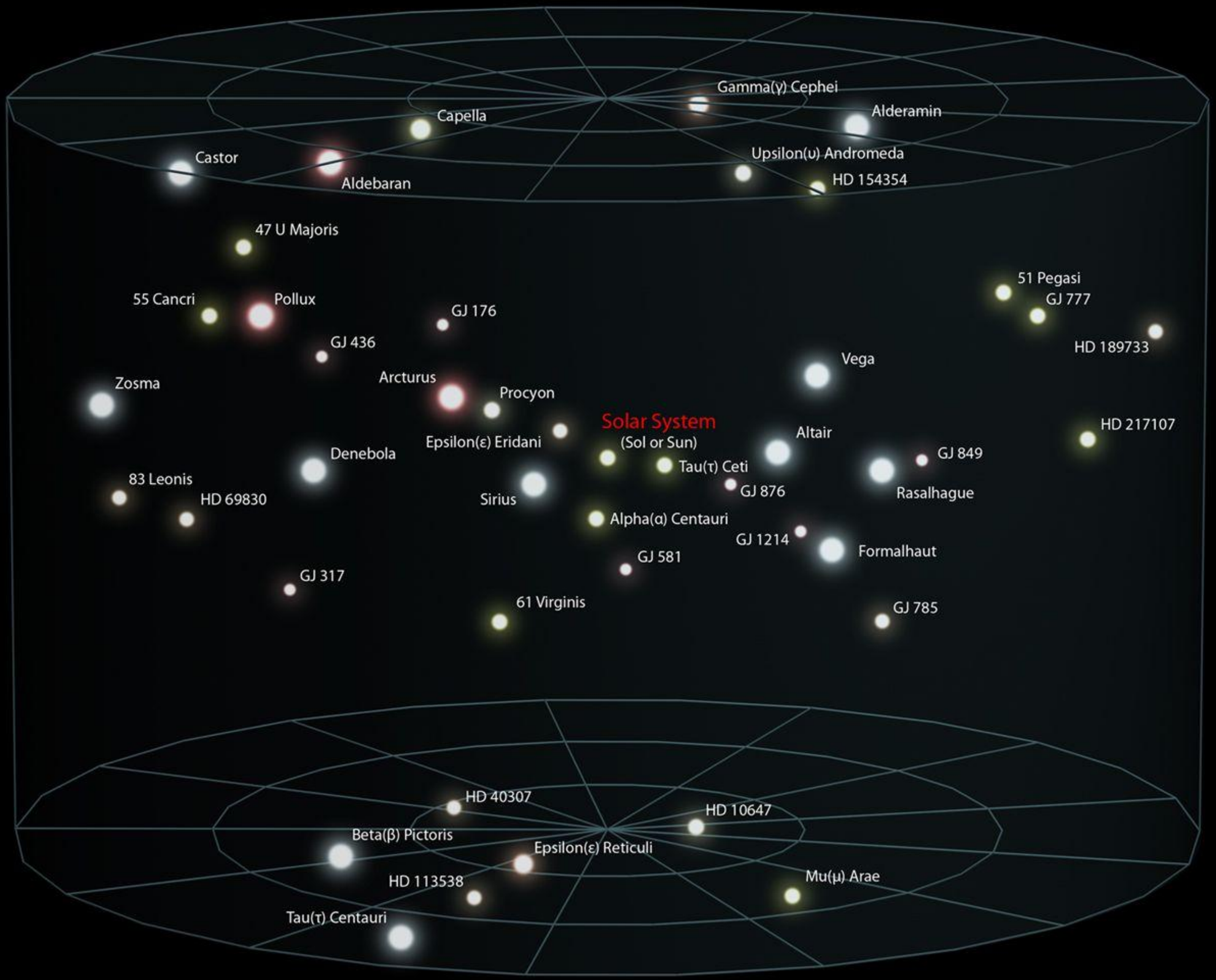
# Earth



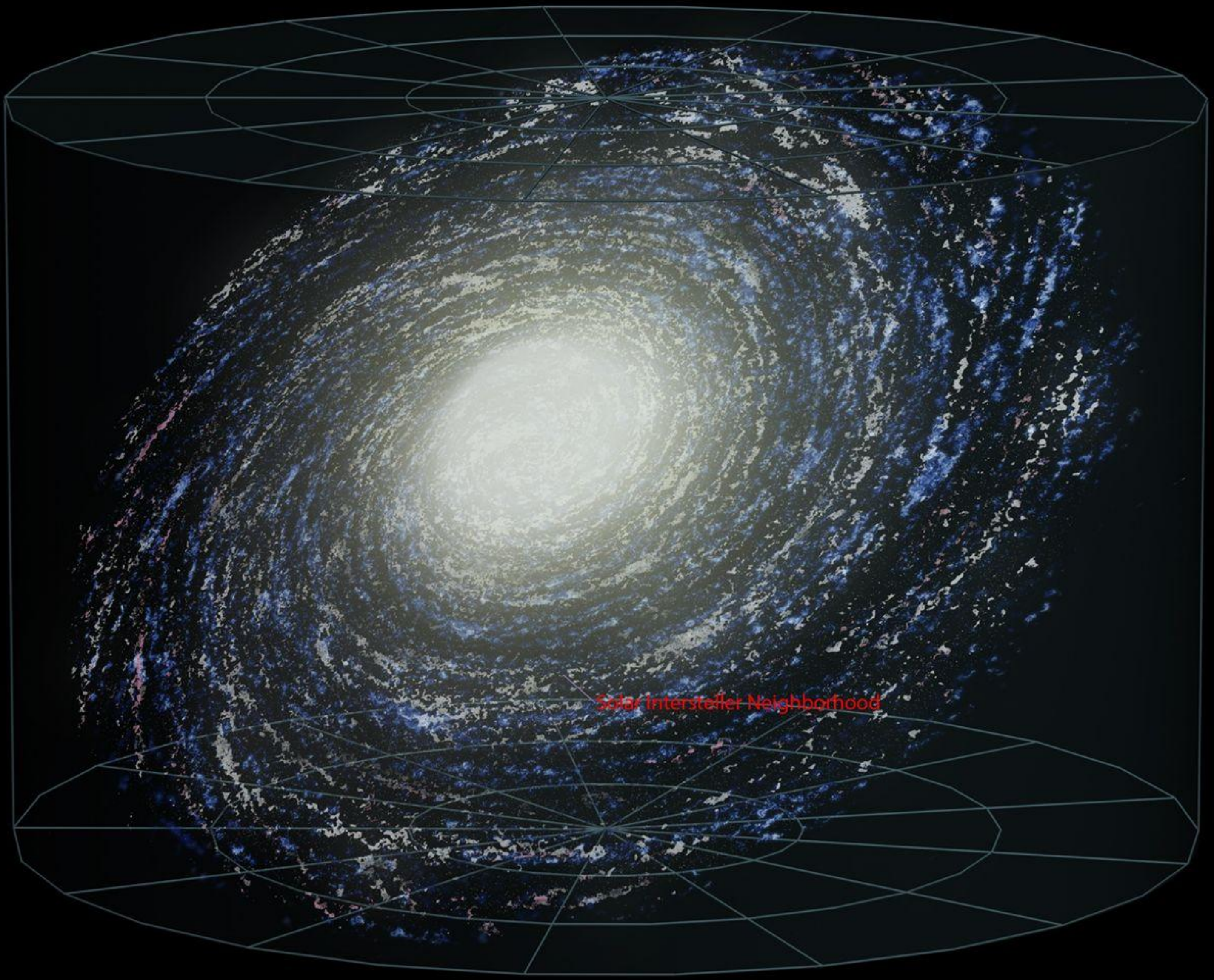
# Solar System


Eris
Haumea
Pluto
Sun
Asteroid Belt
Mars
Ceres
Jupiter
Neptune
Earth
Uranus
Saturn
Venus
Mercury
Kuiper Belt & Scattered Disc
Makemake

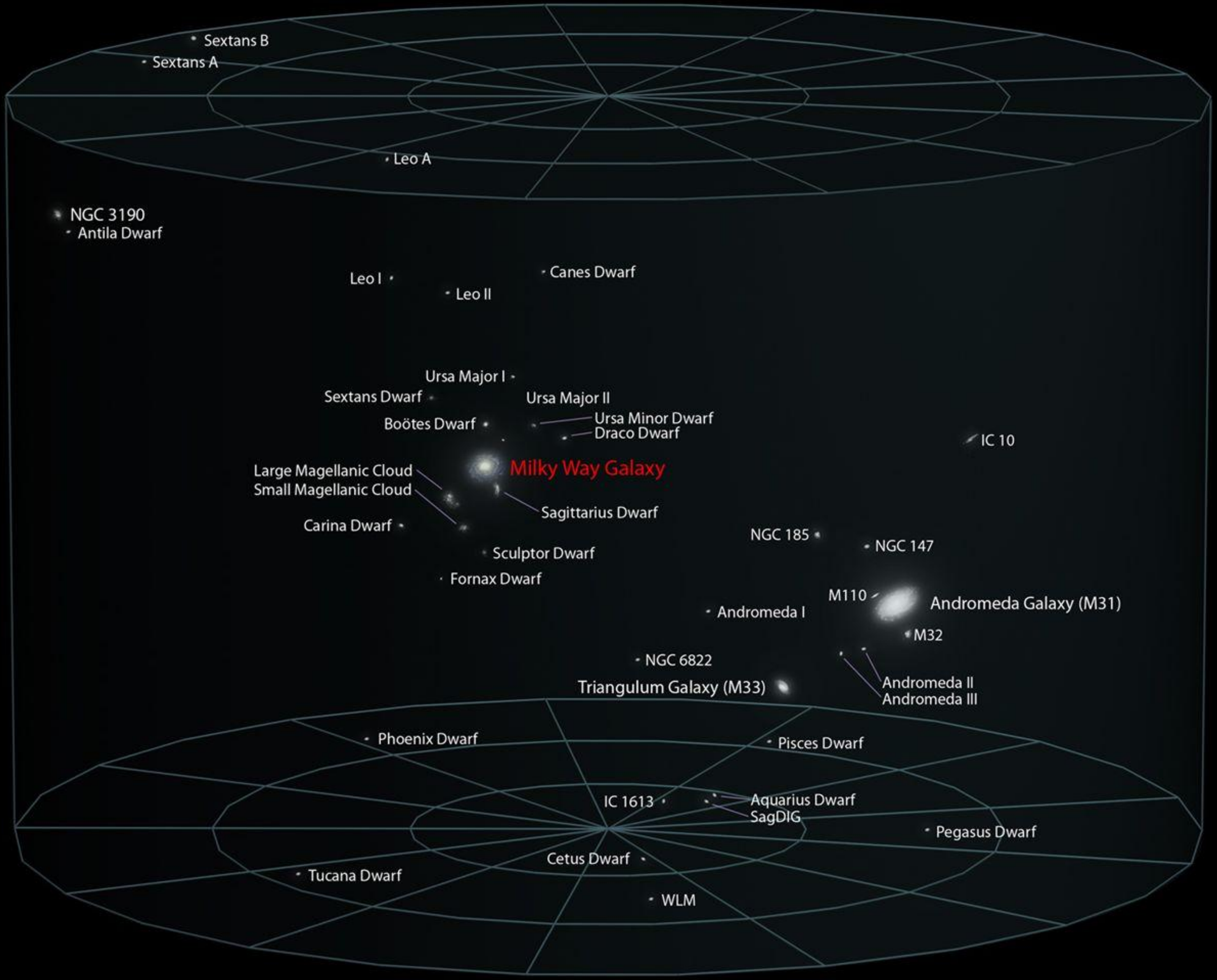
# Solar Interstellar Neighborhood


Gamma(γ) Cephei
Alderamin
Capella
Castor
Aldebaran
Upsilon(υ) Andromeda
HD 154354
47 U Majoris
51 Pegasi
GJ 777
55 Cancri
Pollux
GJ 176
HD 189733
GJ 436
Vega
Zosma
Arcturus
Procyon
Solar System
(Sol or Sun)
HD 217107
Altair
Epsilon(ε) Eridani
GJ 849
Denebola
Tau(τ) Ceti
83 Leonis
GJ 876
Rasalhague
HD 69830
Sirius
Alpha(α) Centauri
GJ 1214
Formalhaut
GJ 581
GJ 317
61 Virginis
GJ 785
HD 40307
HD 10647
Beta(β) Pictoris
Epsilon(ε) Reticuli
HD 113538
Mu(μ) Arae
Tau(τ) Centauri

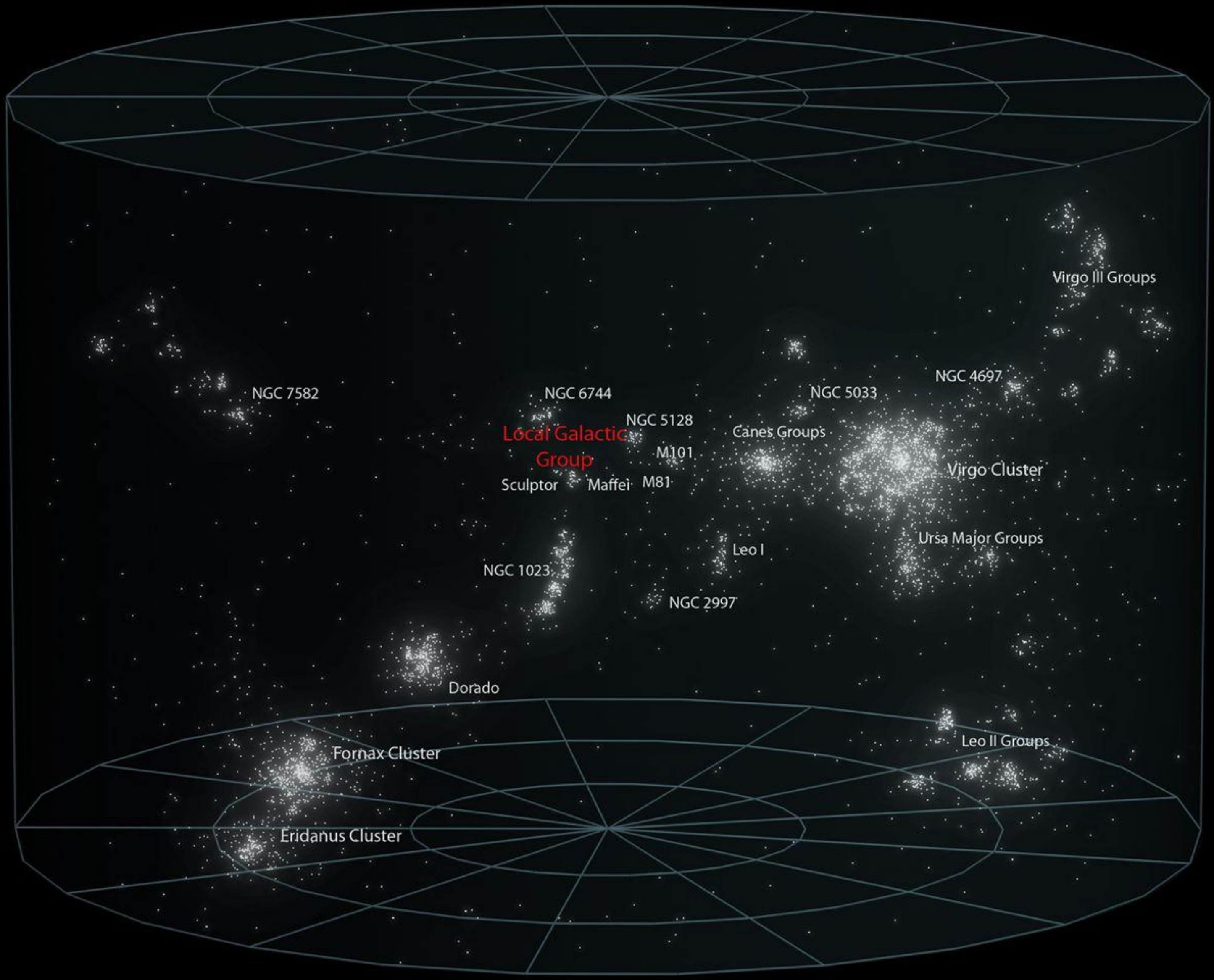
# Milky Way Galaxy


Solar Interstellar Neighborhood

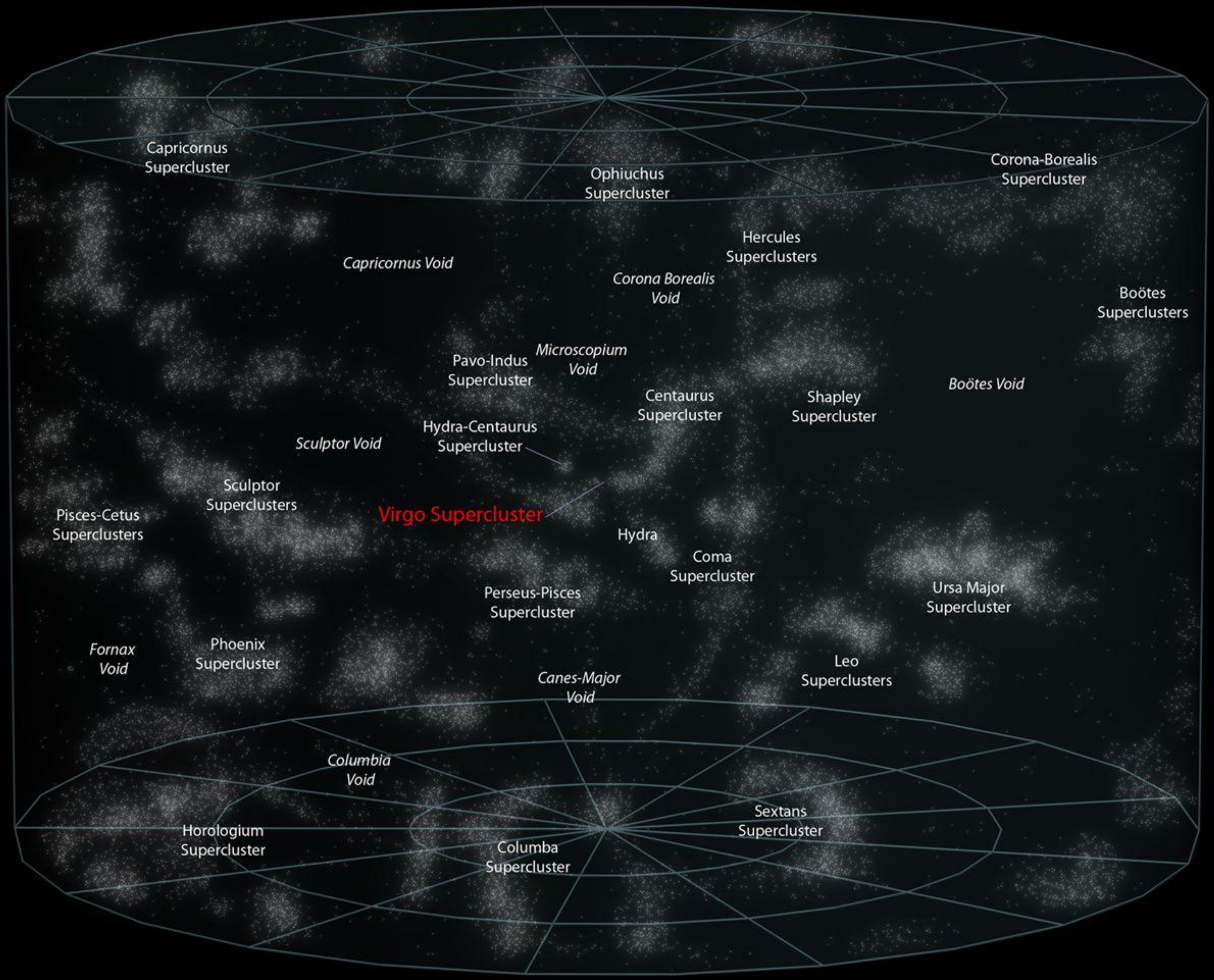
# Local Galactic Group


Sextans B
Sextans A
Leo A
NGC 3190
Antila Dwarf
Leo I
Leo II
Canes Dwarf
Ursa Major I
Sextans Dwarf
Ursa Major II
Boötes Dwarf
Ursa Minor Dwarf
Draco Dwarf
IC 10
Large Magellanic Cloud
Small Magellanic Cloud
Milky Way Galaxy
Sagittarius Dwarf
Carina Dwarf
NGC 185
NGC 147
Sculptor Dwarf
Fornax Dwarf
M110
Andromeda Galaxy (M31)
Andromeda I
M32
NGC 6822
Triangulum Galaxy (M33)
Andromeda II
Andromeda III
Phoenix Dwarf
Pisces Dwarf
IC 1613
Aquarius Dwarf
SagDIG
Pegasus Dwarf
Cetus Dwarf
Tucana Dwarf
WLM

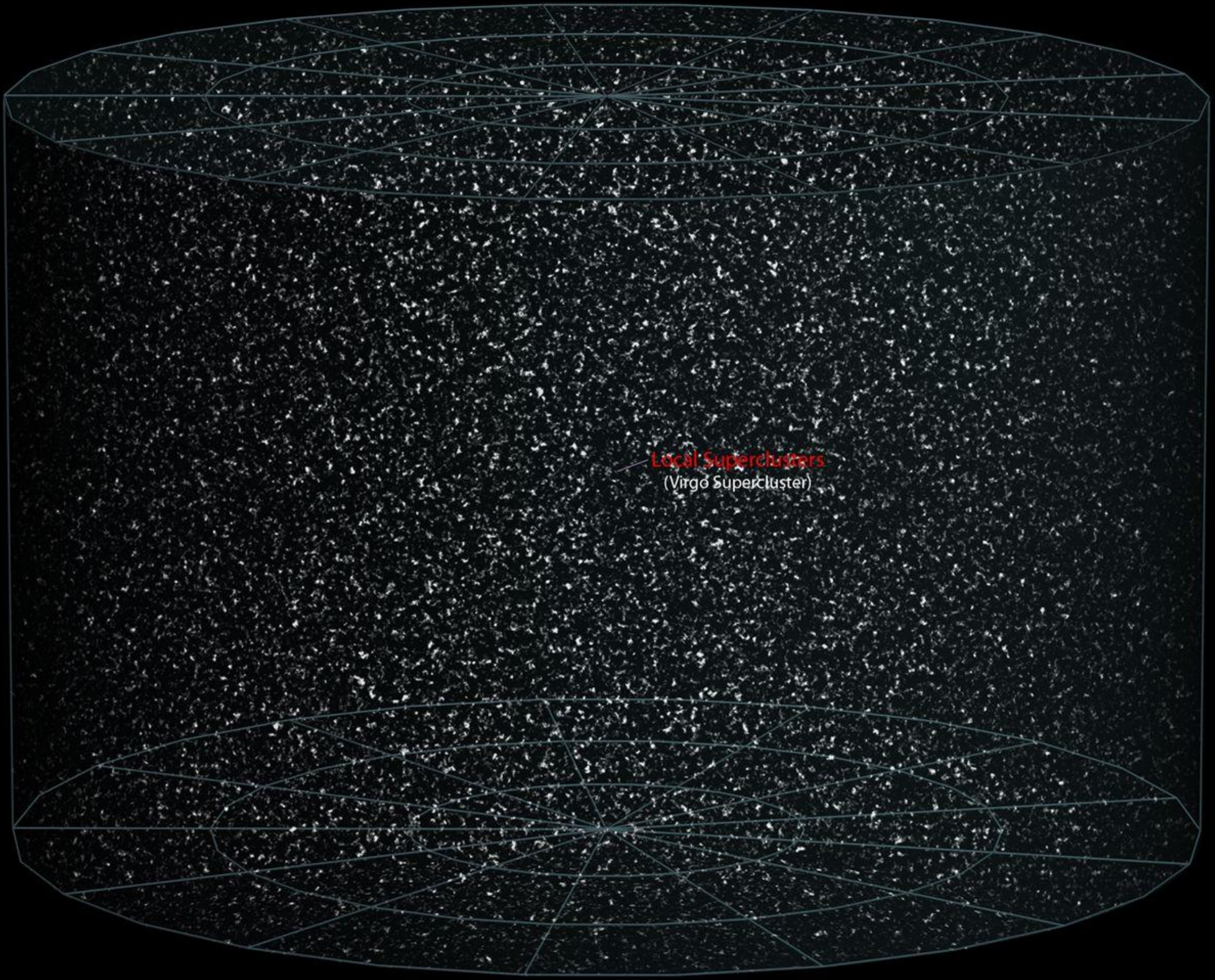
# Virgo Supercluster

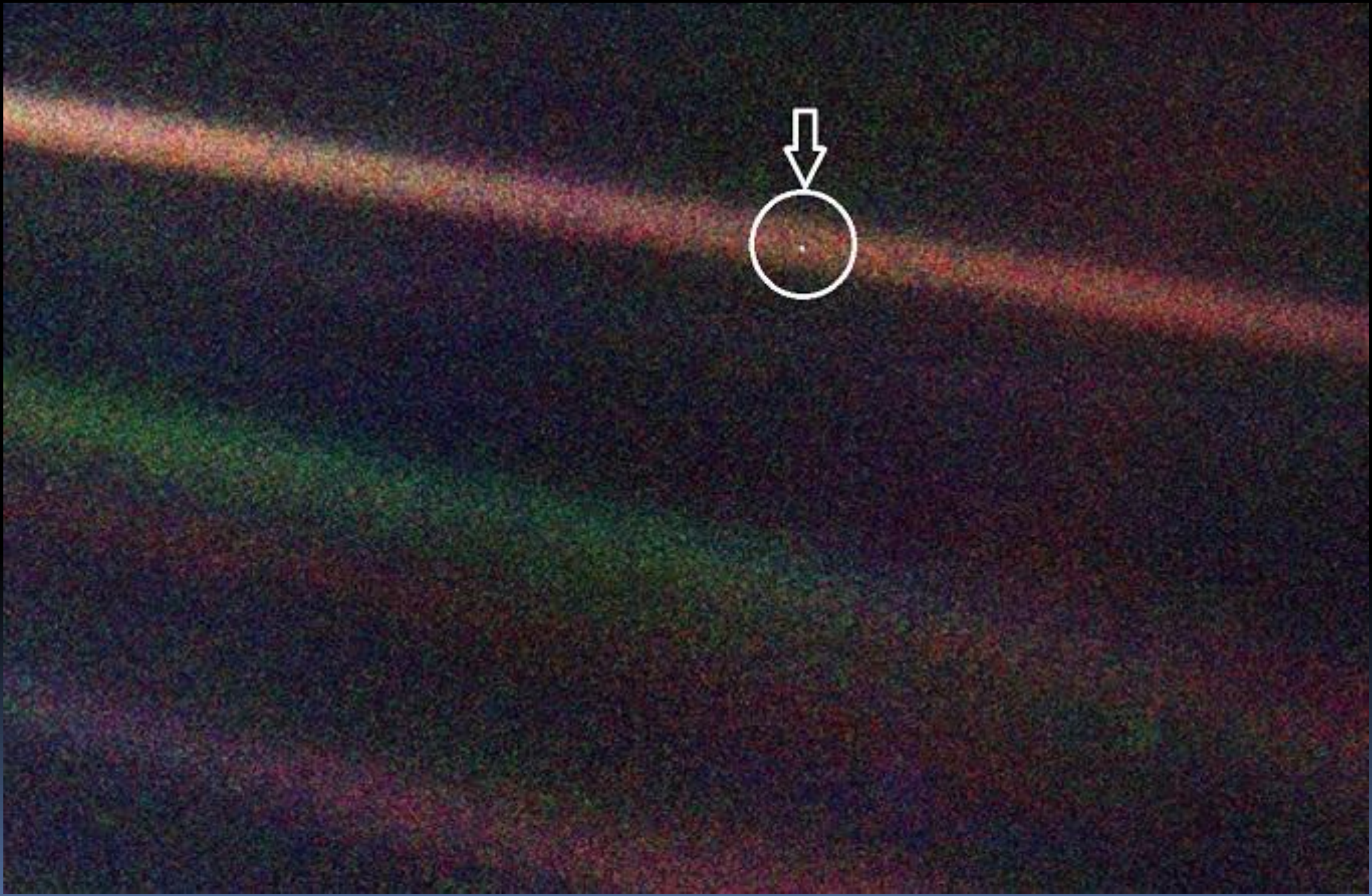

Virgo III Groups
NGC 4697
NGC 7582
NGC 6744
NGC 5033
NGC 5128
Local Galactic Group
Canes Groups
M101
Virgo Cluster
Sculptor
Maffei
M81
Ursa Major Groups
Leo I
NGC 1023
NGC 2997
Dorado
Leo II Groups
Fornax Cluster
Eridanus Cluster

# Local Superclusters


Capricornus Supercluster
Ophiuchus Supercluster
Corona-Borealis Supercluster
Hercules Superclusters
Capricornus Void
Corona Borealis Void
Boötes Superclusters
Pavo-Indus Supercluster
Microscopium Void
Boötes Void
Centaurus Supercluster
Shapley Supercluster
Hydra-Centaurus Supercluster
Sculptor Void
Sculptor Superclusters
Pisces-Cetus Superclusters
Virgo Supercluster
Hydra
Coma Supercluster
Ursa Major Supercluster
Perseus-Pisces Supercluster
Fornax Void
Phoenix Supercluster
Leo Superclusters
Canes-Major Void
Columbia Void
Sextans Supercluster
Horologium Supercluster
Columba Supercluster

# Observable Universe


Local Superclusters
(Virgo Supercluster)

# Un punto azul pálido