

# El sistema solar

Curso de introducción a la astronomía

Ernesto Nicola y Mateu Esteban

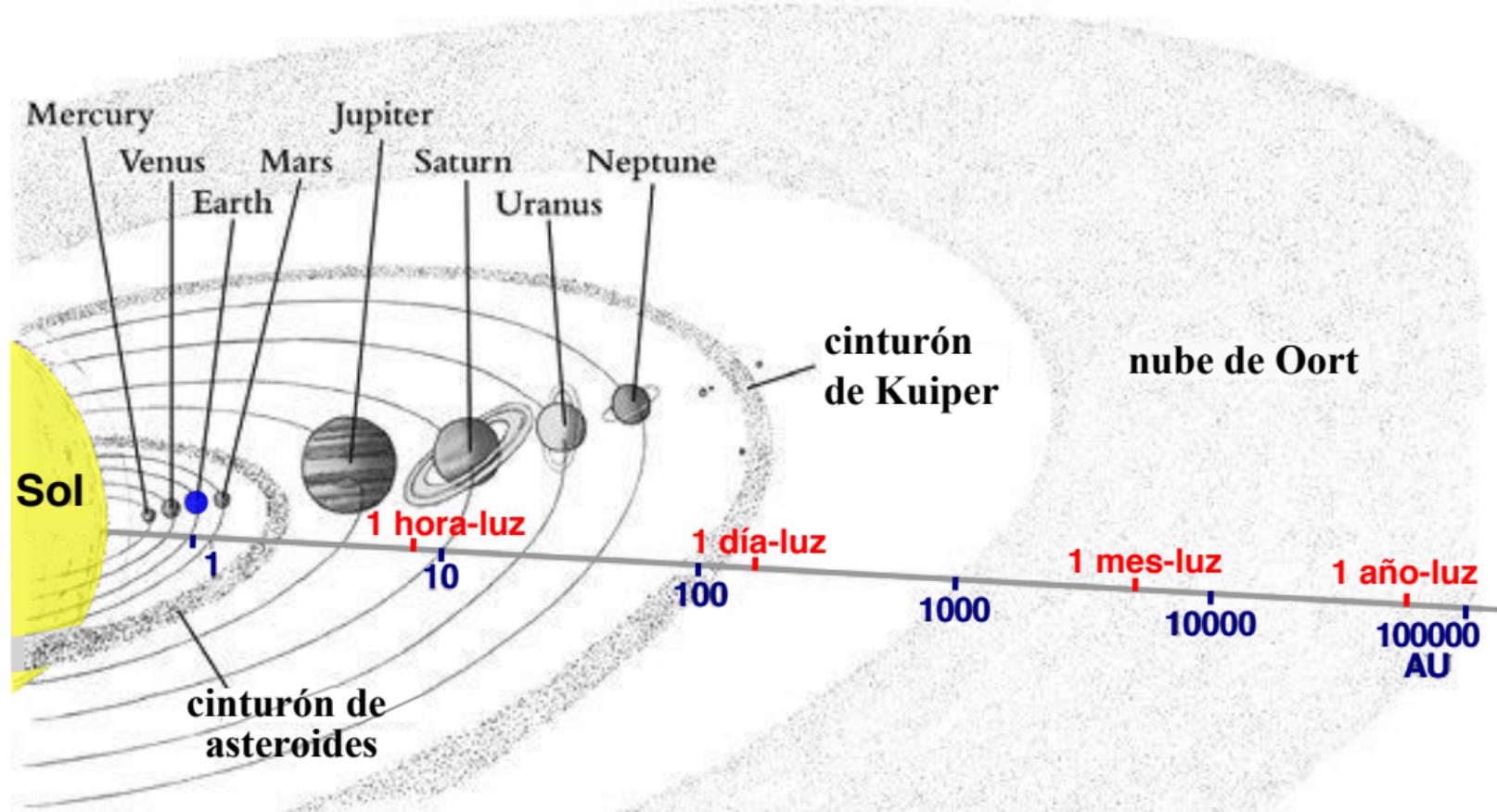
Calvià, 2023-02-11



- 1** Inventario del sistema solar
- 2** Formación del sistema solar
- 3** Planetas rocosos
  - Mercurio
  - Venus
  - Tierra
  - Marte
- 4** Planetas gaseosos y helados
  - Júpiter
  - Saturno
  - Urano y Neptuno
- 5** Objetos pequeños del sistema solar
  - Asteroides
  - Objetos transneptunianos (TNOs) y del cinturón de Kuiper
  - Cometas

# 1 Inventario del sistema solar

# Estructura general del sistema solar



# Estructura general del sistema solar

1 Una estrella en el centro: el **Sol**

2  **Planetas** orbitando al Sol

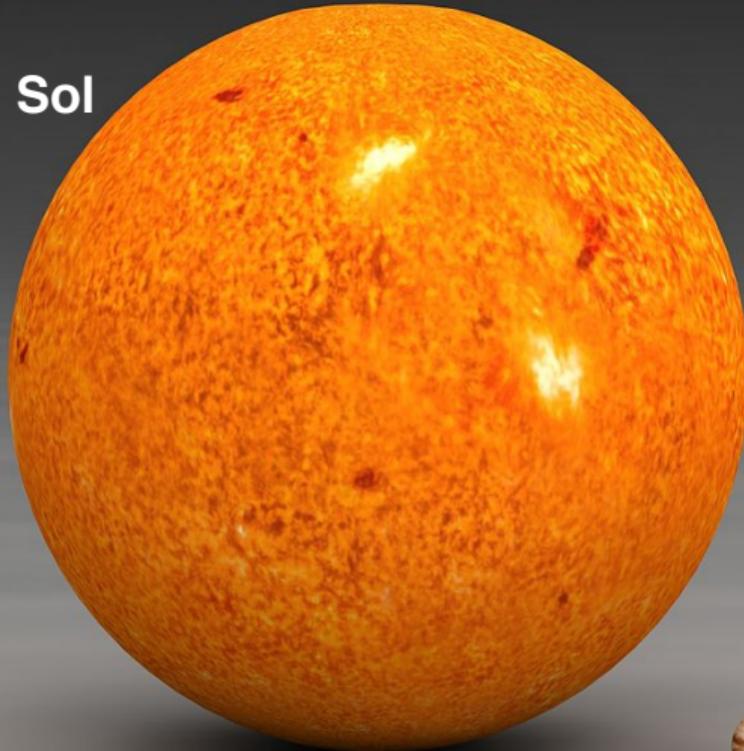
- Planetas interiores: rocosos (Mercurio, Venus, Tierra y Marte)
- Planetas exteriores: gaseosos o helados y muy grandes (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno)
- Muchos planetas poseen satélites naturales: lunas

3 **Cinturón de asteroides**, entre los planetas interiores y los exteriores

4 Gran cantidad de cometas helados y otros objetos similares

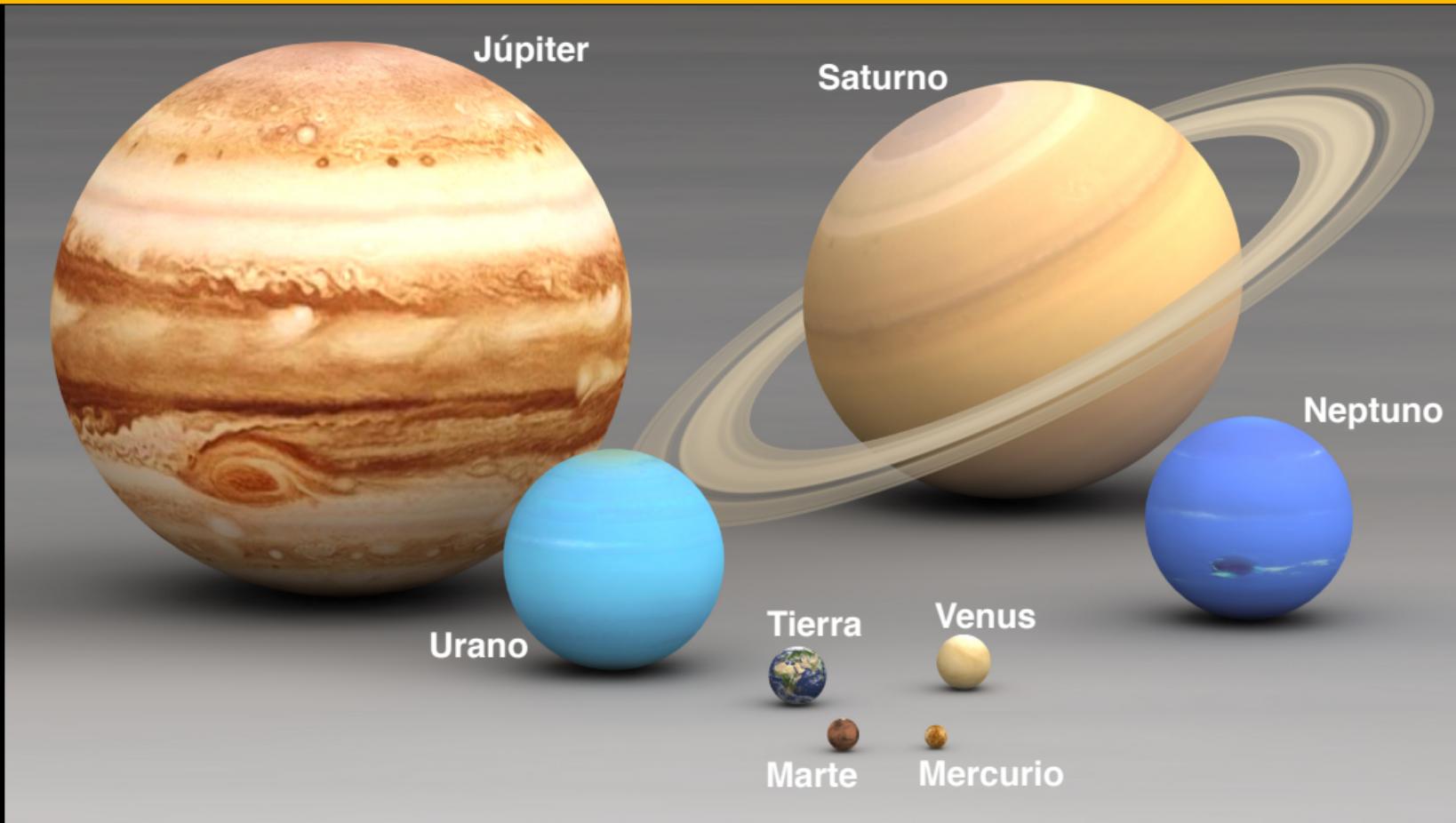
- **Cinturón de Kuiper** y la **nube de Oort**

# El sistema solar a escala: el Sol y los planetas



Tierra

# El sistema solar a escala: los planetas



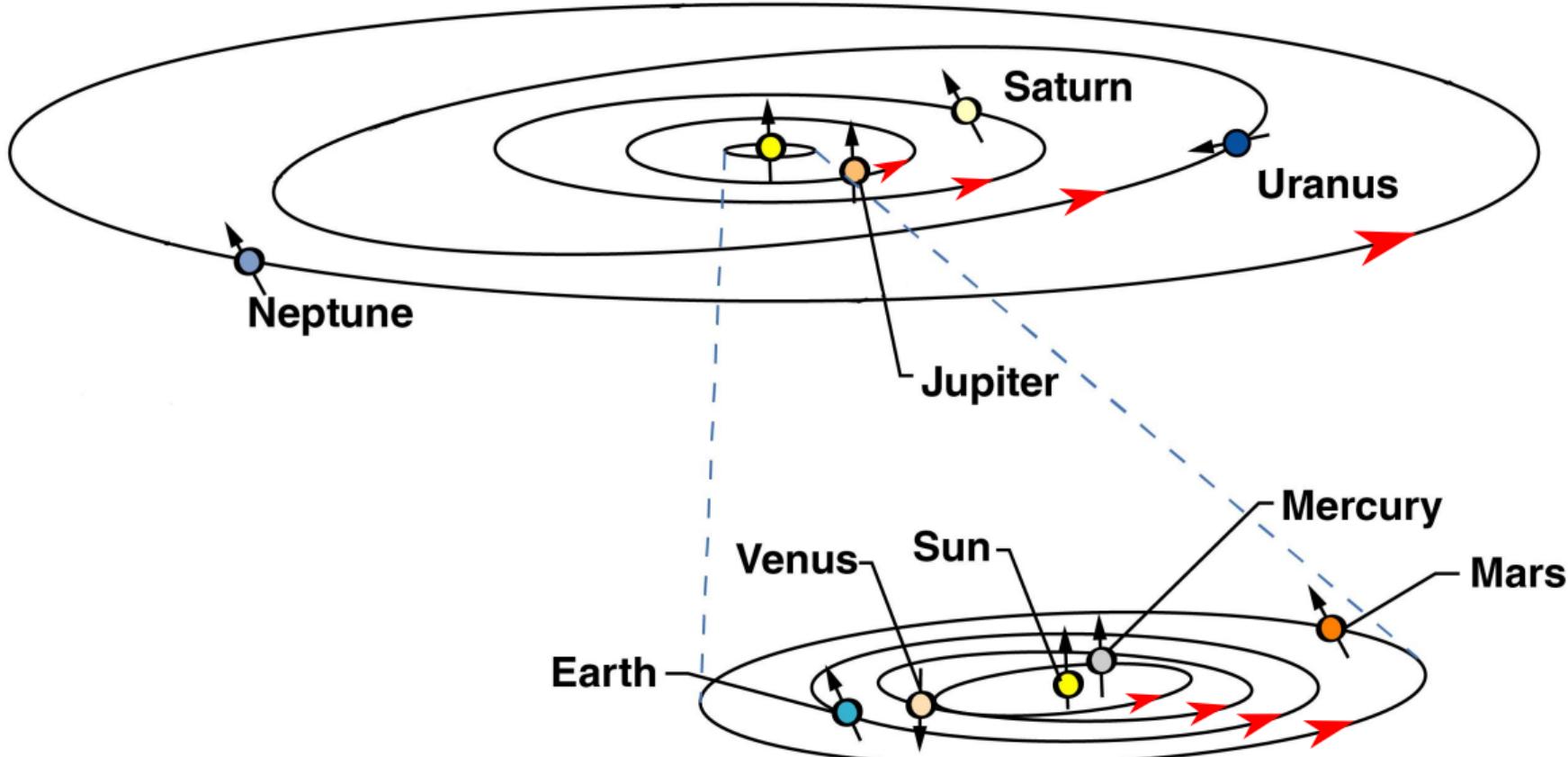
# Tamaños y distancias del sistema solar



Si la Tierra fuese una pelota de tenis

- El Sol sería una casita de 2 plantas a 750 m
- Neptuno sería un melón a 22 km
- El cinturón de Kuiper llegaría a 112 km
- La nube de Oort no cabería en la Tierra (estaría a un 20% de la distancia entre la Tierra y la Luna)

# Órbitas planetarias



# Rotación planetaria



MERCURY

$\theta = 0.03^\circ$   
58d 15.5h

VENUS



$\theta = 177.4^\circ$   
243d 26m



EARTH

$\theta = 23.4^\circ$   
23h 56m



MARS

$\theta = 25.2^\circ$   
24h 36m



JUPITER

$\theta = 3.1^\circ$   
9h 55m



SATURN

$\theta = 26.7^\circ$   
10h 33m



URANUS

$\theta = 97.8^\circ$   
17h 14m

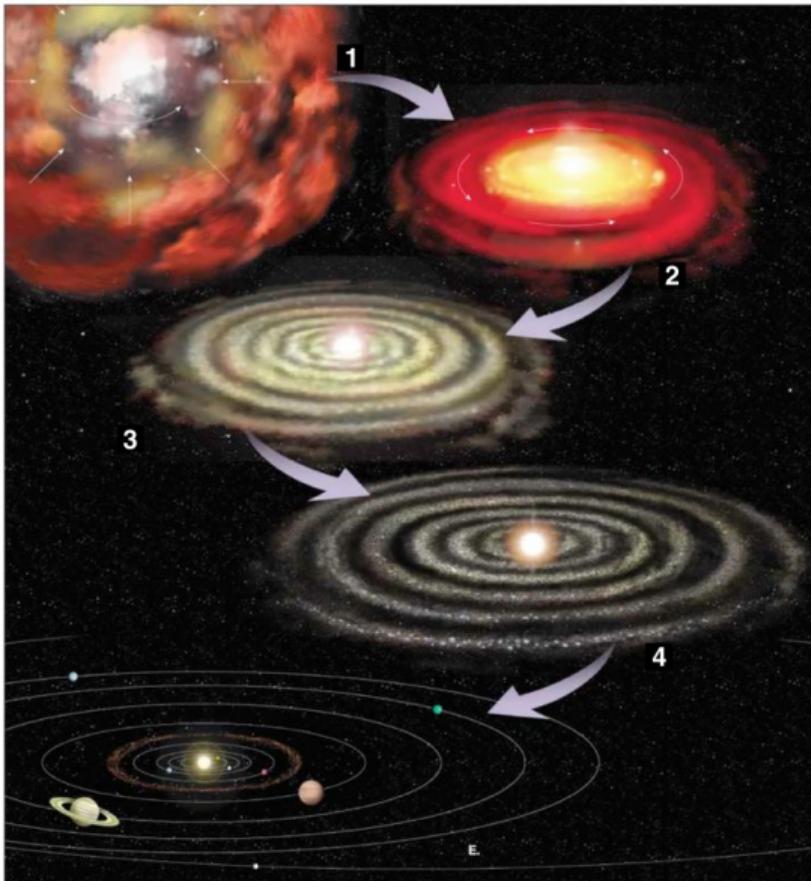


NEPTUNE

$\theta = 28.3^\circ$   
16h

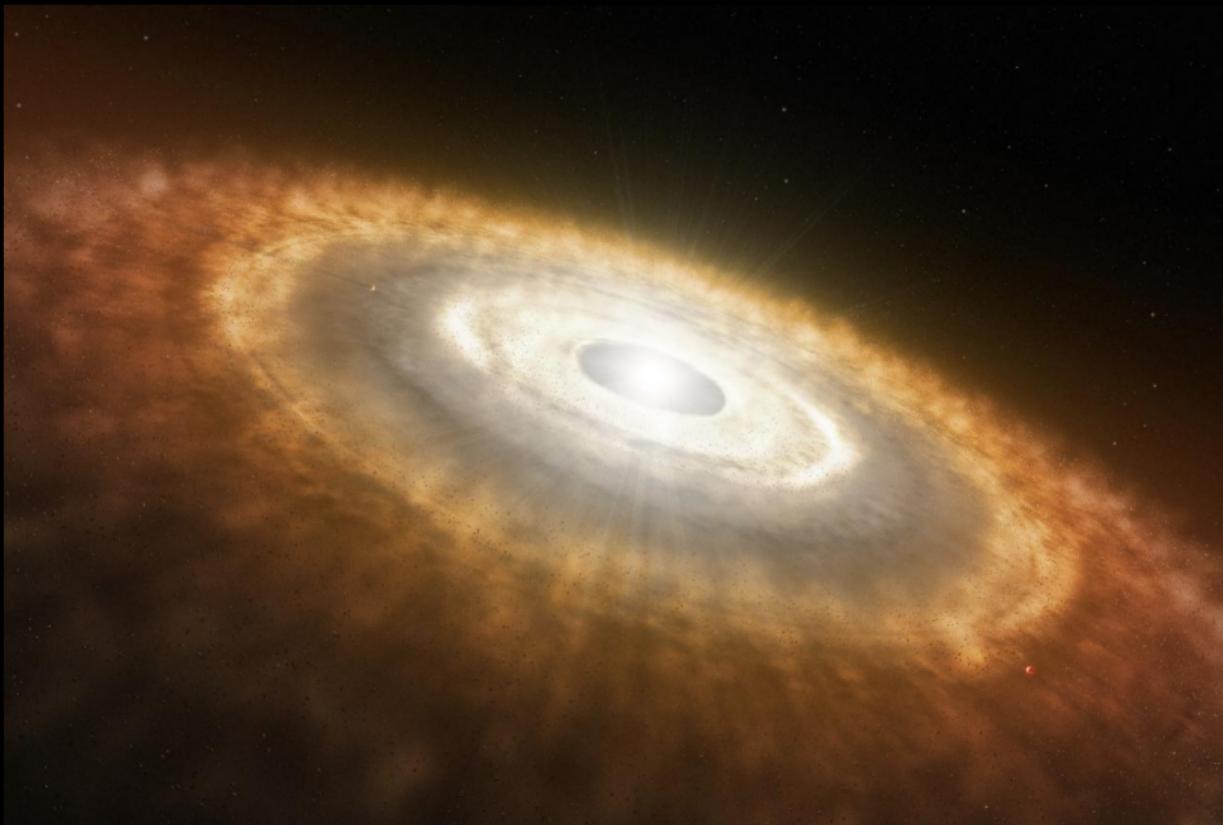
## 2 Formación del sistema solar

# Formación del sistema solar



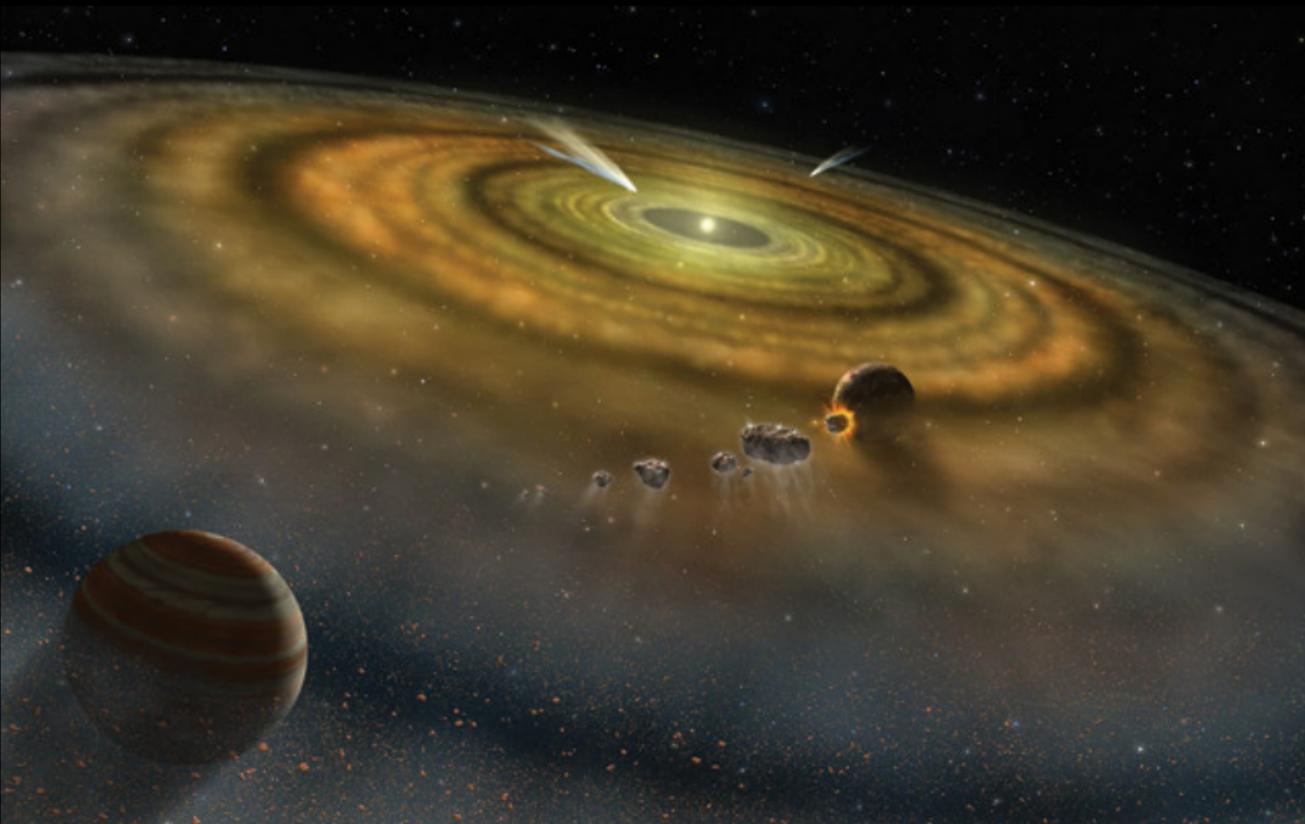
- 1 Hace 4.600 millones de años una nube de gas y polvo se comprime debido a la fuerza de la gravedad.
- 2 Al comprimirse la nube de gas adquiere una rotación en sentido anti-horario, achatándose hasta formar un disco con el proto-Sol en su centro.
- 3 Los materiales del disco colisionan y se agregan entre si hasta formar cuerpos de tamaño mediano que van limpiando partes del disco.
- 4 Este proceso generó unos pocos planetas, unas cuantas lunas y una **inmensa cantidad de objetos pequeños**.

# Formación del sistema solar



disco protoplanetario

# Formación del sistema solar



polvo+gas → planetesimales → protoplanetas → planetas

# Ejemplos de discos protoplanetarios

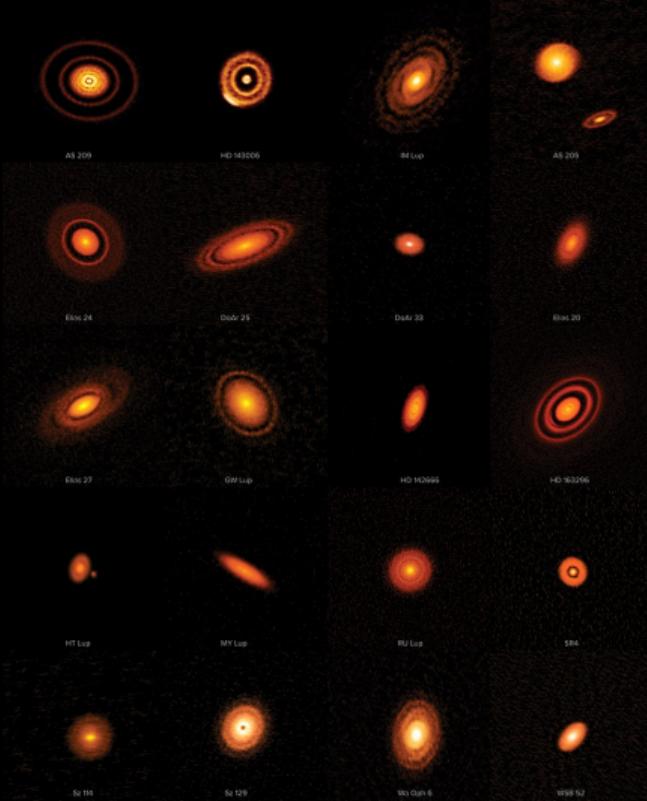


Imagen de ALMA de un disco proto-planetario en HL Tauri

# Formación de los planetas: principales procesos

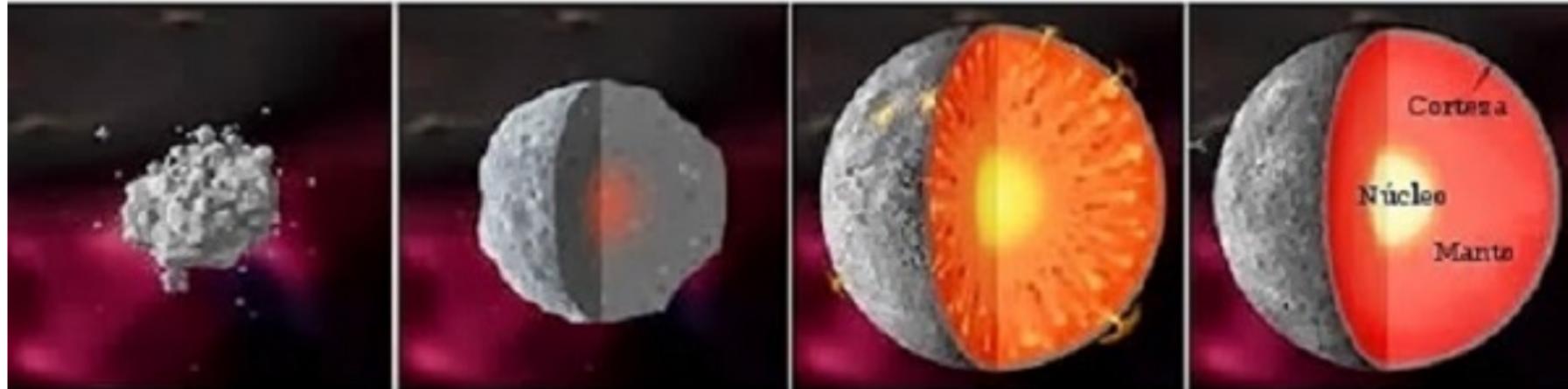


Principales procesos de formación de planetas:

- 1** Colisiones y aglutinado.
- 2** Vulcanismo (vulcanismo magmático y/o crio-vulcanismo).

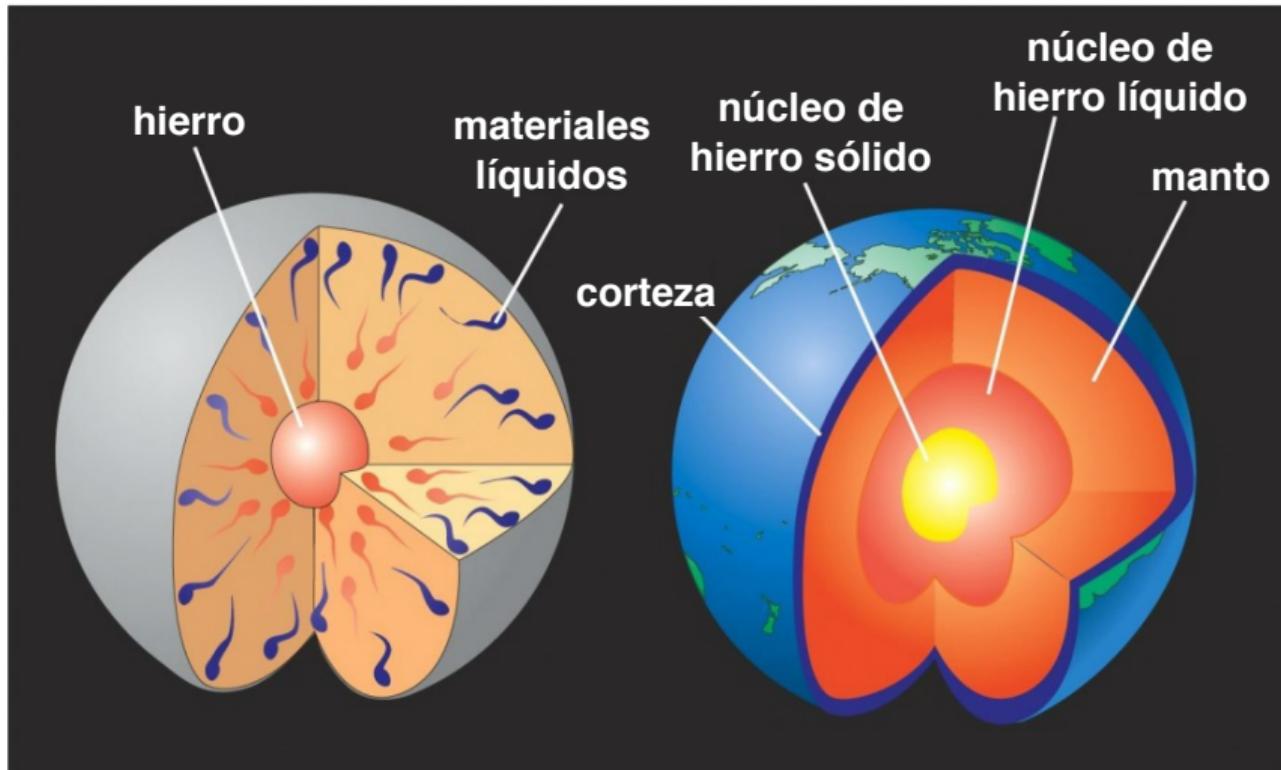


# Mecanismo de diferenciación planetaria



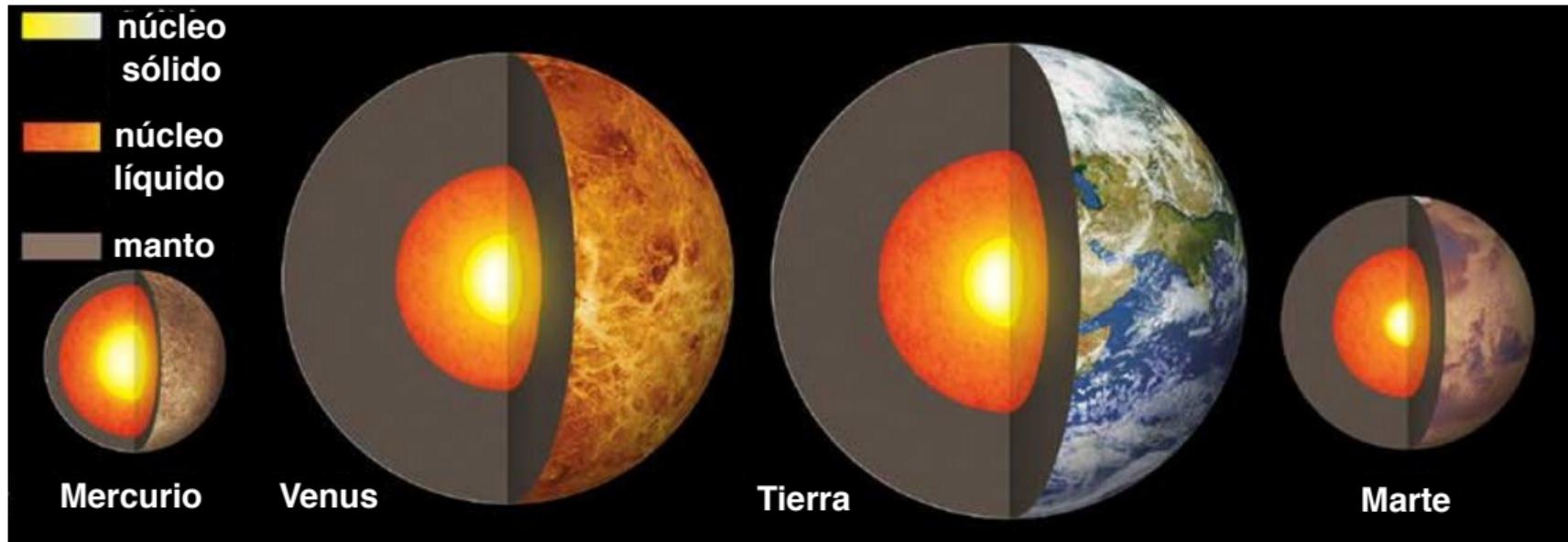
- La **diferenciación planetaria** se produce cuando los componentes de un cuerpo planetario se separan y diferencian desarrollando capas de composición diferente.
  - Ello es debido a los diferentes puntos de fusión y solidificación de los componentes originales y sus afinidades químicas.
- Los materiales más densos del cuerpo planetario, como pueden ser los metales, se hunden hacia el centro, mientras que los materiales menos densos, como los silicatos, suben a la superficie.
- Este proceso tiende a crear un **núcleo** interior y un **manto** exterior.

# Mecanismo de diferenciación planetaria



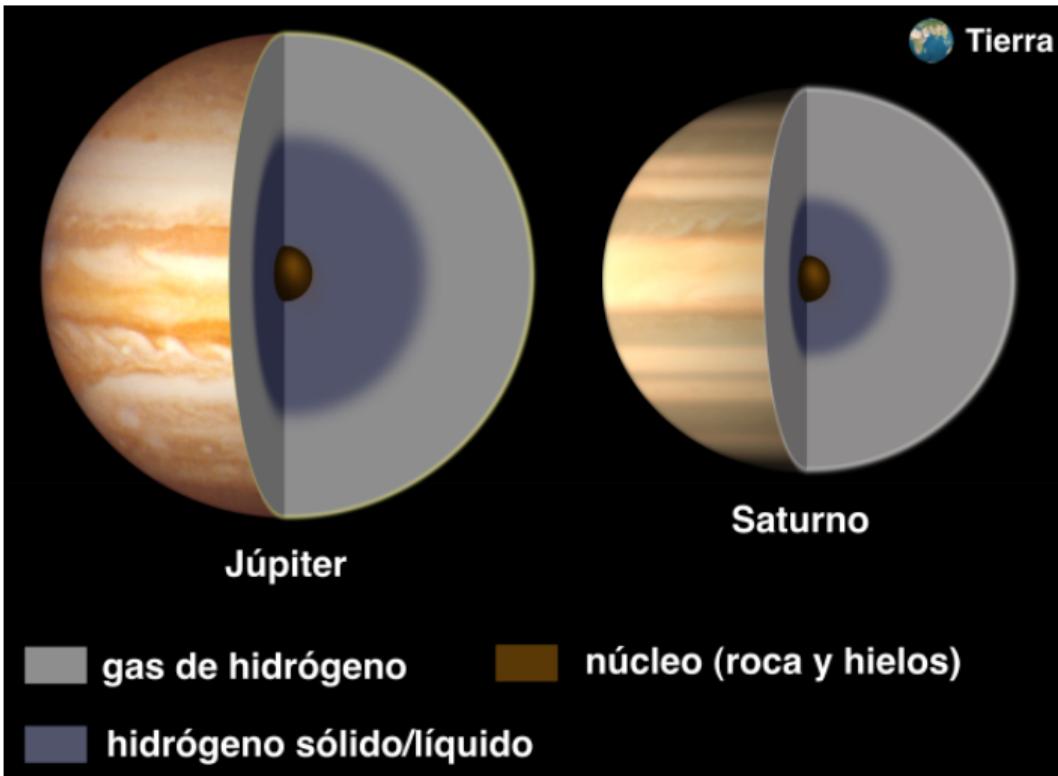
- El proceso de diferenciación planetaria se ha producido en: los planetas, en planetas enanos, en algunos asteroides grandes y en algunos satélites naturales.

## Estructura interna: planetas rocosos



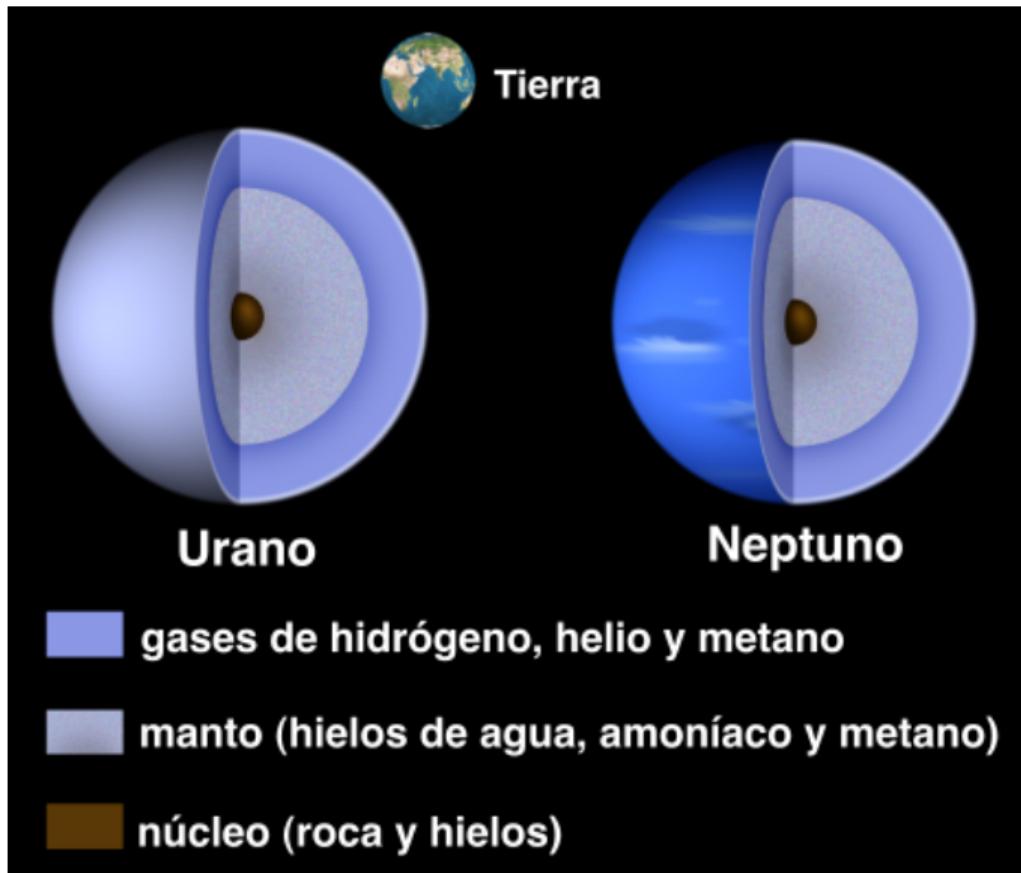
- Todos planetas rocosos tienen en su interior un núcleo metálico cubierto por una capa de rocas (compuesto mayormente de silicatos; forman el manto y la corteza)

# Estructura interna: planetas gaseosos (Júpiter y Saturno)



- Los planetas gaseosos también poseen un **núcleo metálico/rocoso** en su interior.
- La capa más externa está compuesta de **gas de hidrógeno y de helio**.
- En la capa más interna las presiones son tan altas que el **hidrógeno es sólido/líquido** y se comporta eléctricamente como metal.

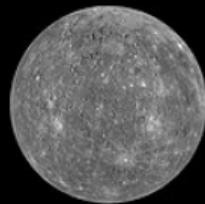
# Estructura interna: planetas helados (Urano y Neptuno)



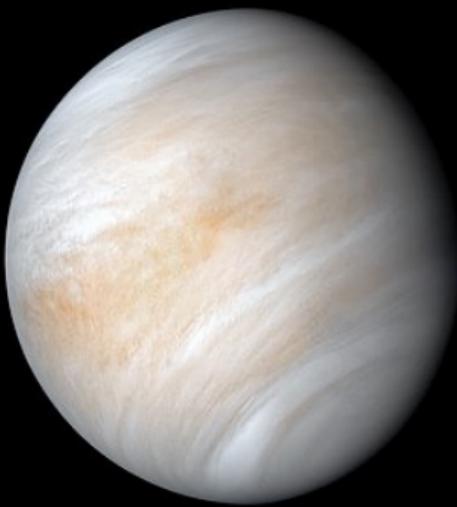
- Los planetas helados también poseen un **núcleo metálico/rocoso** en su interior.
- Están compuestos por: metano y agua (más amoníaco, hidrógeno y helio)
  - **Atmósfera:** compuesta de **gas de hidrógeno** (seguido de gases de helio y metano).
  - **Manto:** compuesto por **hielos** de metano, amoníaco y agua.

3 Planetas rocosos

# Los planetas rocosos



**Mercurio**



**Venus**



**Tierra**

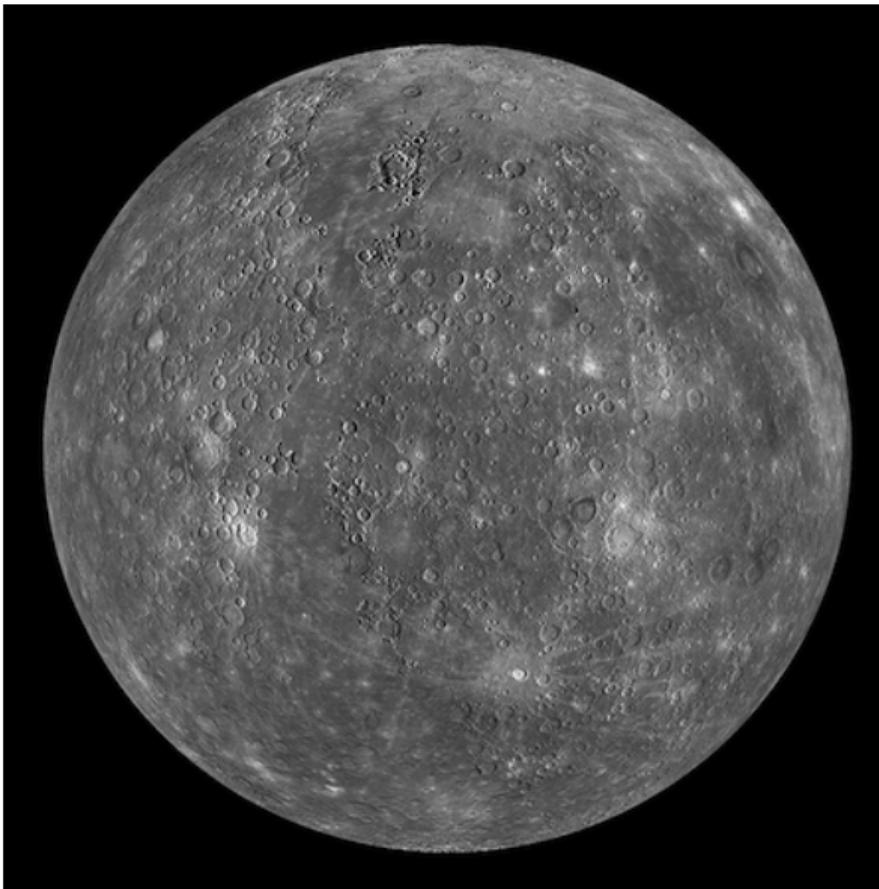


**Marte**

## 3 Planetas rocosos

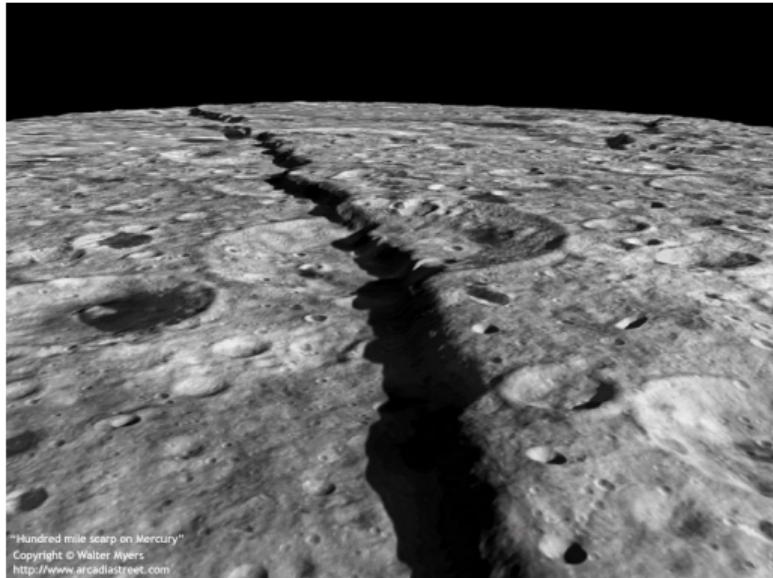
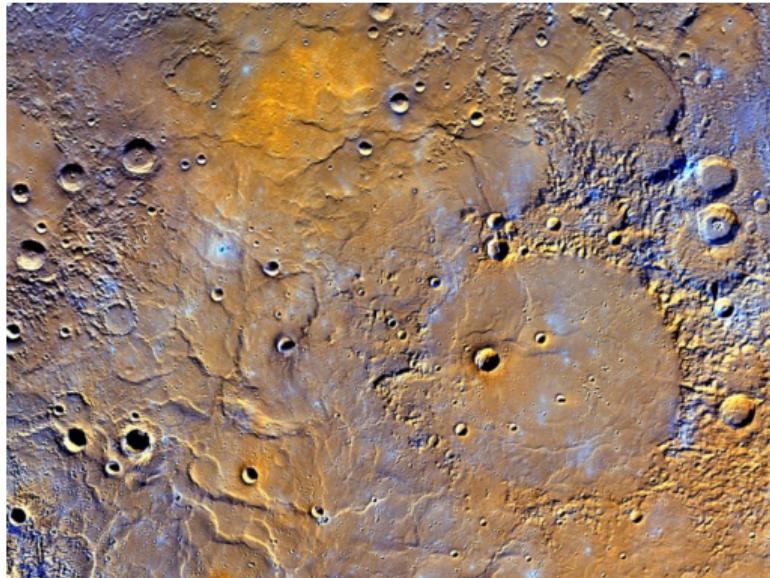
### 3.1 Mercurio

## Mercurio: aspecto general



- Planeta más cercano al Sol
- Atmósfera extremadamente tenue
- Grandes variaciones de temperatura (entre 430°C y -180°C)
- Planeta rocoso muy denso (núcleo metálico muy grande proporcionalmente a su tamaño total)
- La superficie Mercurio tiene un aspecto muy similar a la Luna

# La superficie de Mercurio

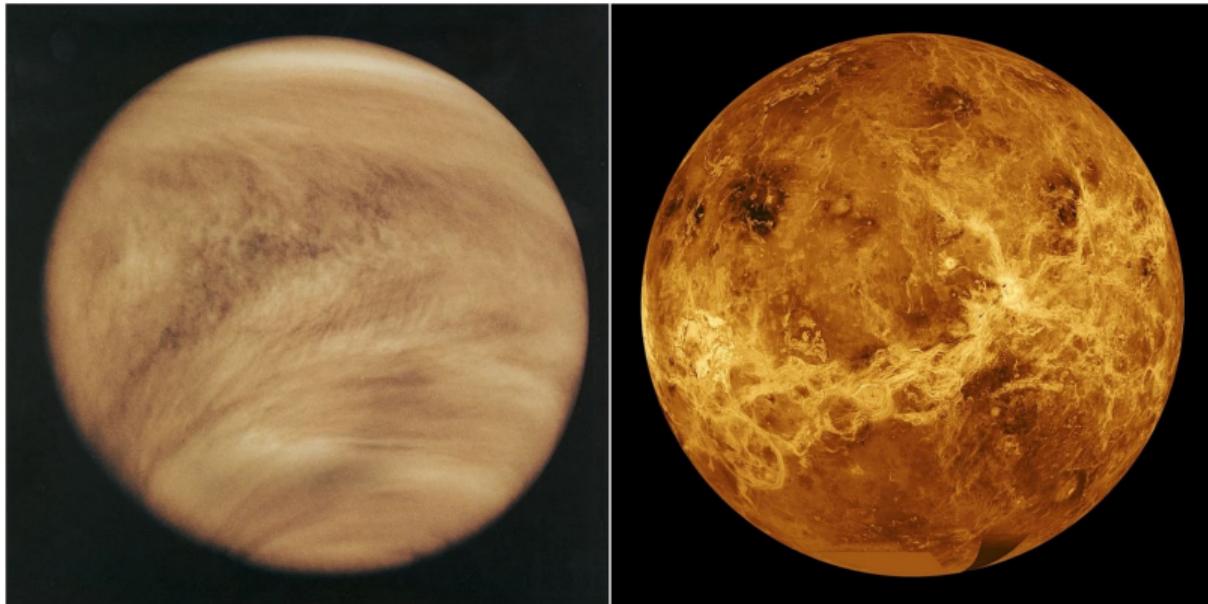


- Abundantes cráteres de impacto
- Grandes planicies de extensas inundaciones de lava
- Escarpes de varios miles de kilómetros que se formaron al enfriarse y contraerse la corteza.
- Algunos cráteres cerca de las zonas polares contienen hielo de agua

## 3 Planetas rocosos

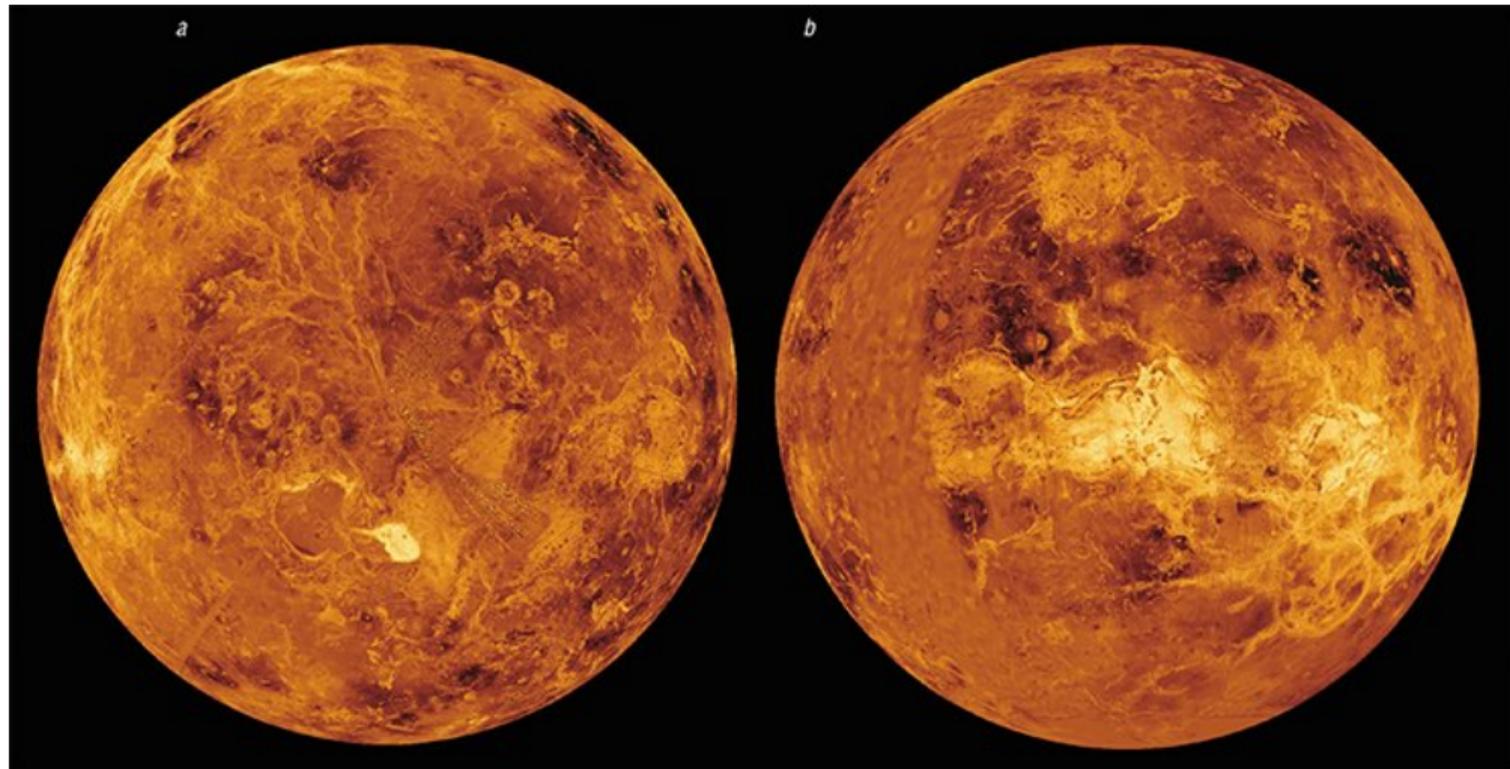
### 3.2 Venus

# Venus y su atmósfera



- Es el planeta mas caliente del sistema solar ( $400^{\circ}$ ), efecto invernadero.
- Venus tiene una atmósfera muy densa compuesta de dióxido de carbono con nubes de ácido sulfúrico.
- La presión atmosférica en su superficie es 100 veces mayor que la de la Tierra
- La superficie se estudia con ondas de radio y micro-ondas

## La superficie de Venus



- Posee una superficie rocosa con montañas, valles y planicies con centenares de volcanes y unos pocos cráteres de impacto.

## 3 Planetas rocosos

3.3 Tierra

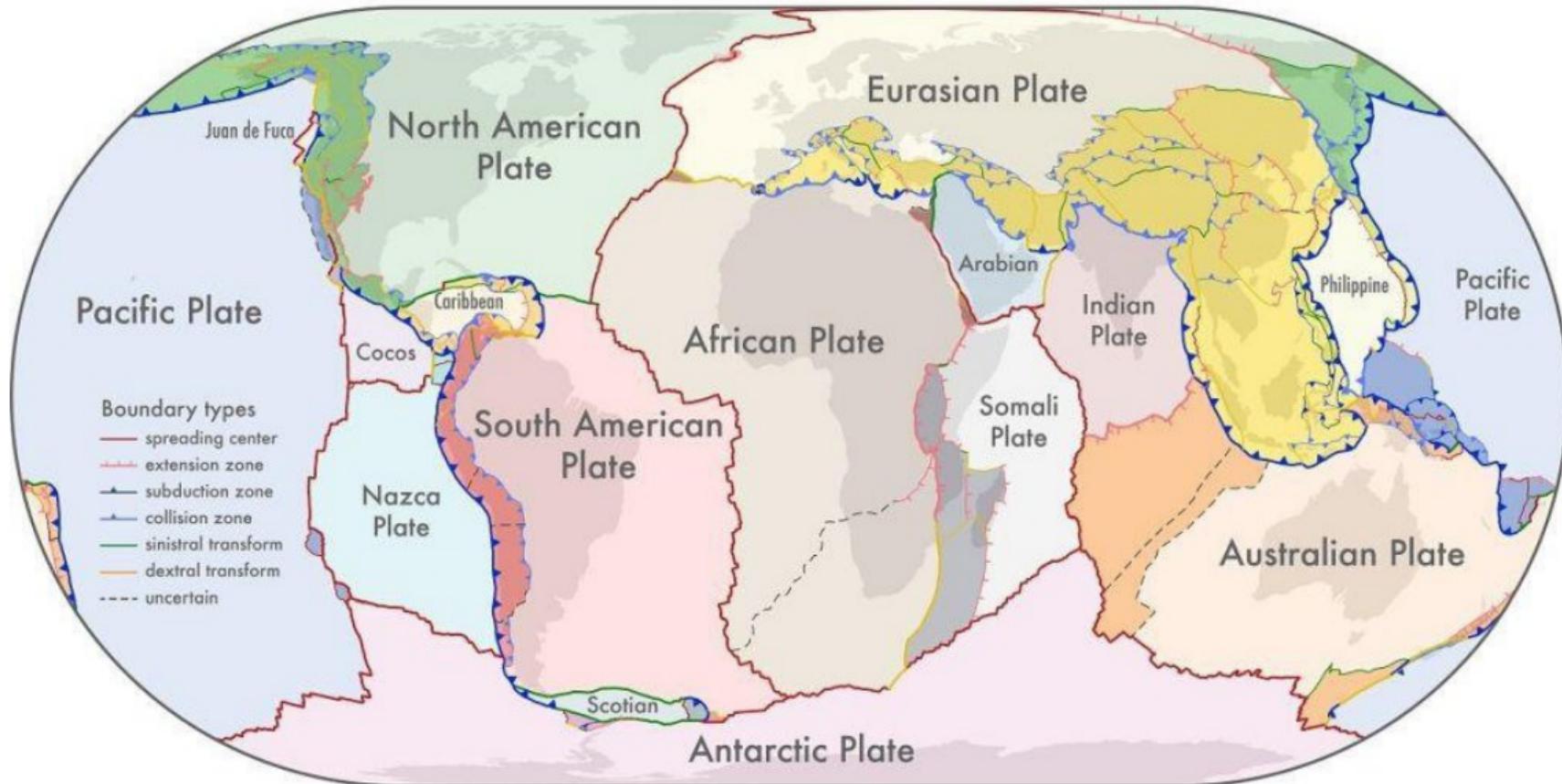
# La Tierra y su Luna



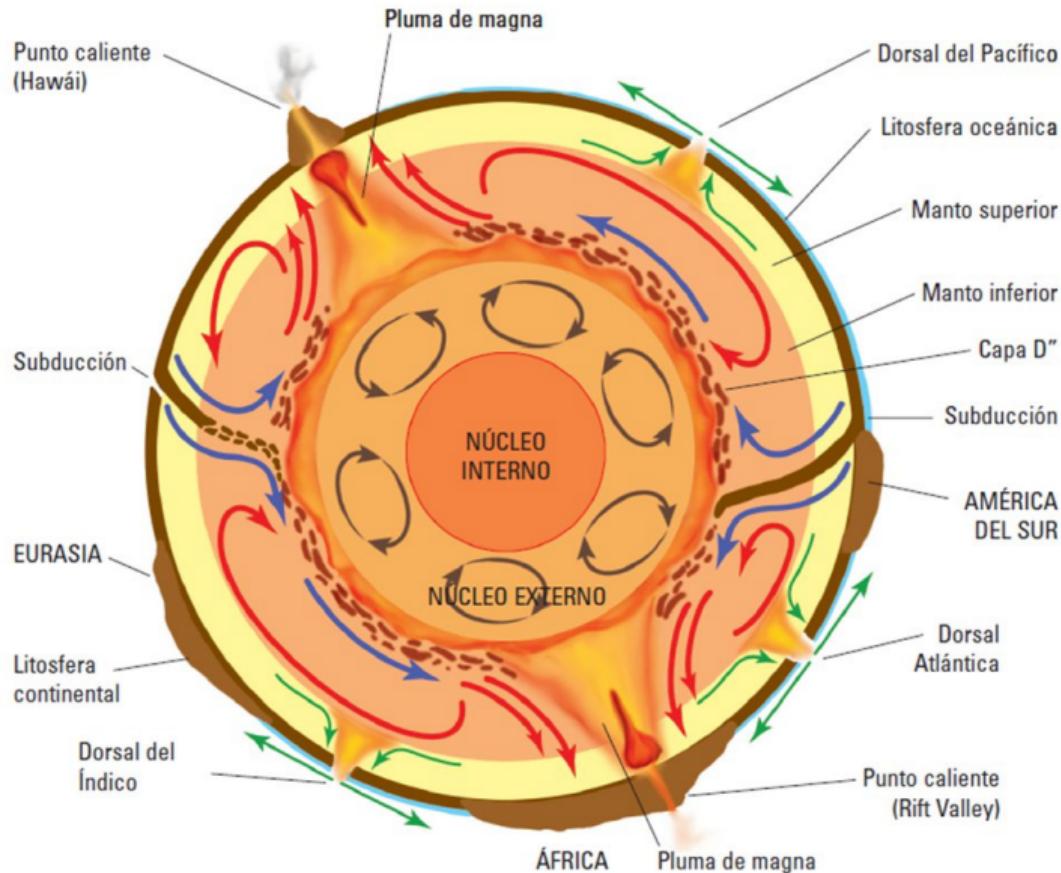
# La Tierra y su superficie



# La Tierra: tectónica de placas



# La Tierra: la máquina global



3.3 Tierra

Luna

# La Luna



- La Luna es relativamente grande comparada con la Tierra.
- Se formó por impacto(s) de proto-planeta(s) con la Tierra en formación.
- Extensamente cubierta de cráteres de impacto de diferente tamaño y por grandes planicies basálticas llamadas "maria".
- La Luna posee una atmósfera extremadamente tenue
- Se ha comprobado la existencia de agua en la Luna

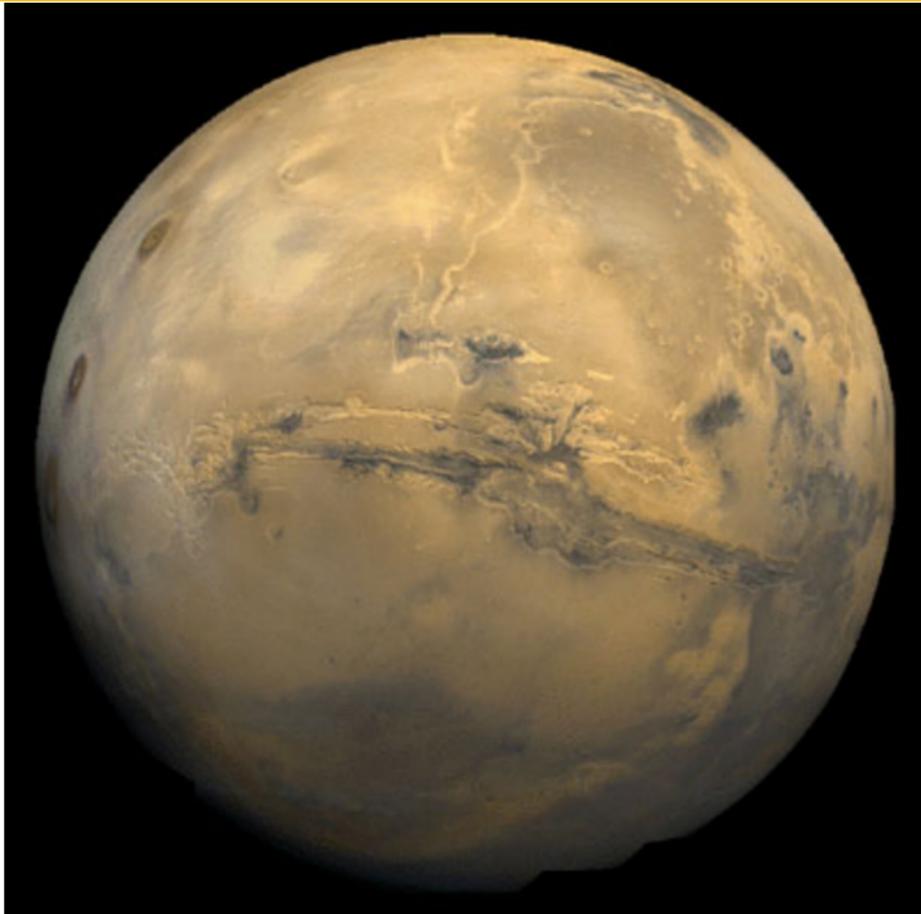
# Formación de la Luna: teoría del gran impacto



## 3 Planetas rocosos

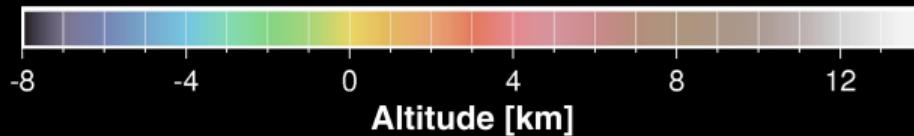
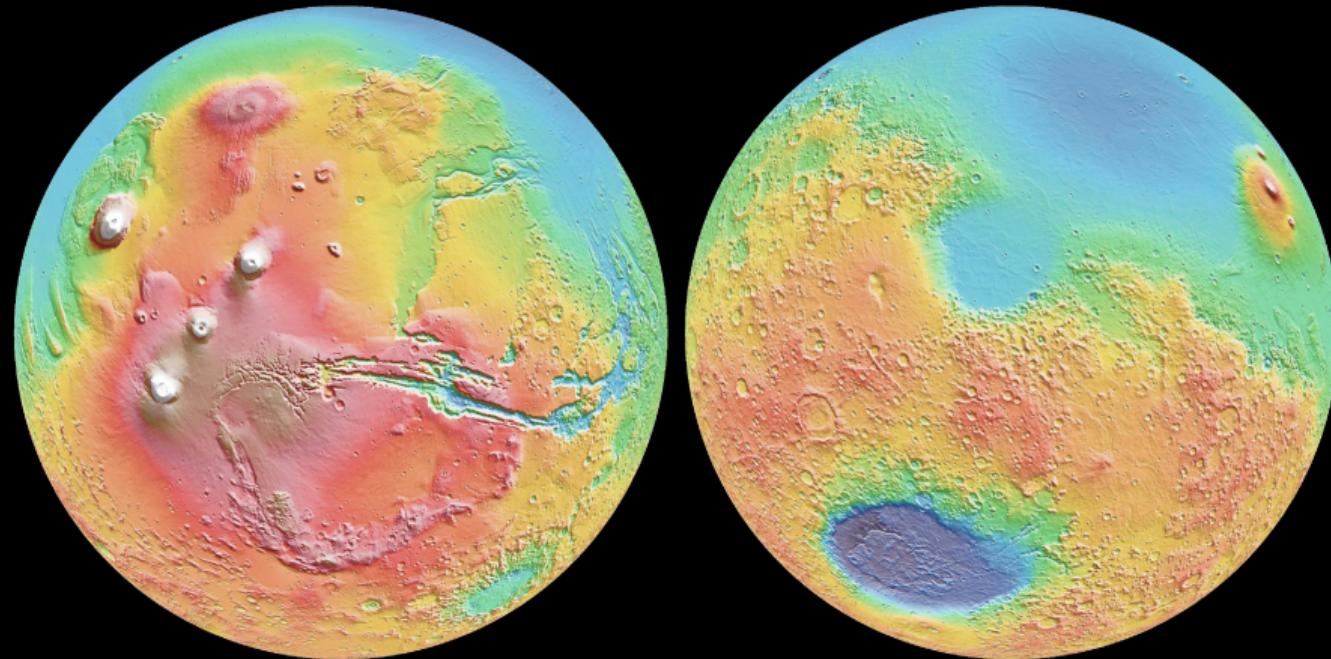
3.4 Marte

# Marte

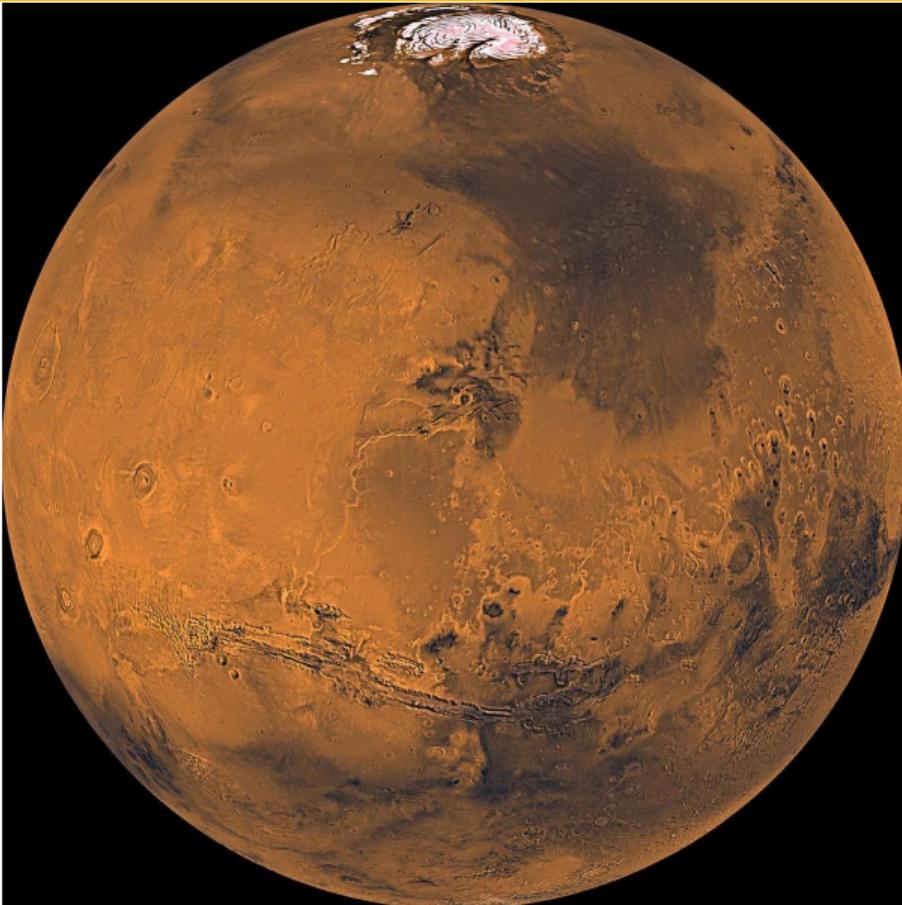


- Marte tiene casi la mitad del tamaño de la Tierra.
- Es un planeta frío, con temperaturas medias de -63ºC.
- Actualmente solo tiene una tenue atmósfera de *CO<sub>2</sub>*.
  - La atmósfera fue muy relevante en el pasado (pero la perdió debido a su pequeño tamaño y la extinción de su campo magnético).

# Marte y su superficie



# Aqua en Marte



- Marte tiene casquetes de hielo de agua en los polos
- Actualmente Marte no posee agua líquida en su superficie.
- En el pasado Marte fue más caliente y poseyó una atmósfera gruesa y grandes cantidades de agua líquida

## 3.4 Marte

Lunas de Marte

# Satélites de Marte: Phobos y Deimos

Phobos



Deimos



- Marte tiene 2 lunas pequeñas e irregulares: Phobos ( $\sim 22\text{km}$ ) y Deimos ( $\sim 12\text{km}$ )
- Son probablemente dos asteroides capturados gravitatoriamente por Marte

## 4 Planetas gaseosos y helados

# Planetas gaseosos y helados

Sol



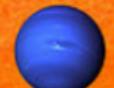
Júpiter



Saturno



Urano

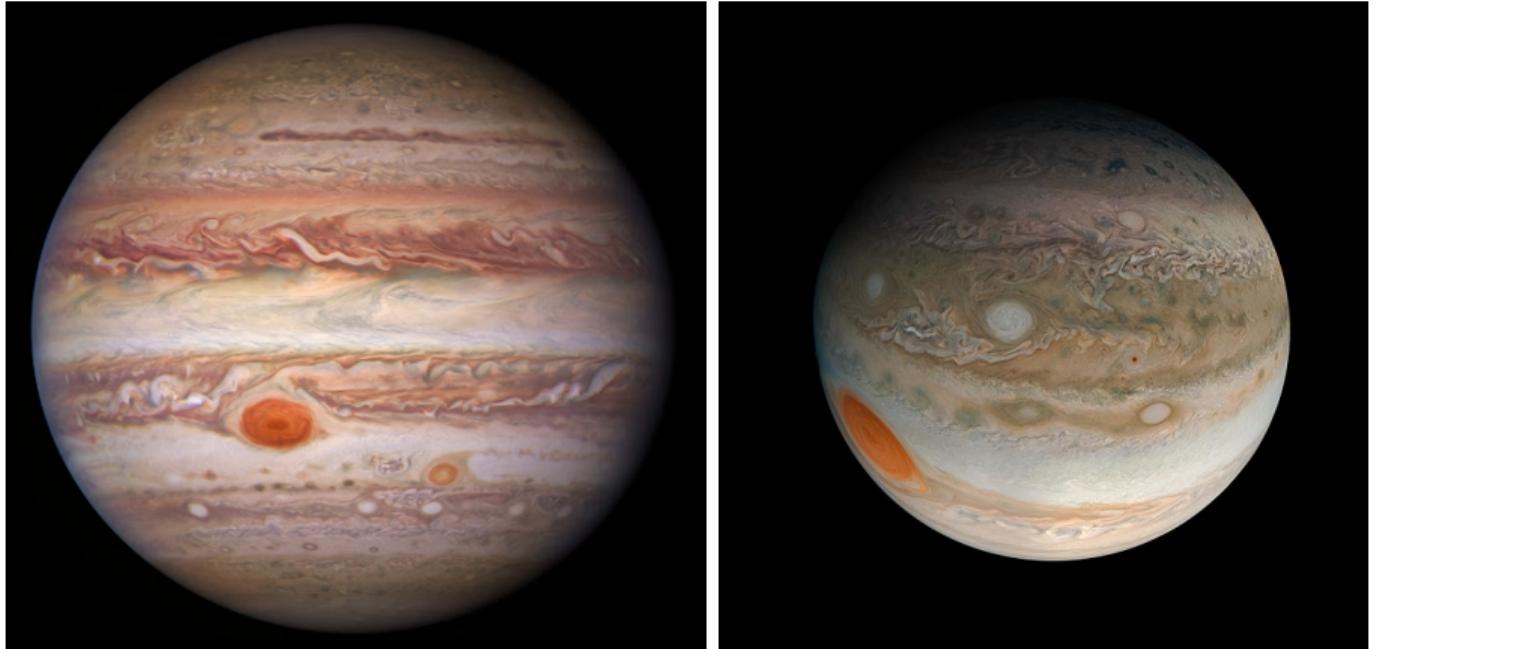


Neptuno

# 4 Planetas gaseosos y helados

## 4.1 Júpiter

# Júpiter y su atmósfera



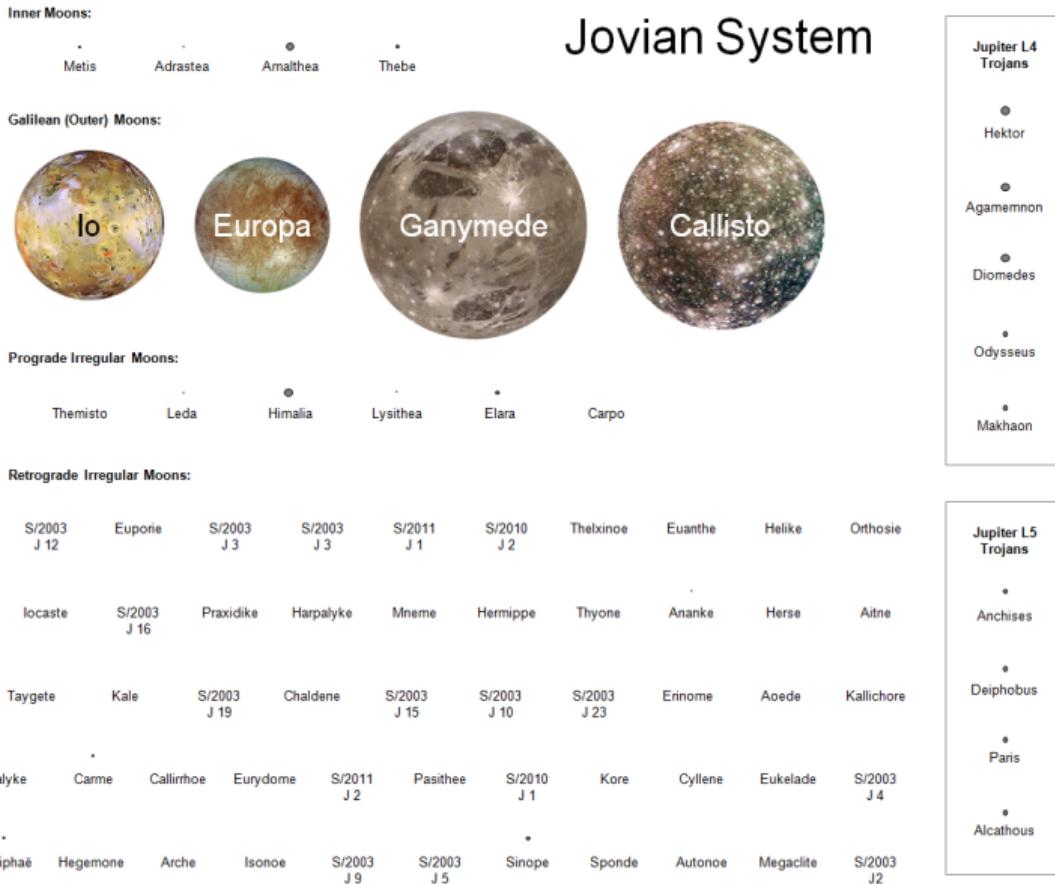
- Júpiter es el planeta más grande del sistema solar (tiene 11 veces el diámetro de la Tierra): es un gigante gaseoso
- Tiene una atmósfera muy gruesa y muy dinámica
  - Posee bandas (oscuras) y zonas (claras)
  - Posee un huracán persistente (al menos desde hace 350 años): la Gran Mancha Roja

## 4.1 Júpiter

Lunas de Júpiter

# Lunas de Júpiter

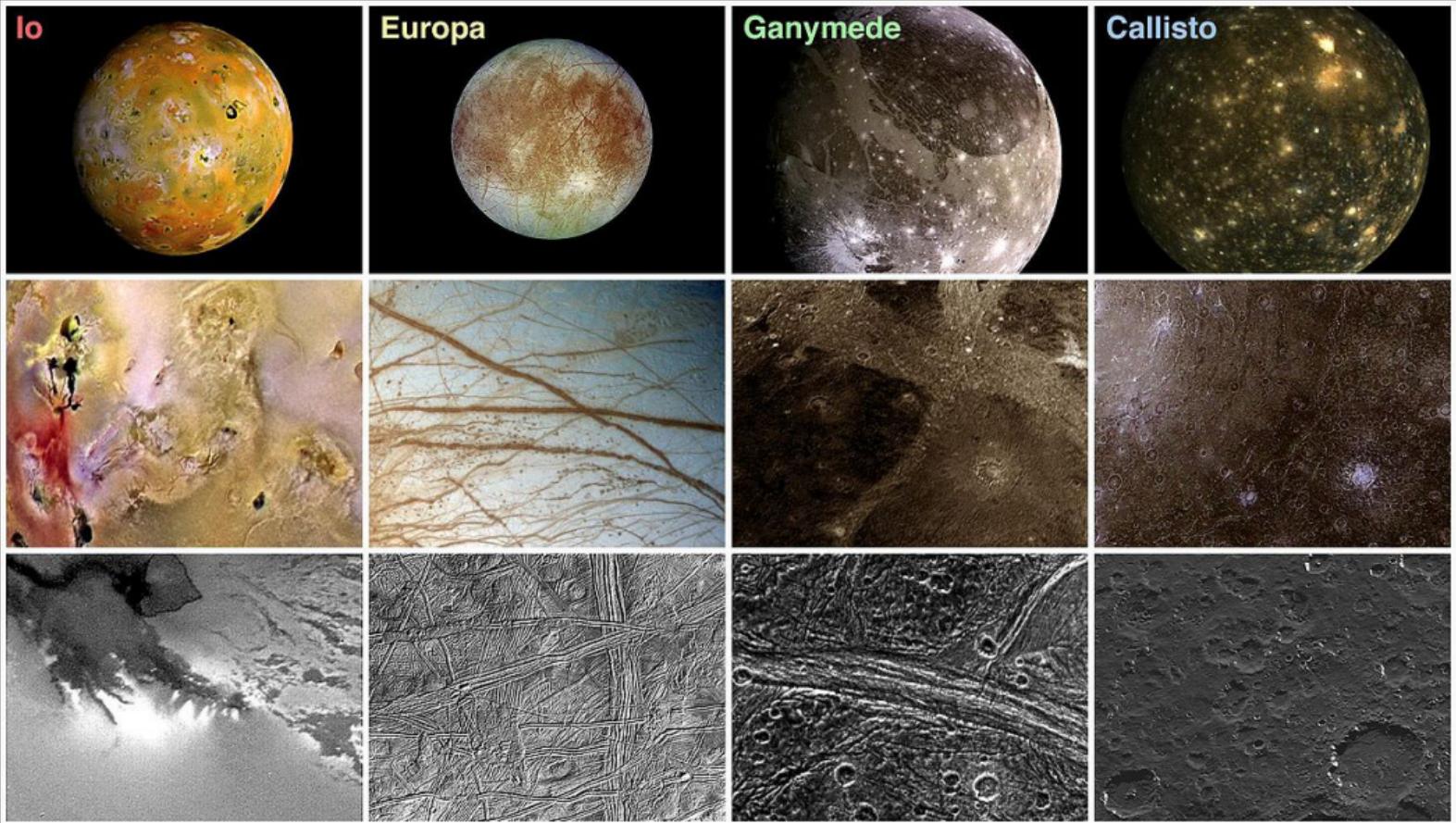
## Jupiter



- Jupiter tiene 79 lunas
- Lunas galileanas de Júpiter: Hay 4 lunas son mucho más grandes que el resto

- Io
- Europa
- Ganímedes
- Callisto

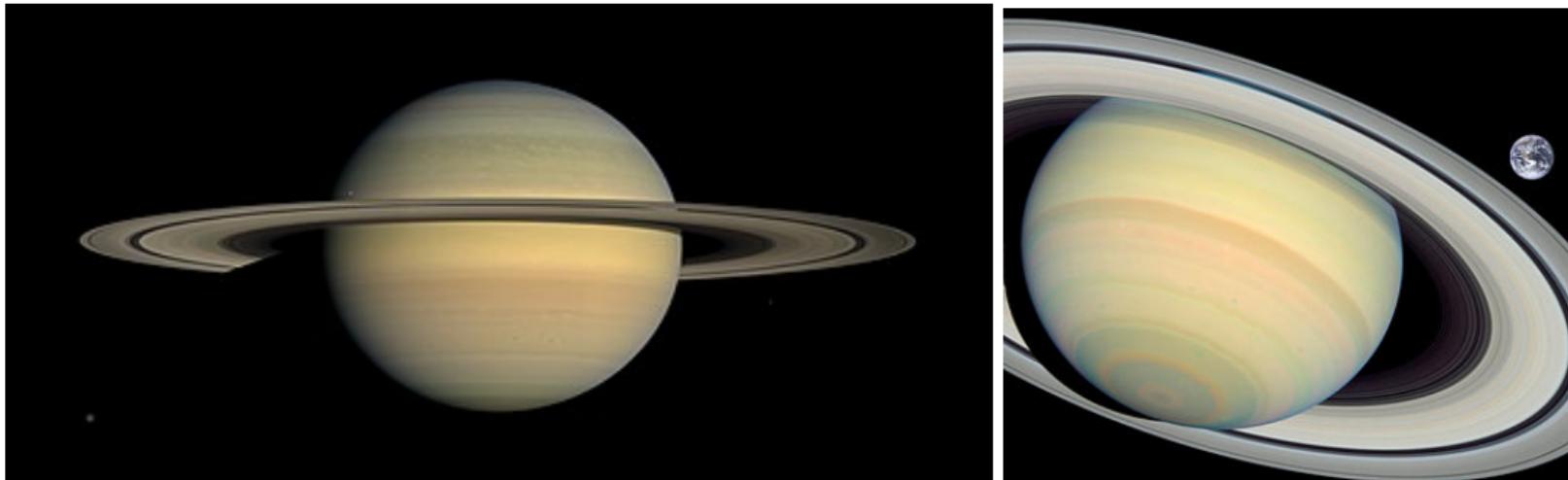
# Las lunas galileanas de Júpiter



## 4 Planetas gaseosos y helados

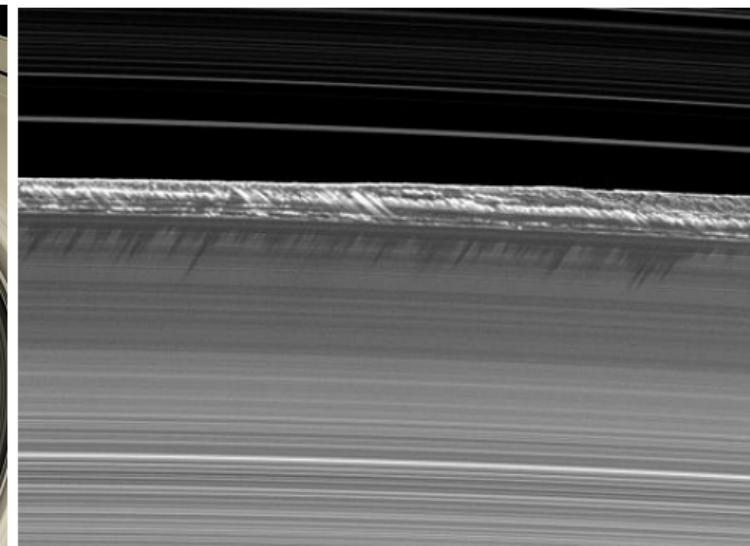
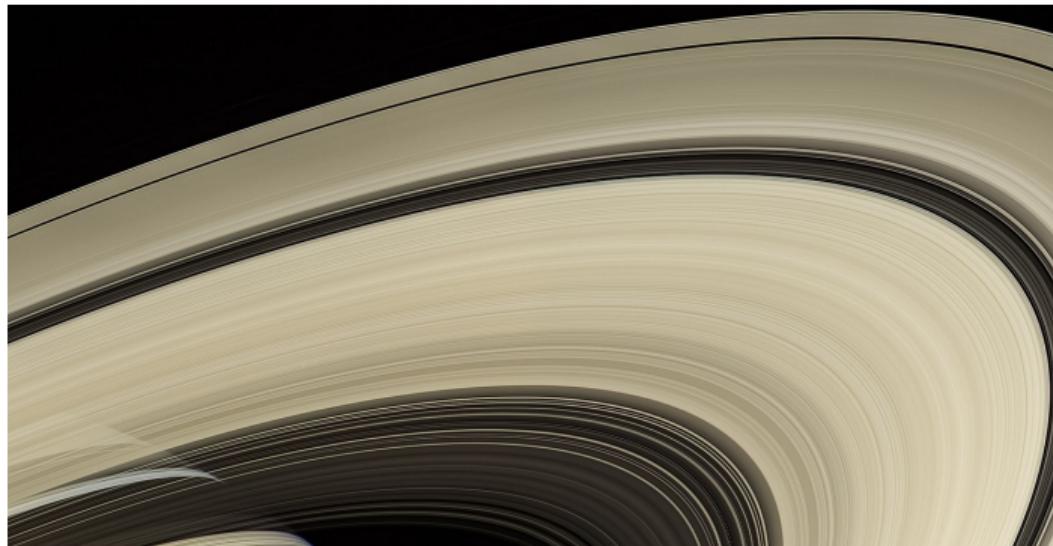
### 4.2 Saturno

# Saturno su atmósfera y sus anillos



- Saturno es un gigante gaseoso (tiene 9 veces el diámetro de la Tierra)
- Saturno tiene una atmósfera muy parecida a la de Júpiter, con zonas y bandas; pero en general con menos formaciones visibles
- Tiene un conjunto de **anillos** formados por partículas de hielo
  - Algunas lunas generan separaciones entre los anillos, la separación más grande se llama la **división de Cassini**
  - El diámetro de los anillos es de 250.000km (2/3 de la distancia Tierra-Luna)

# Los anillos de Saturno

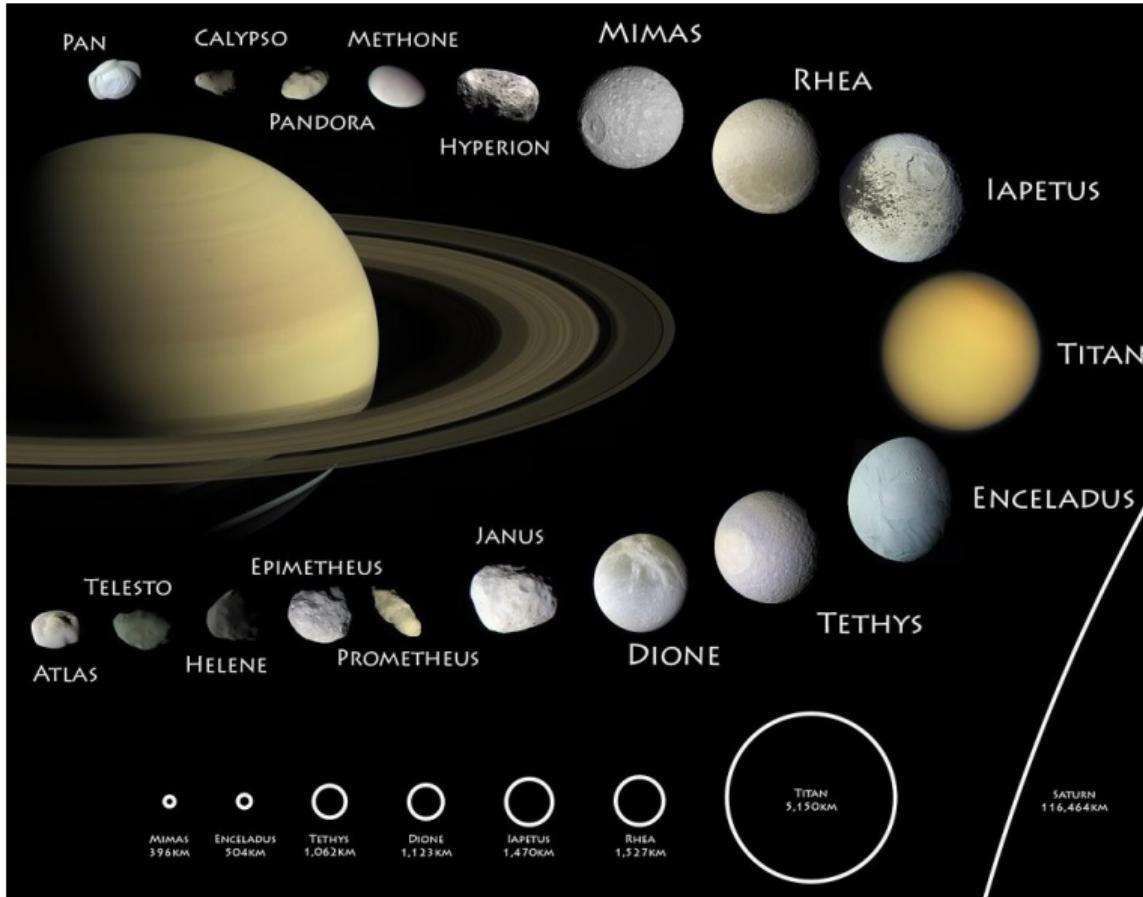


- Cada anillo mayor está compuesto de muchos mini-anillos
- Los anillos están formados de partículas de hielo (con tamaños entre pocos centímetros a pocos metros)
- Los anillos son muy finos: en promedio tienen solo 10 metros de espesor!
- Los anillos no son viejos, están siendo renovados continuamente: las partículas son eyectadas o introducidas por iteraciones de marea y colisiones

## 4.2 Saturno

Lunas de Saturno

# Las lunas de Saturno: posee 82 lunas



- Titan, la luna más grande, es mayor que Mercurio y tiene una densa atmósfera y lagos de metano
- Encelado posee un océano bajo su superficie (análogo a lo que ocurre con Europa, la luna de Júpiter). En la superficie hay erupciones de agua en forma de geysers.
- Encelado y/o Titan podrían albergar algún tipo de vida

## 4 Planetas gaseosos y helados

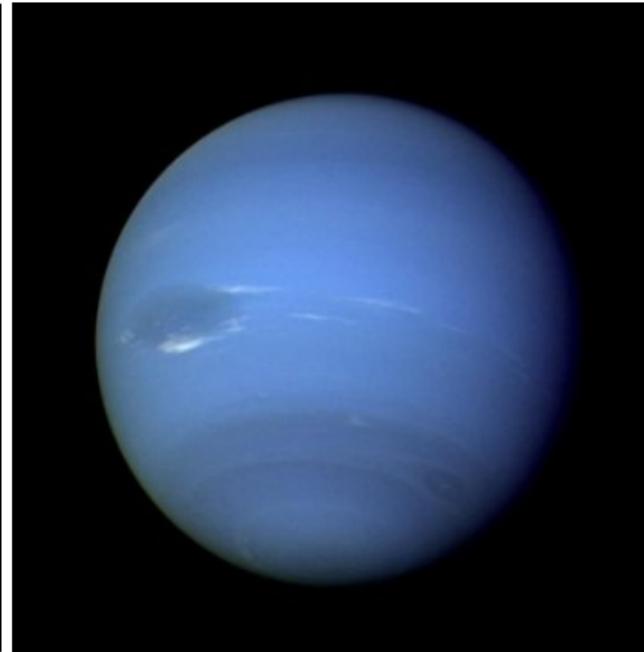
### 4.3 Urano y Neptuno

# Urano y Neptuno: tamaño y composición

Urano



Neptuno



- Urano y Neptuno están compuesto de:
  - Un **núcleo** pequeño y rocoso
  - Un **manto** grueso compuesto de hielos de metano, agua, y amoníaco
  - Una **atmósfera** exterior compuesta de gases de Hidrógeno, Helio y Metano

## 4.3 Urano y Neptuno

Lunas de Urano y Neptuno

# Las lunas de Urano y Neptuno

Urano	Neptuno
Puck	Proteus
Miranda	
Ariel	Triton
Umbriel	Nereid
Titania	+ al menos 11 lunas más
Oberon	
+ al menos 21 lunas más	

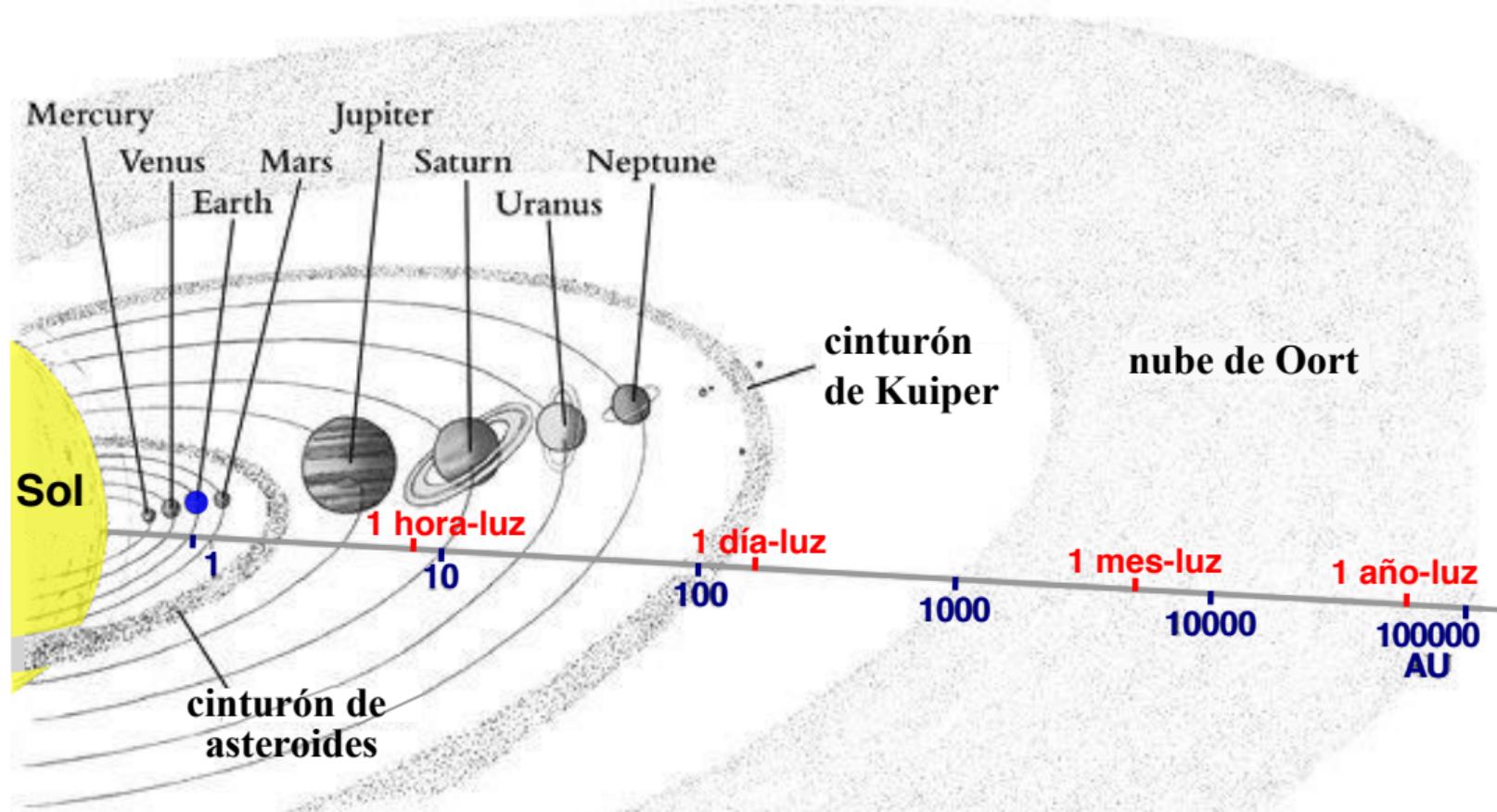
- Urano y Neptuno tienen anillos y muchas lunas
- Urano tiene 27 lunas y Neptuno 14



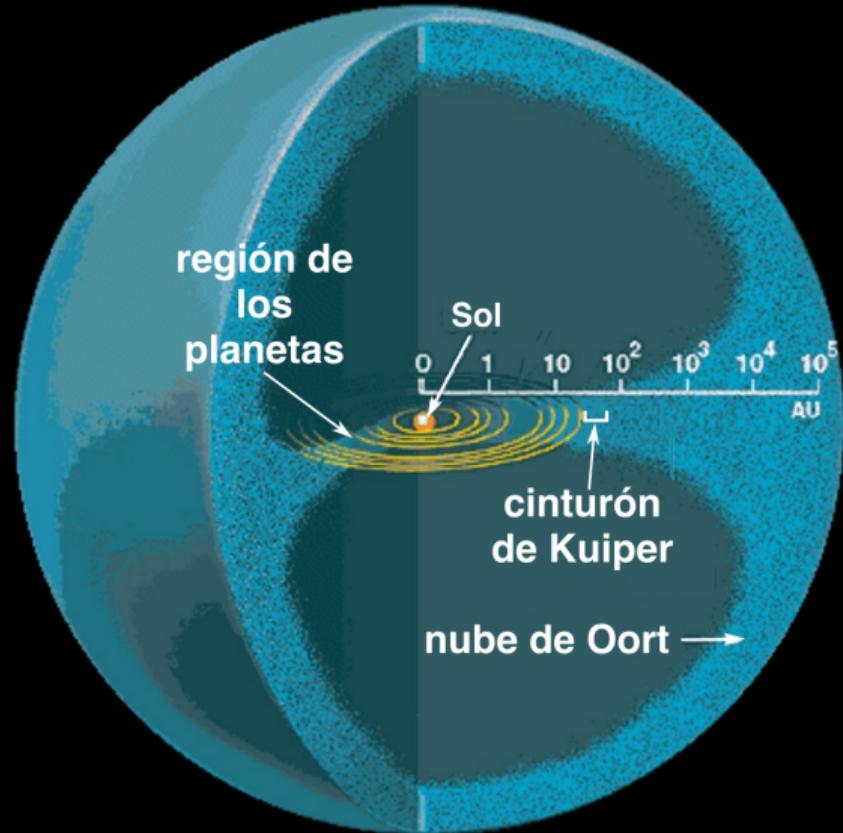
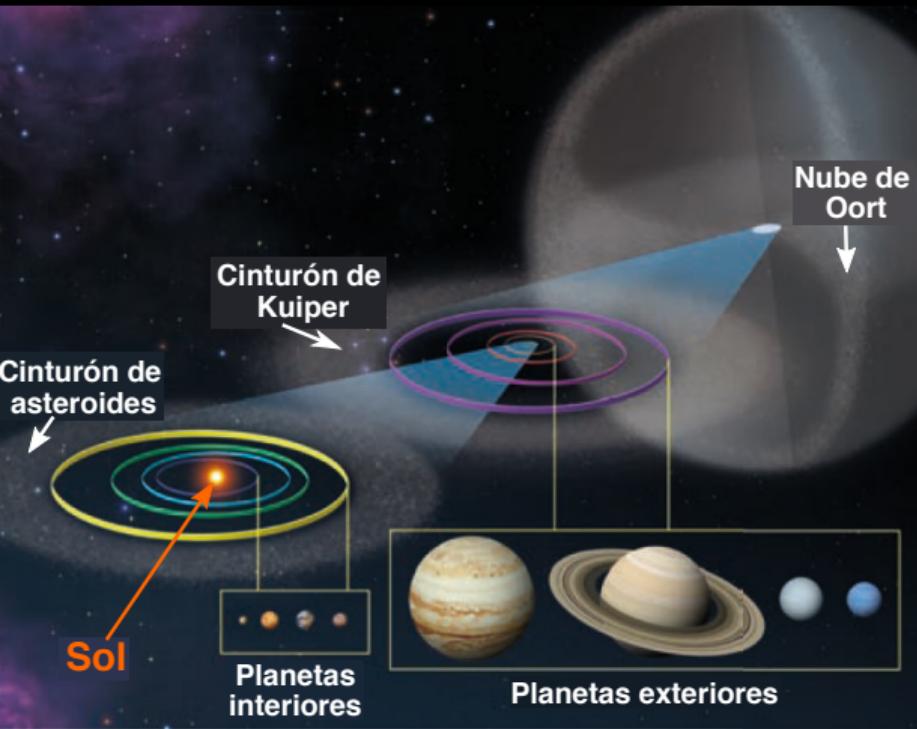
- Tritón, la luna más grande de Neptuno, es probablemente un objeto transneptuniano capturado y posee una geología activa.

## 5 Objetos pequeños del sistema solar

# Estructura general del sistema solar



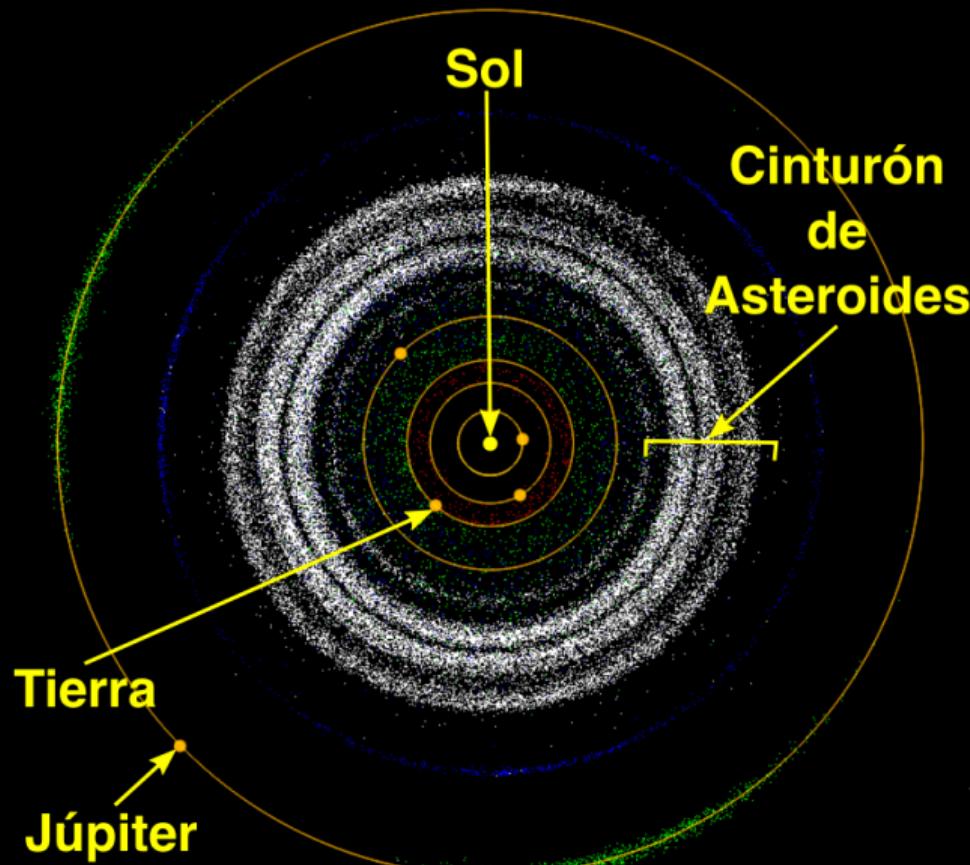
# Cinturón de Kuiper y nube de Oort



# 5 Objetos pequeños del sistema solar

## 5.1 Asteroides

# Cinturón de asteroides



## 5.1 Asteroides

Asteroides del cinturón principal

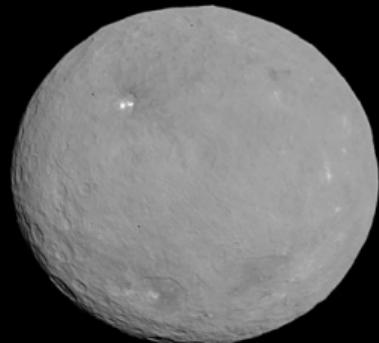
# Asteroides visitados por misiones espaciales



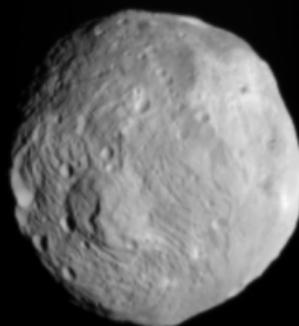
- 8 asteroides del cinturón principal han sido visitados por misiones espaciales:
- Ceres, Vesta, Lutetia, Mathilde, Ida/Dactyl, Gaspra, Annefrank y Steins

# Asteroides: algunos ejemplos

1 Ceres (939km),



4 Vesta (525km),



243 Ida (60km) y Dactyl



253 Mathilde (50km)



951 Gaspra (18km)

## 5.1 Asteroides

Near Earth Objects (NEOs)

# Near Earth Objects (NEOs): algunos ejemplos



433 Eros (17km; NEAR Shoemaker, NASA)



101955 Bennu (0,5km; OSIRIS-REx, NASA)

## 5 Objetos pequeños del sistema solar

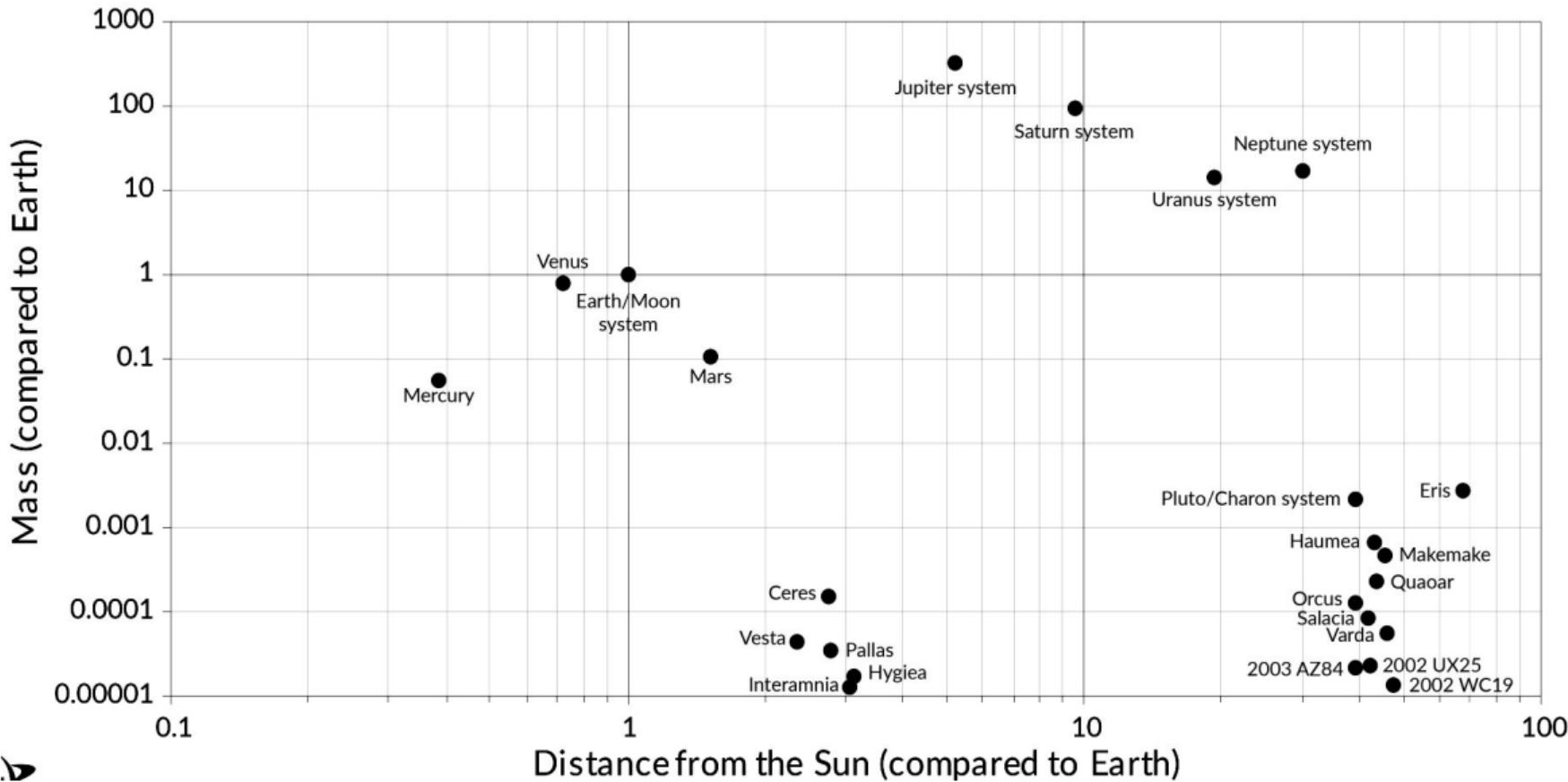
### 5.2 Objetos transneptunianos (TNOs) y del cinturón de Kuiper

# Objetos transneptunianos (TNOs) y del cinturón de Kuiper

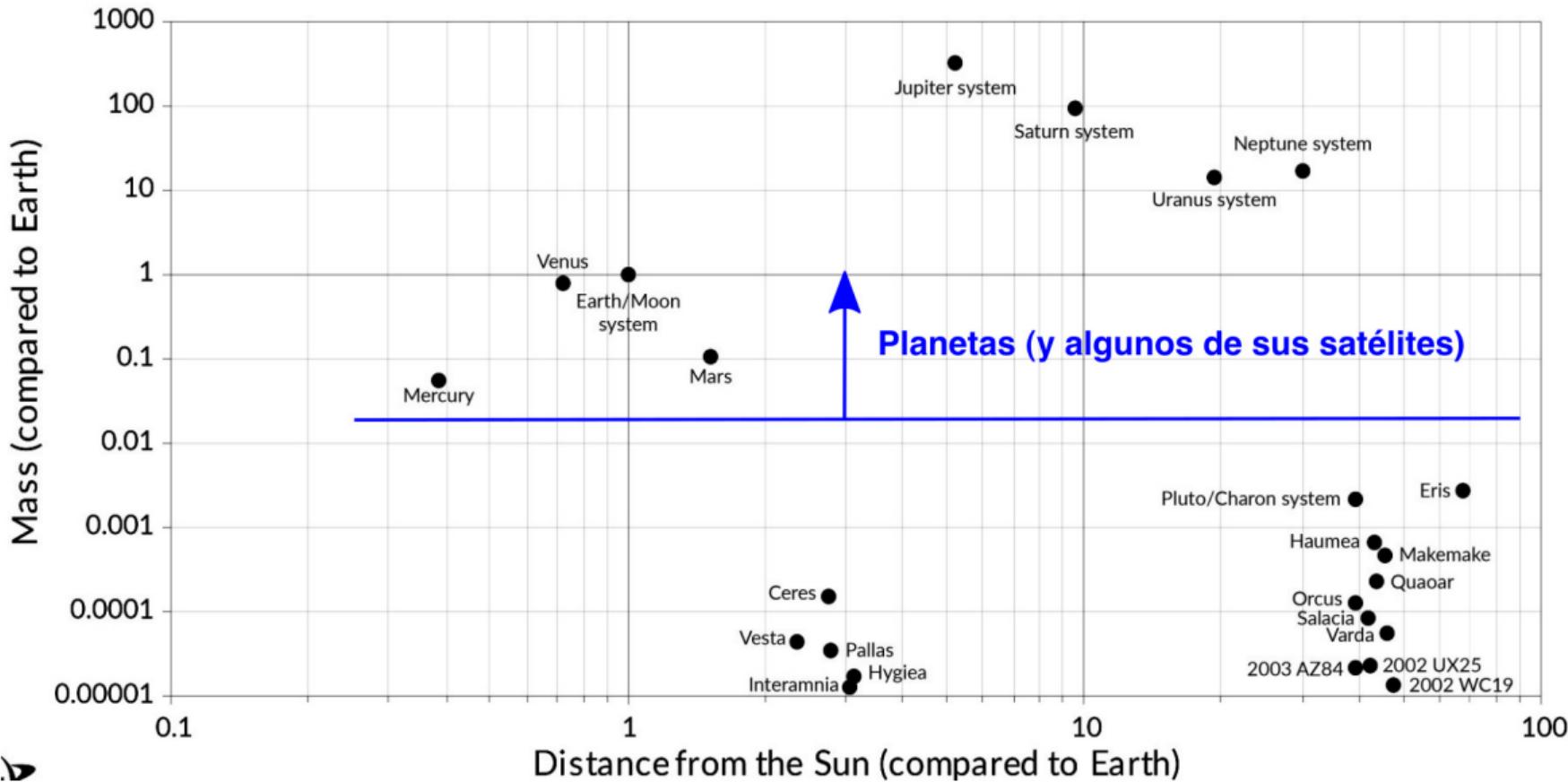


- Algunos de los objetos pueden llegar a medir más de 2.300 km (Eris), pero probablemente existan objetos más grandes todavía no descubiertos.

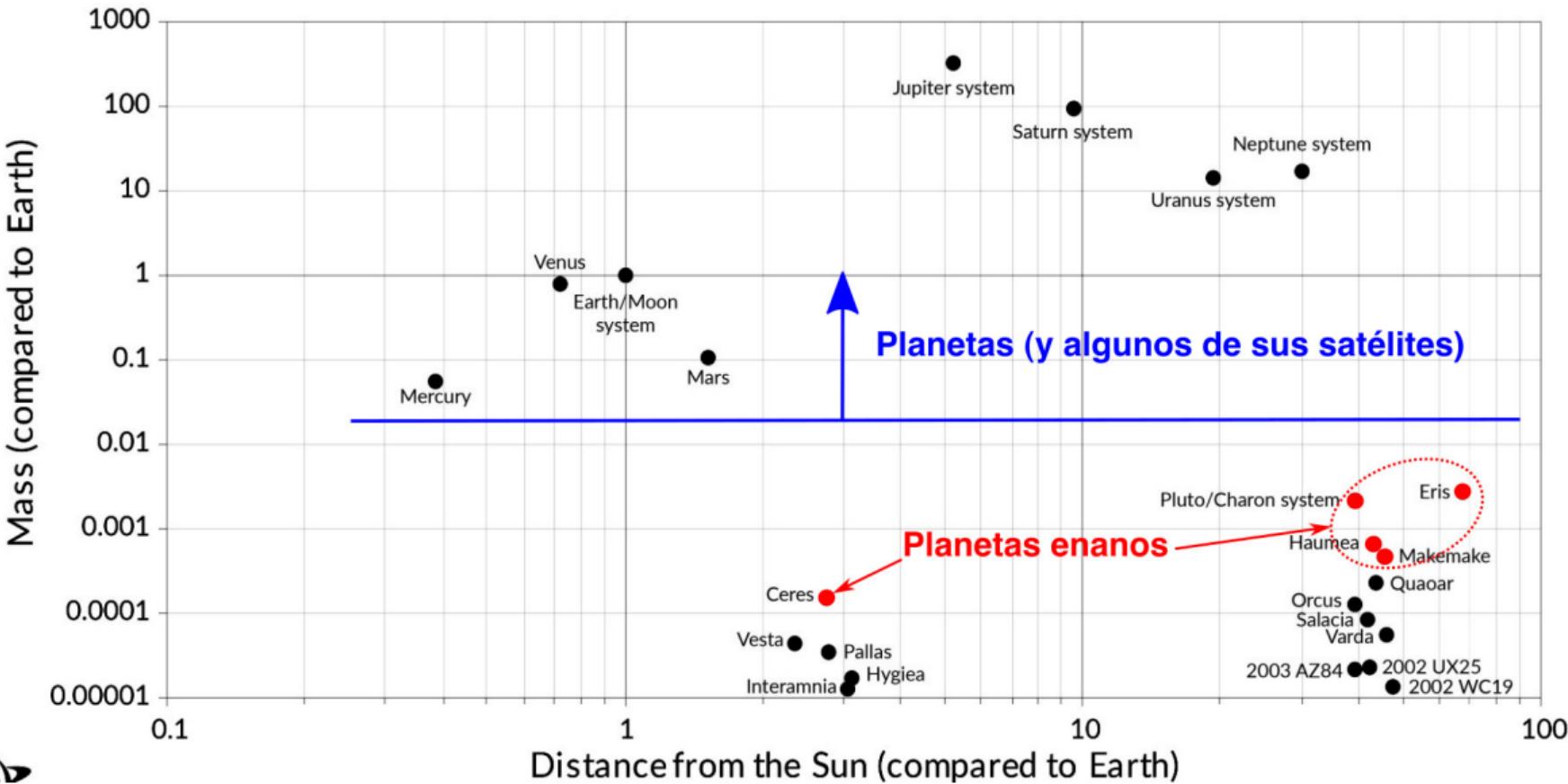
# Planetas, planetas enanos y otros objetos masivos



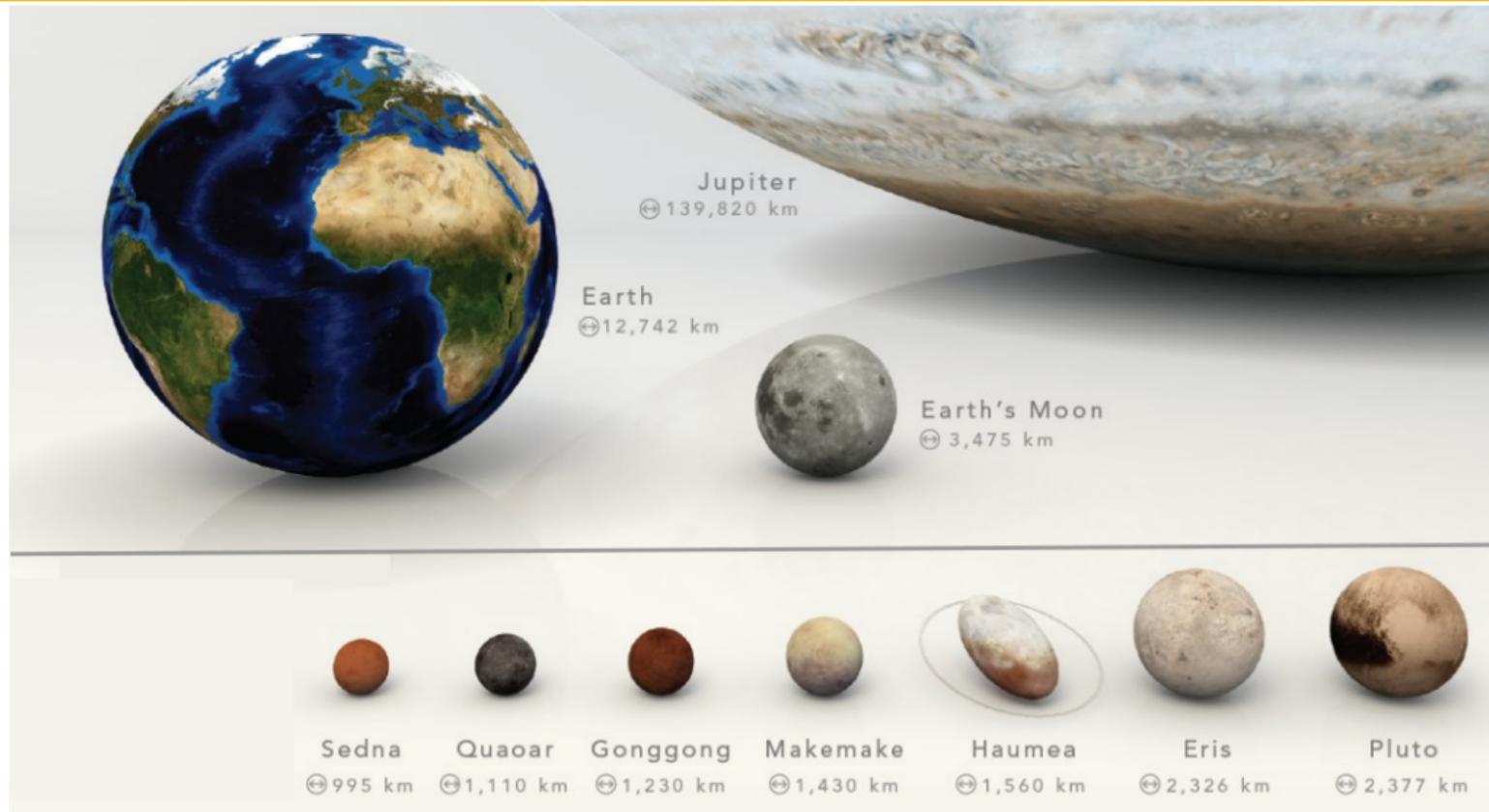
# Planetas, planetas enanos y otros objetos masivos



# Planetas, planetas enanos y otros objetos masivos



# Planetas enanos actuales y futuros?



Reconocidos por la IAU como planetas enanos: Eris, Plutón, Haumea, Makemake (y Ceres)

# 5 Objetos pequeños del sistema solar

## 5.3 Cometas

# Los cometas

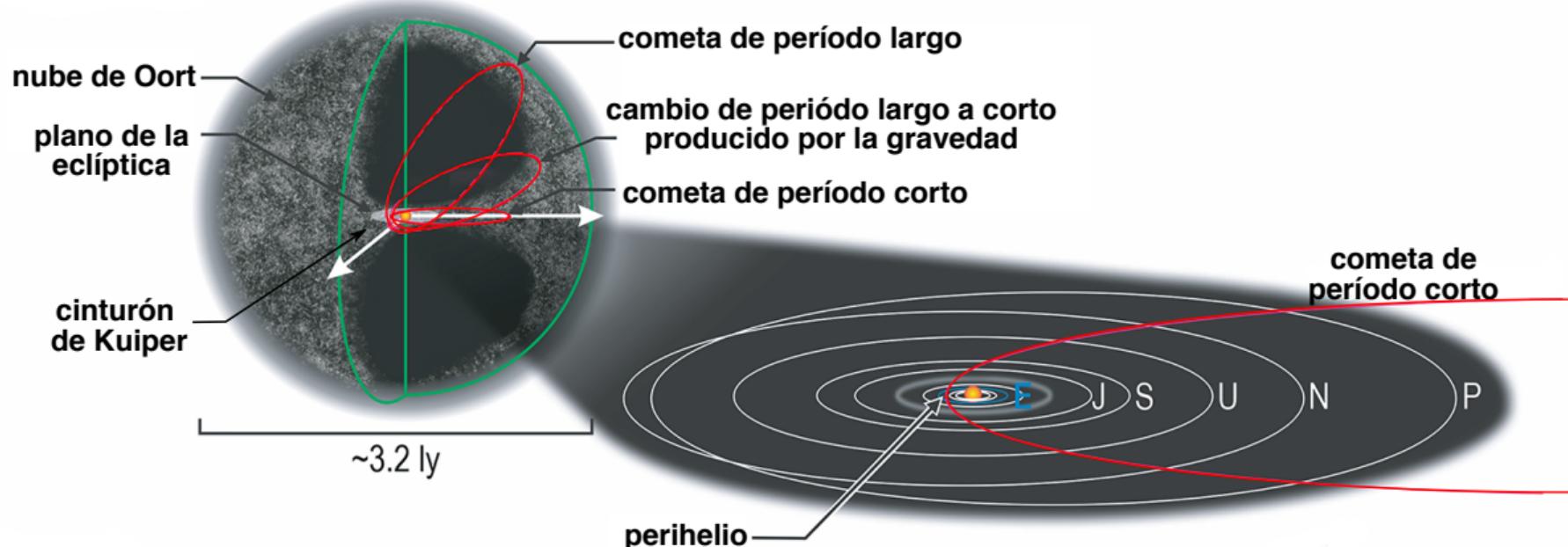


Cometa Neowise (C/2020 F3 (NEOWISE))

## 5.3 Cometas

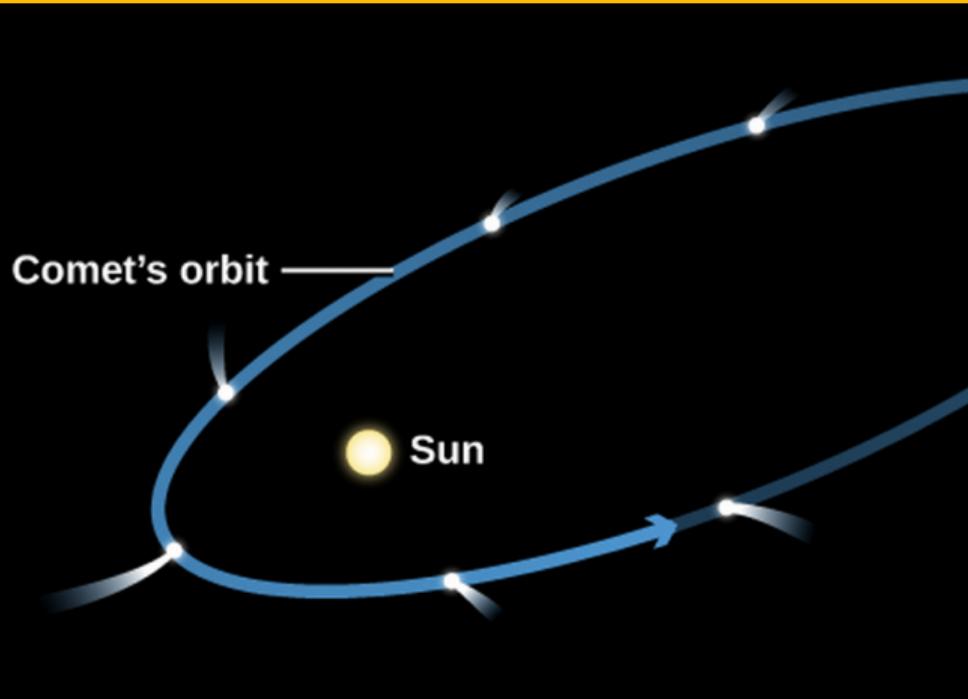
Órbitas y colas de los cometas

# Orbitas de los cometas y su origen



- Las **órbitas** de los cometas son muy **elípticas** y no necesariamente en el plano de la Eclíptica (el plano del sistema solar)
- Suelen tener  **períodos de revolución largos o muy largos**, entre 3,3 años (2P/Encke) y muchos cientos de años o milenios.

# Colas de los cometas

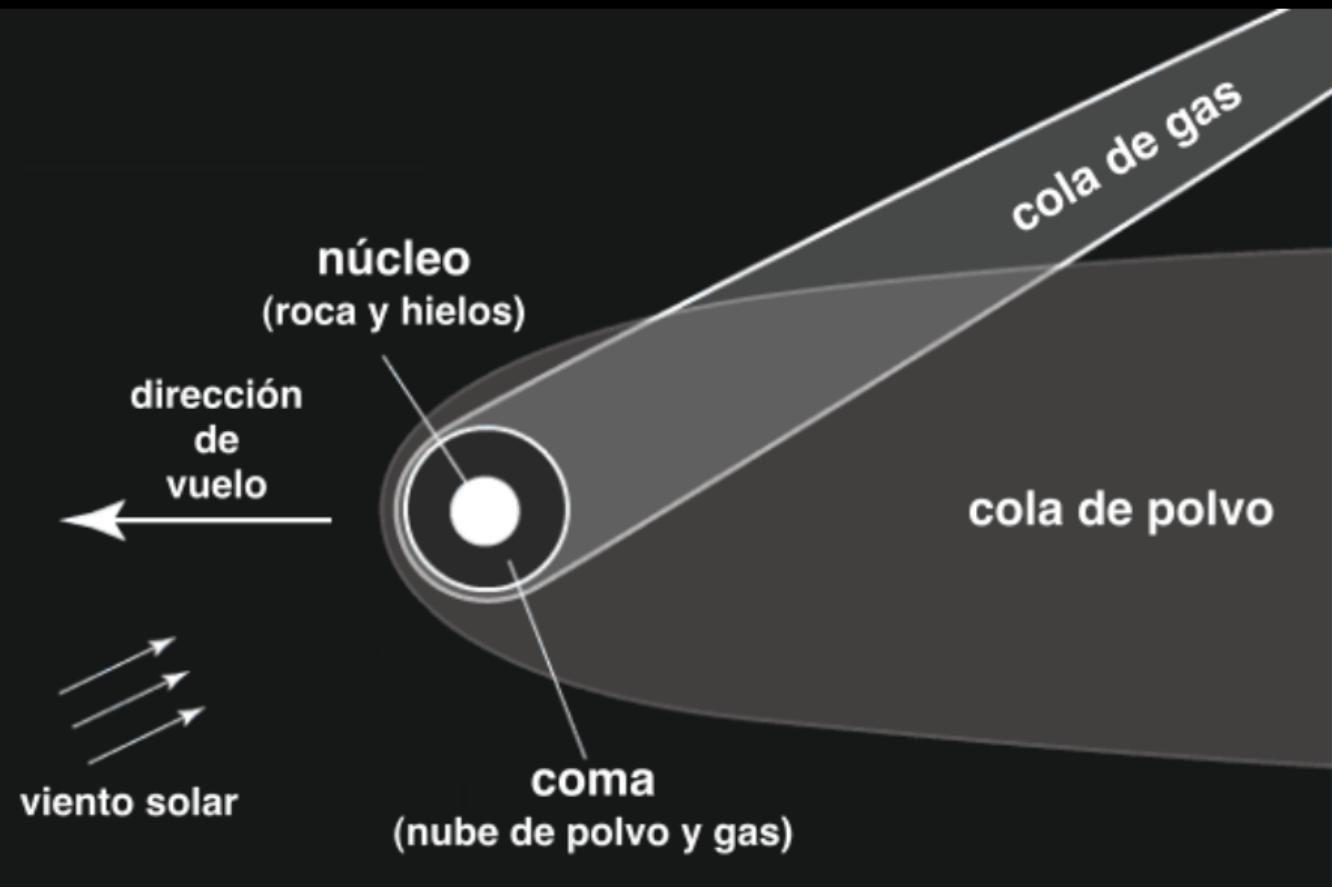


- Cuando el cometa se acerca al Sol, desarrolla una **cola**
  - La cola puede a llegar a ser muy grande (qué puede llegar a tener una longitudes de más de 20 veces la distancia Tierra-Luna!)
  - La cola suele estar dirigida en dirección contraria a la posición del Sol

## 5.3 Cometas

Anatomía de los cometas

# Anatomía de un cometa



Partes de un cometa:

- núcleo
- coma
- cola de polvo
- cola de gas (o iónica)

## Anatomía de un cometa: núcleo



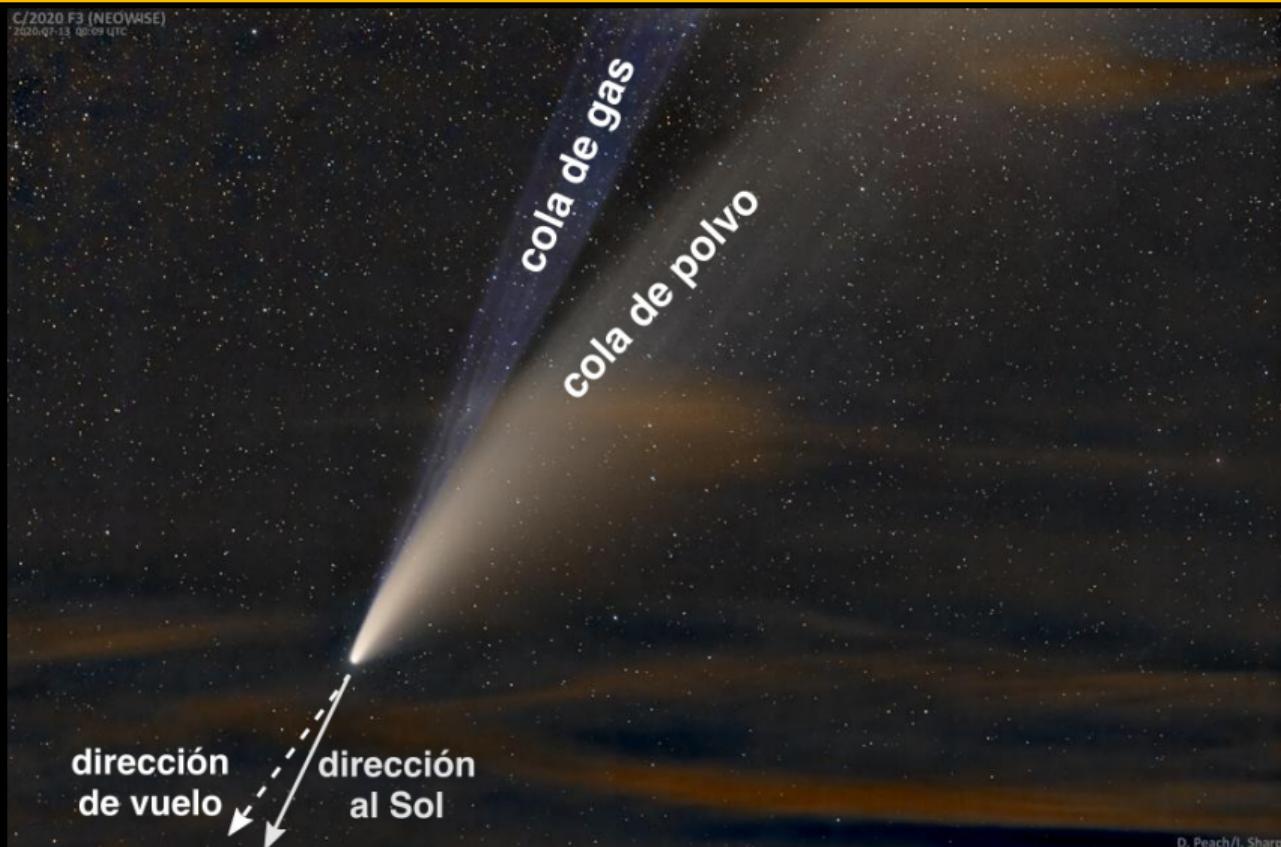
Ejemplos: Núcleos de los cometas: 67P/Churyumov-Gerasimenko y 103P/Hartley

# Anatomía de un cometa: colas de polvo y gas



Cometa Neowise (C/2020 F3 (NEOWISE))

# Anatomía de un cometa: colas de polvo y gas



Cometa Neowise (C/2020 F3 (NEOWISE))

## 5.3 Cometas

Lluvias de meteoros y cometas

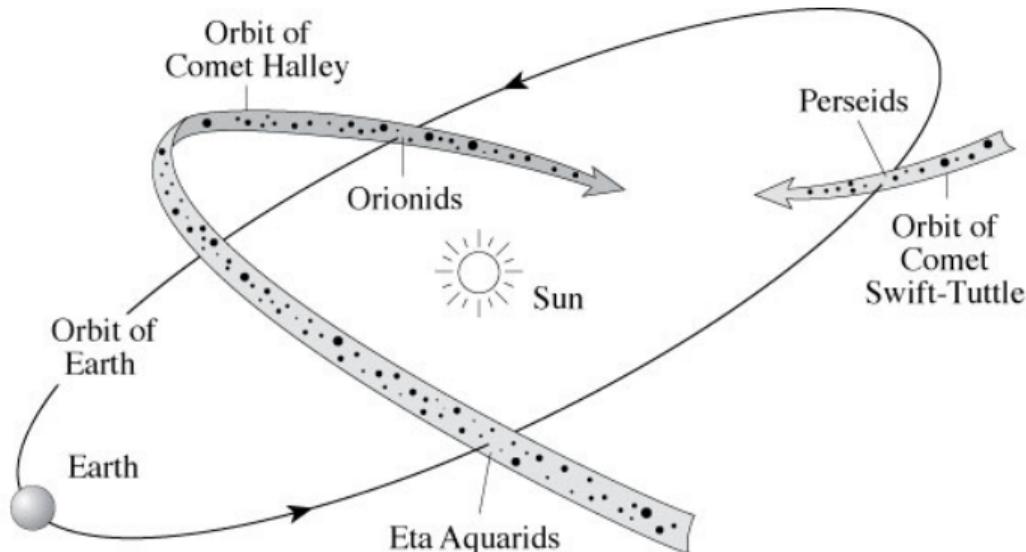
## 5 Objetos pequeños del Sistema Solar

Las lluvias de meteoros y su relación los cometas

# Lluvias de meteoros



# Lluvias de meteoros y la órbita de los cometas



- Las lluvias de meteoros se producen cuando la tierra intersecta la órbita de un cometa.
- En la órbita del cometa (independientemente de la posición del cometa) suele haber restos de polvo cometario que el cometa ha ido desprendiendo.
- Hay varios cometas que interseccionan la órbita de la Tierra. Por lo tanto a lo largo del año se producen varias lluvias de meteoros.

## 6 Resumen: estructura general del sistema solar

# Todo el Sistema Solar

