

Introducción al Sistema Solar

Ernesto Nicola

Palma de Mallorca, 28-10-2021



Contenido de la charla

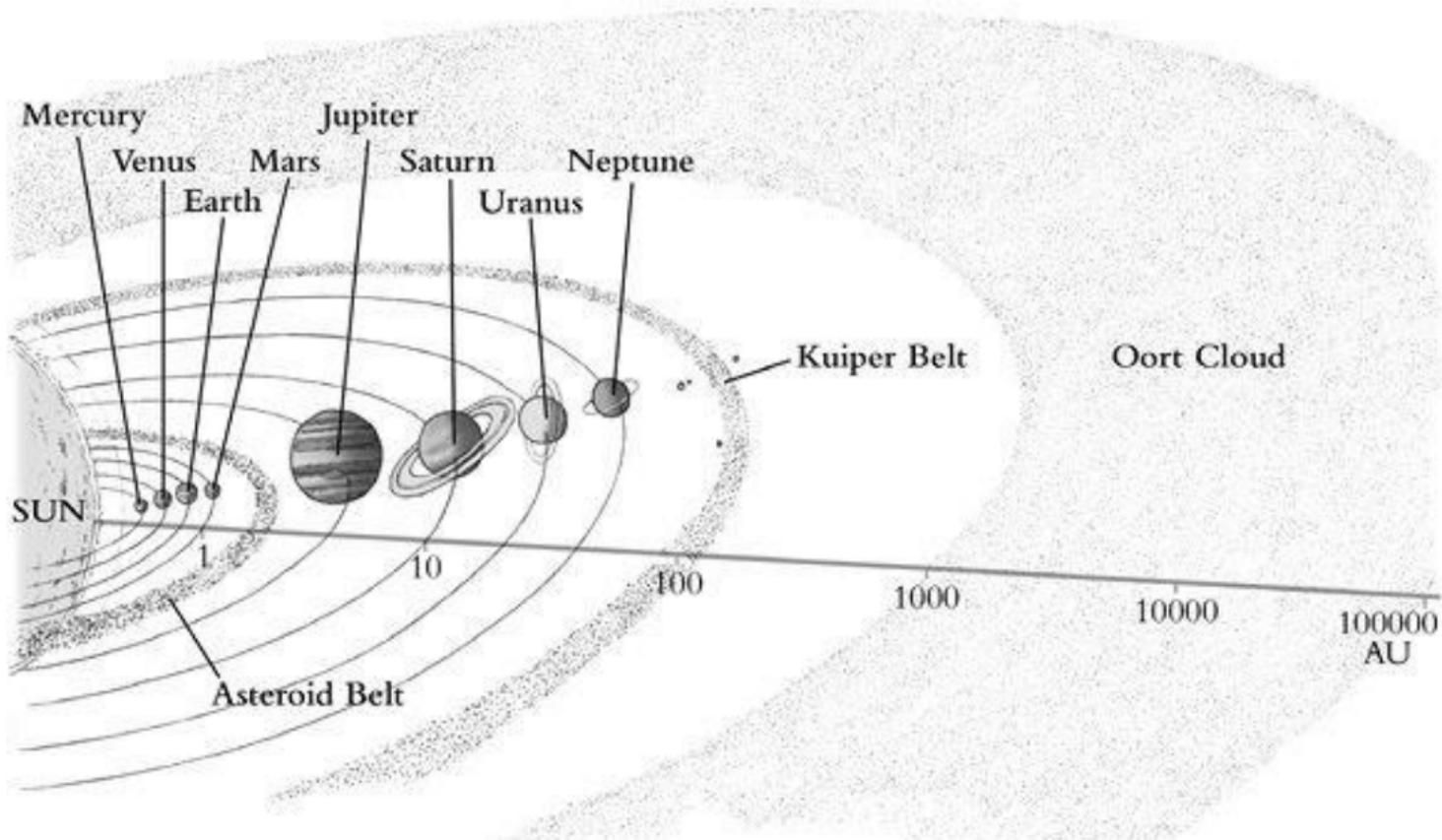
- ① Inventario del Sistema Solar
- ② ¿Cómo se formó el Sistema Solar?
- ③ Características generales de los Planetas
- ④ Un paseo por los Planetas y Lunas del Sistema Solar
 - Mercurio
 - Venus
 - Tierra
 - Marte
 - Júpiter
 - Saturno
 - Urano y Neptuno

1. Inventario del Sistema Solar

Estructura general del Sistema Solar

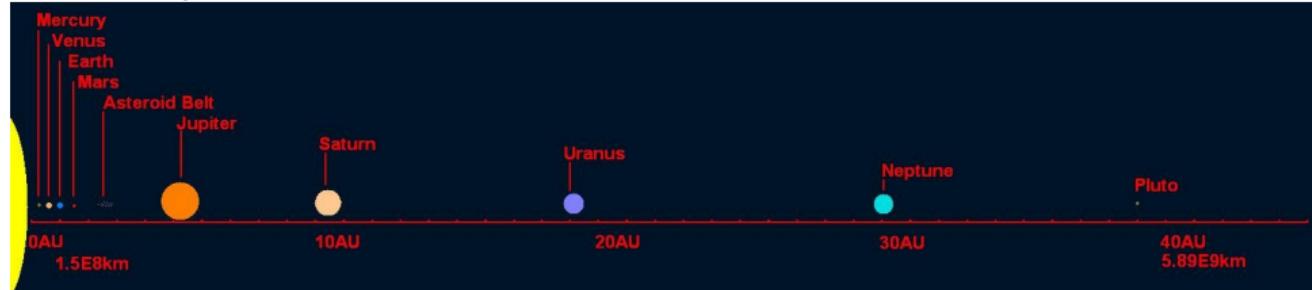
- ① Una estrella en el centro: el **Sol**
- ② Varios **planetas** orbitando al Sol en el mismo plano
 - Planetas interiores: son rocosos y relativamente pequeños (Mercurio, Venus, Tierra y Marte)
 - Planetas exteriores: son gaseosos y grandes (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno)
 - Muchos planetas poseen satélites naturales: lunas
- ③ Muchísimos **asteroides** que también orbitan al Sol
 - Están ubicados fundamentalmente el *Cinturón de asteroides*, entre los planetas interiores y los exteriores)
- ④ Una enorme cantidad de **cometas helados y otros objetos de composición similar**
 - Están fundamentalmente en el *Cinturón de Kuiper y la Nube de Oort*)

Estructura general del Sistema Solar

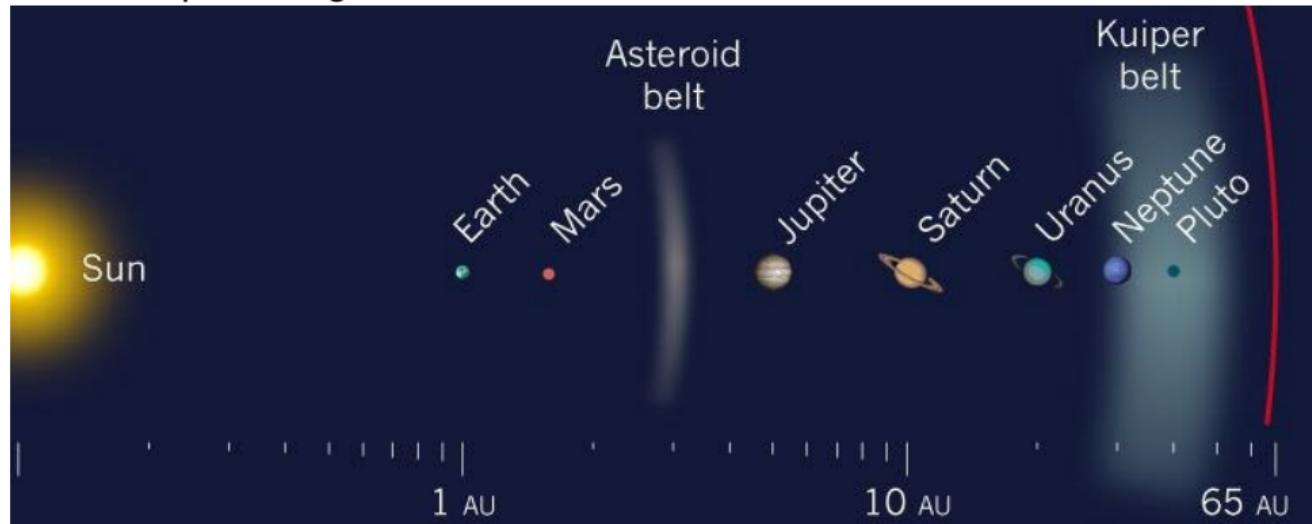


Escala del Sistema Solar

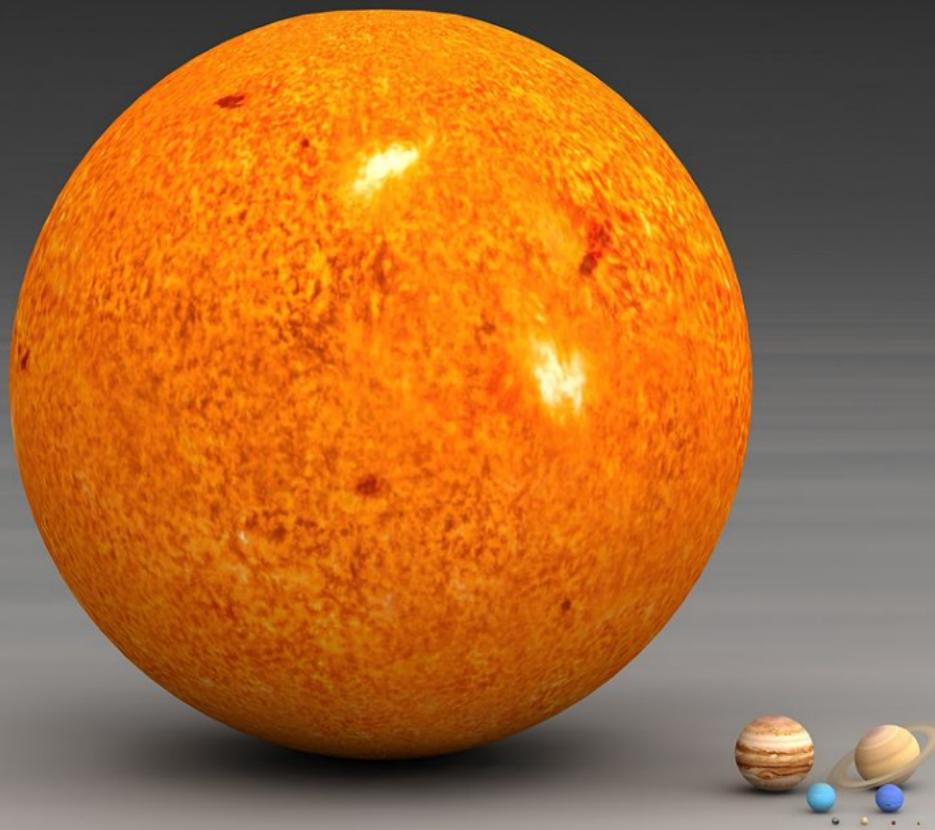
Escala espacial lineal:



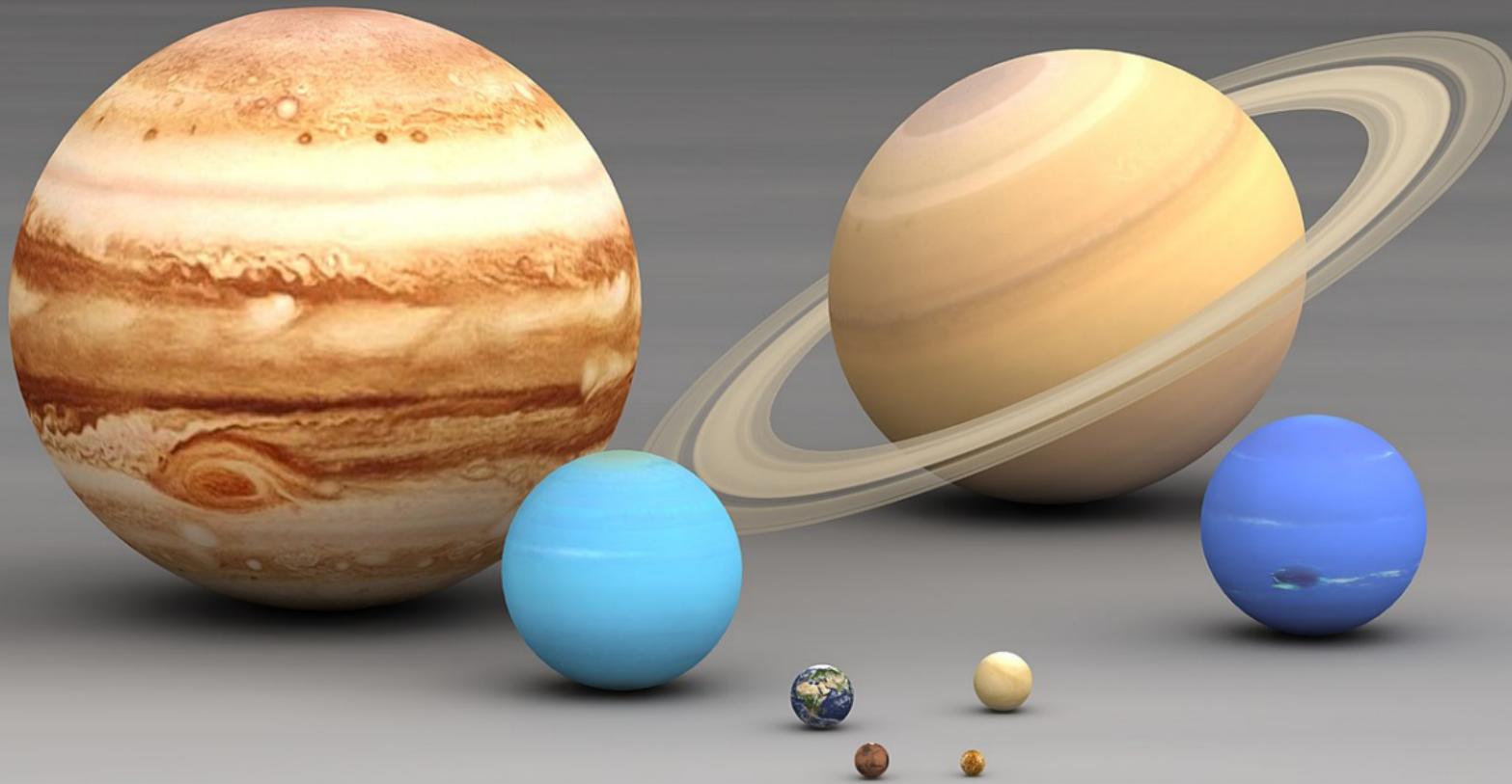
Escala espacial logarítmica:



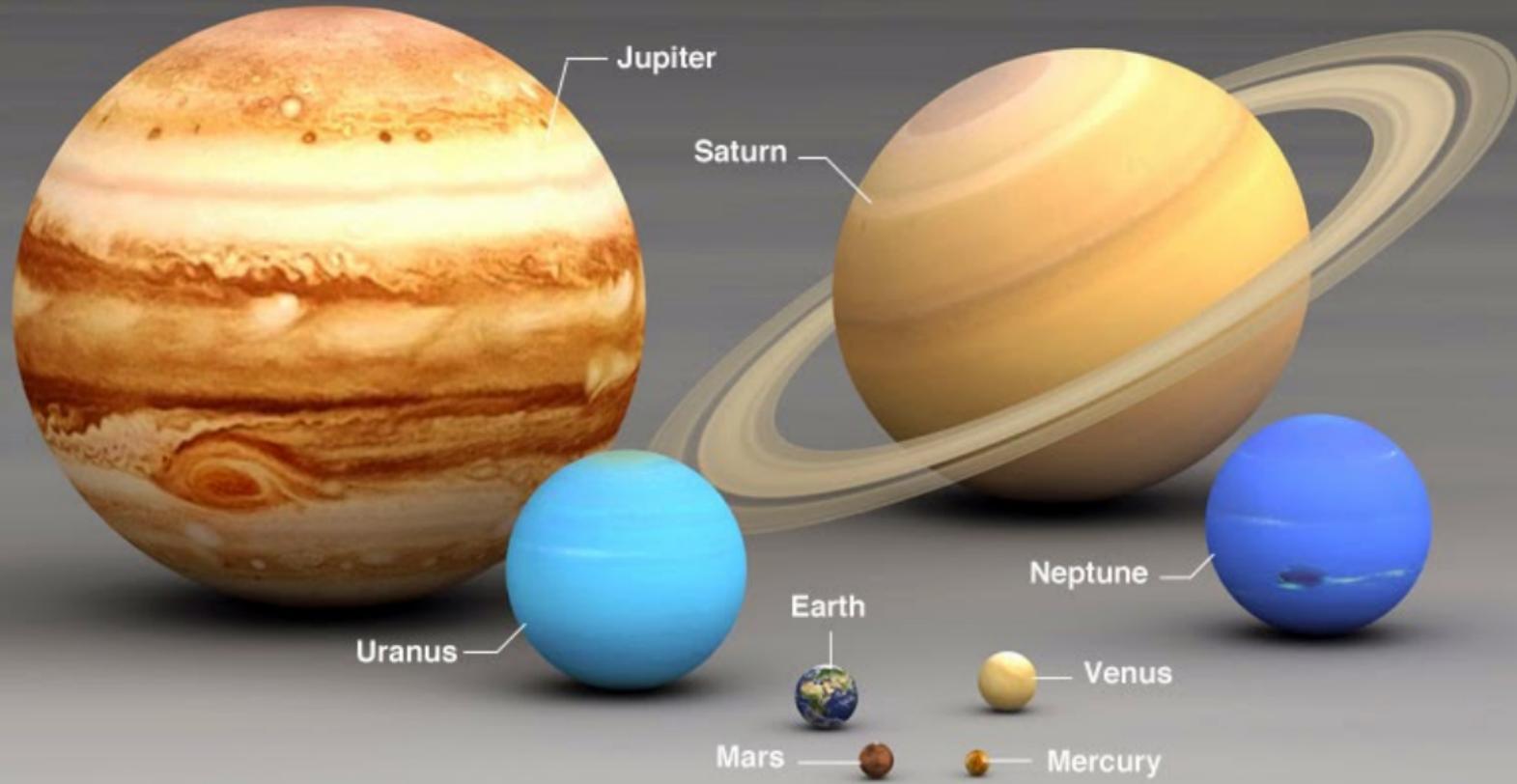
El Sistema Solar a escala: el Sol y los Planetas



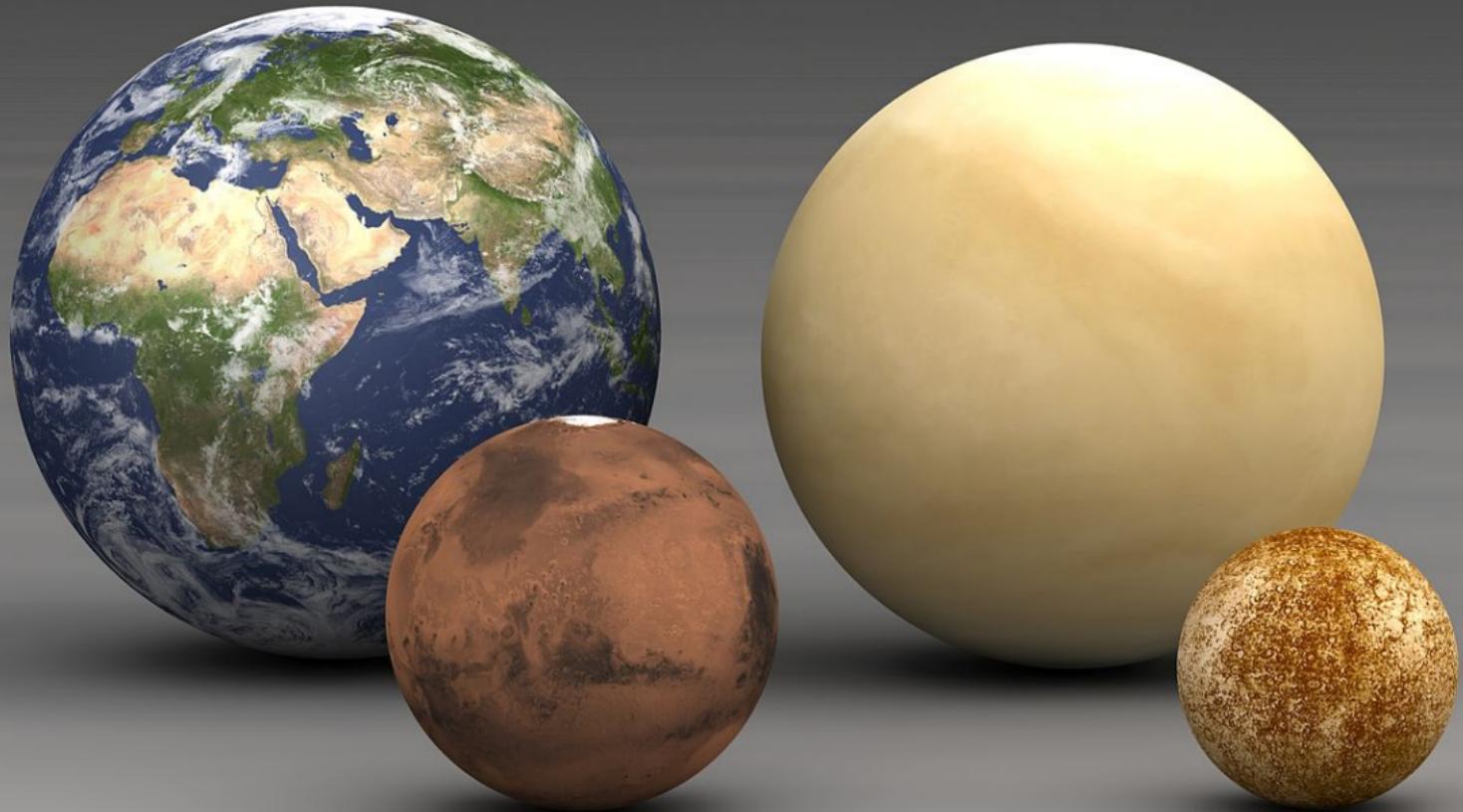
El Sistema Solar a escala: los Planetas



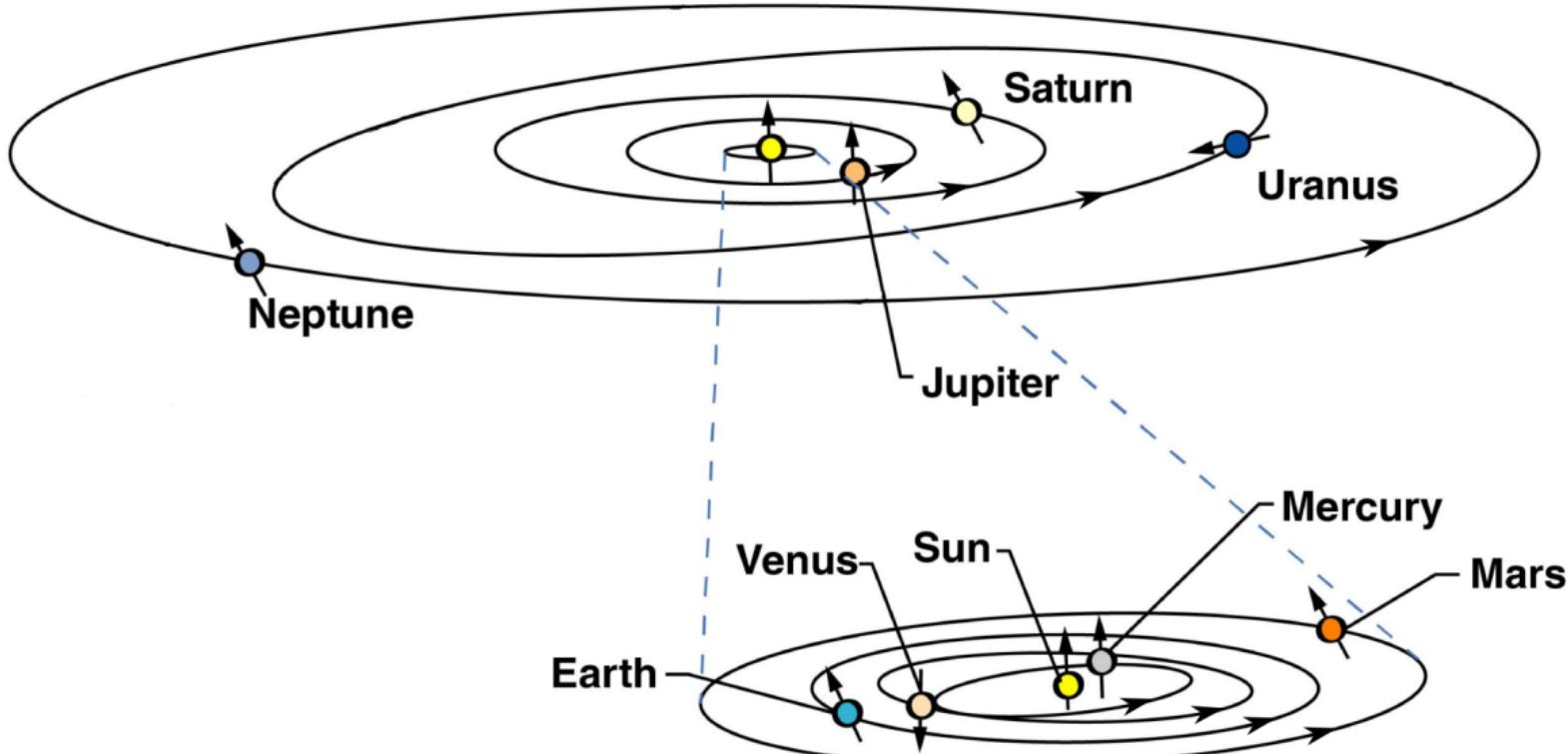
El Sistema Solar a escala: los Planetas



El Sistema Solar a escala: los Planetas Rocosos

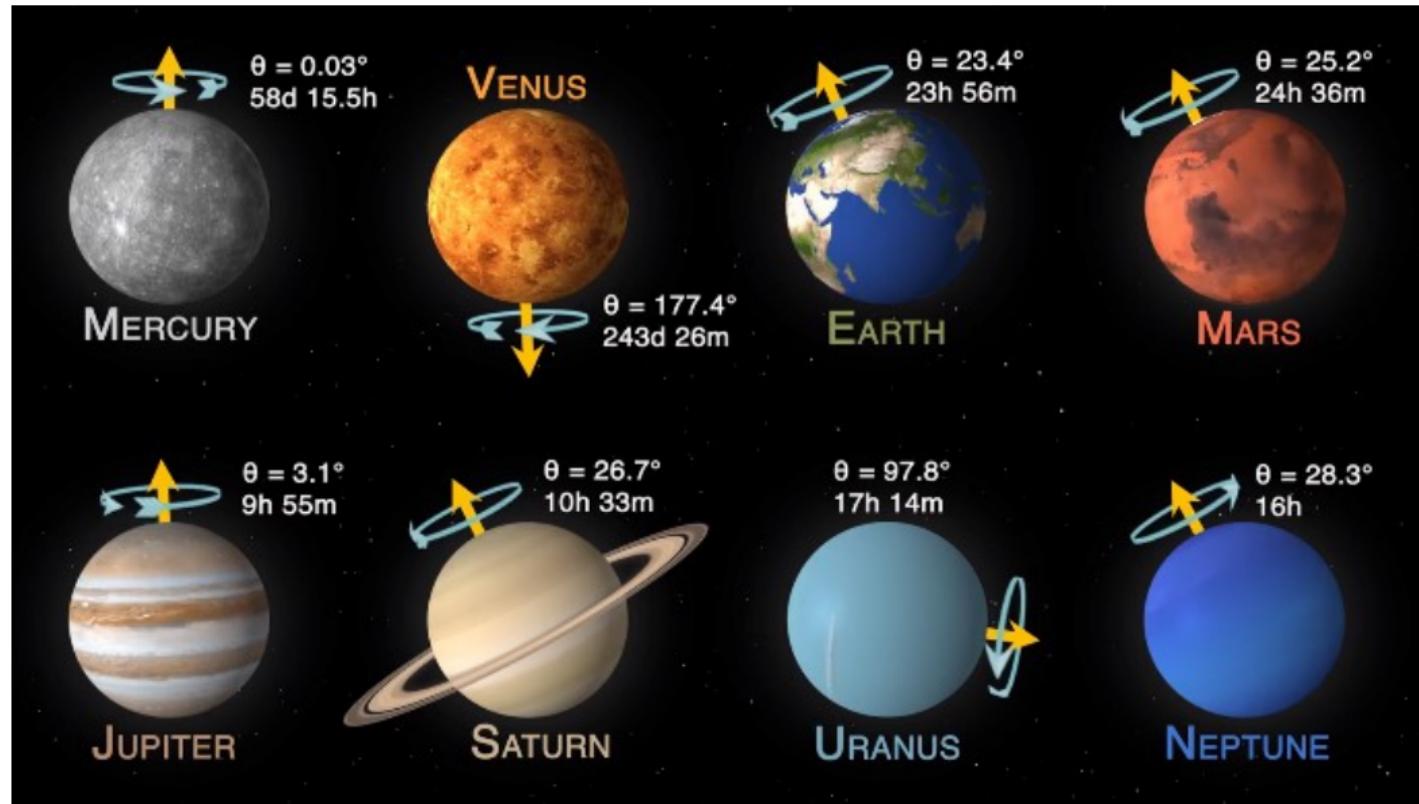


Órbitas Planetarias



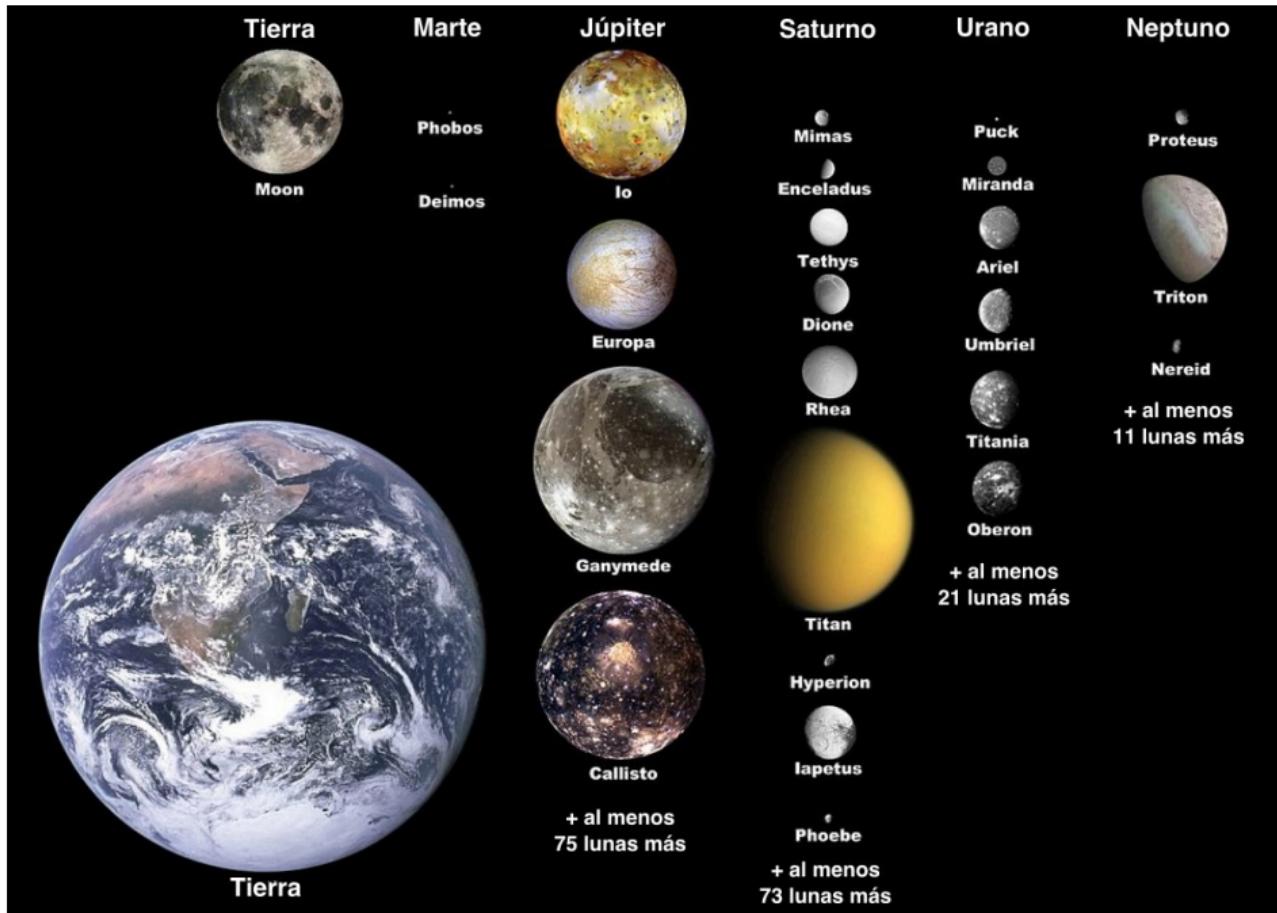
- Todos los planetas orbitan al Sol en el mismo plano y en la misma dirección: anti-horaria (llamado "movimiento prógrado")

Rotación Planetaria



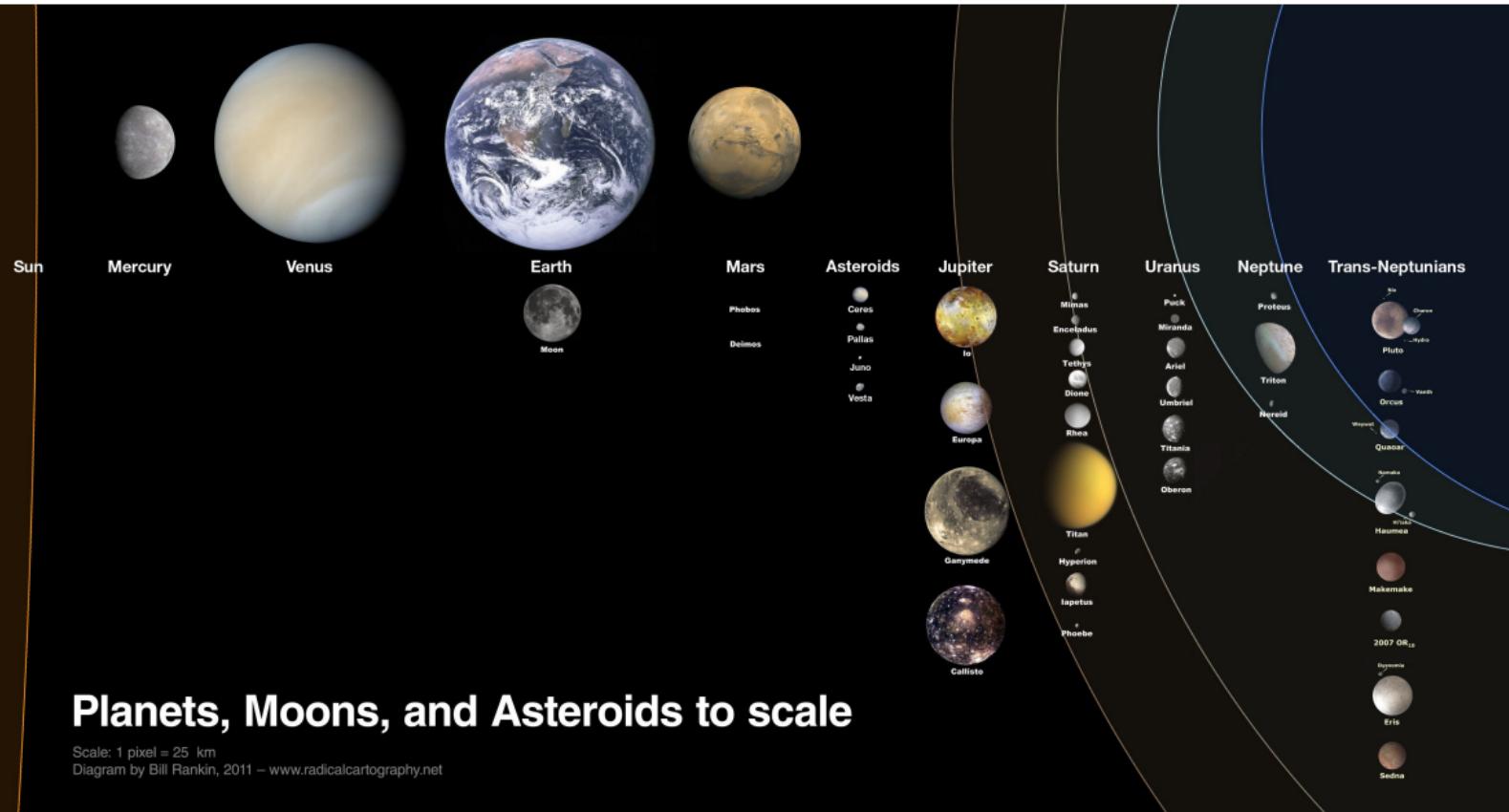
- La mayoría de los planetas rotan sobre su eje en sentido anti-horario (i.e. "prógrado").
- Venus y Urano son la excepción, probablemente sus ejes se desplazados por colisiones.

Los Planetas y sus Lunas

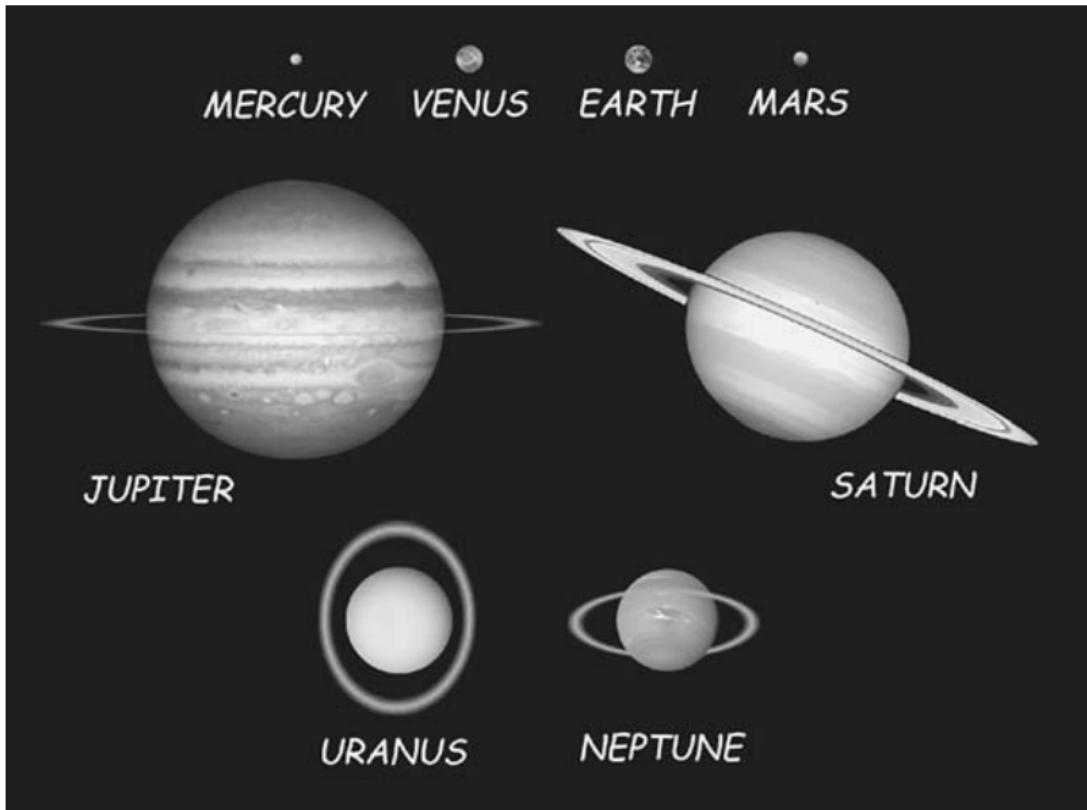


Los Planetas y sus Lunas

Hay alrededor de 160 lunas de tamaño considerable en el sistema solar



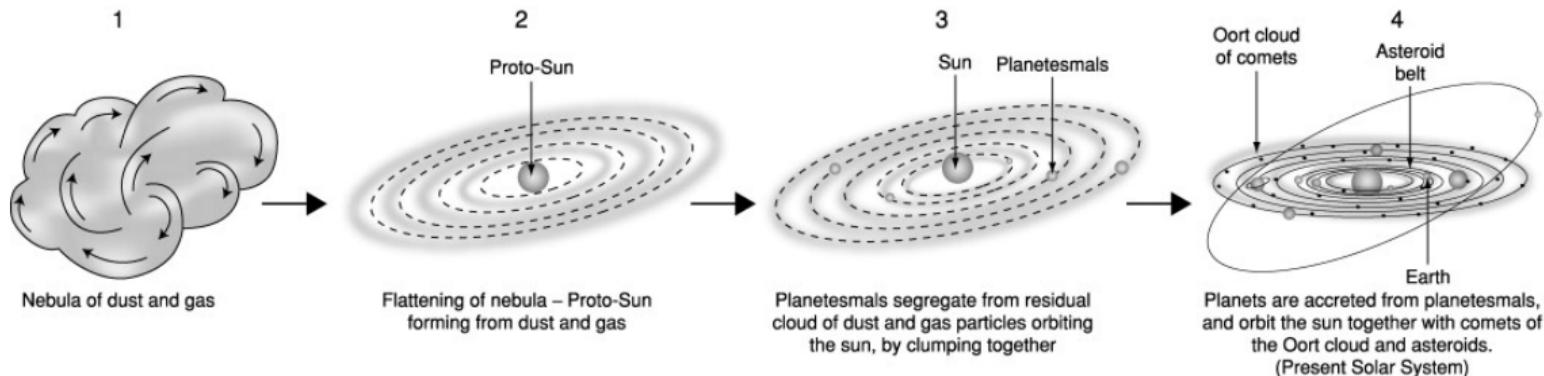
Planetas Exteriores: Anillos



- Todos los planetas gaseosos tiene anillos (al igual que algunos asteroides y objetos del Cinturón de Kuiper)

2. Formación del Sistema Solar

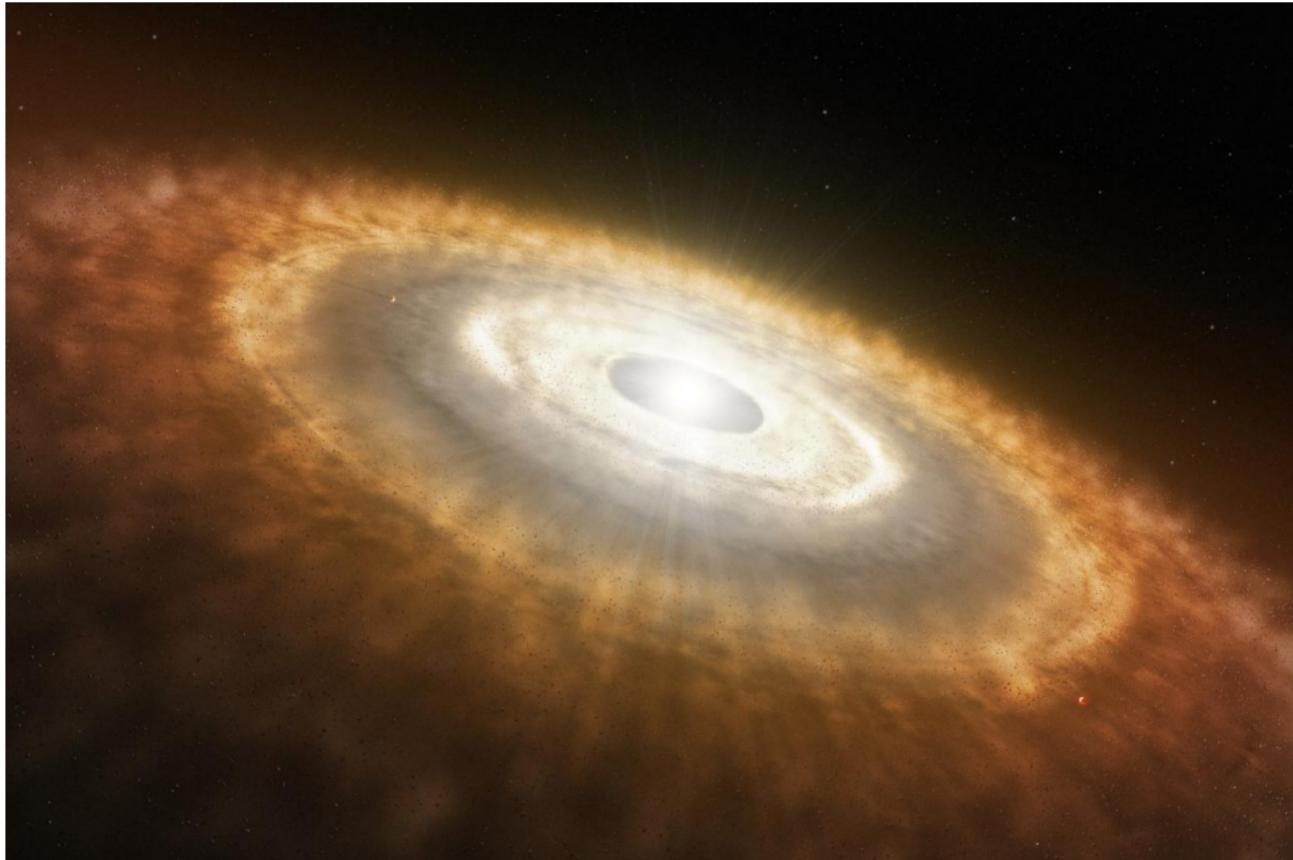
Formación del Sistema Solar



De una nube de gas a un sistema planetario pasando por un disco de polvo y gas:

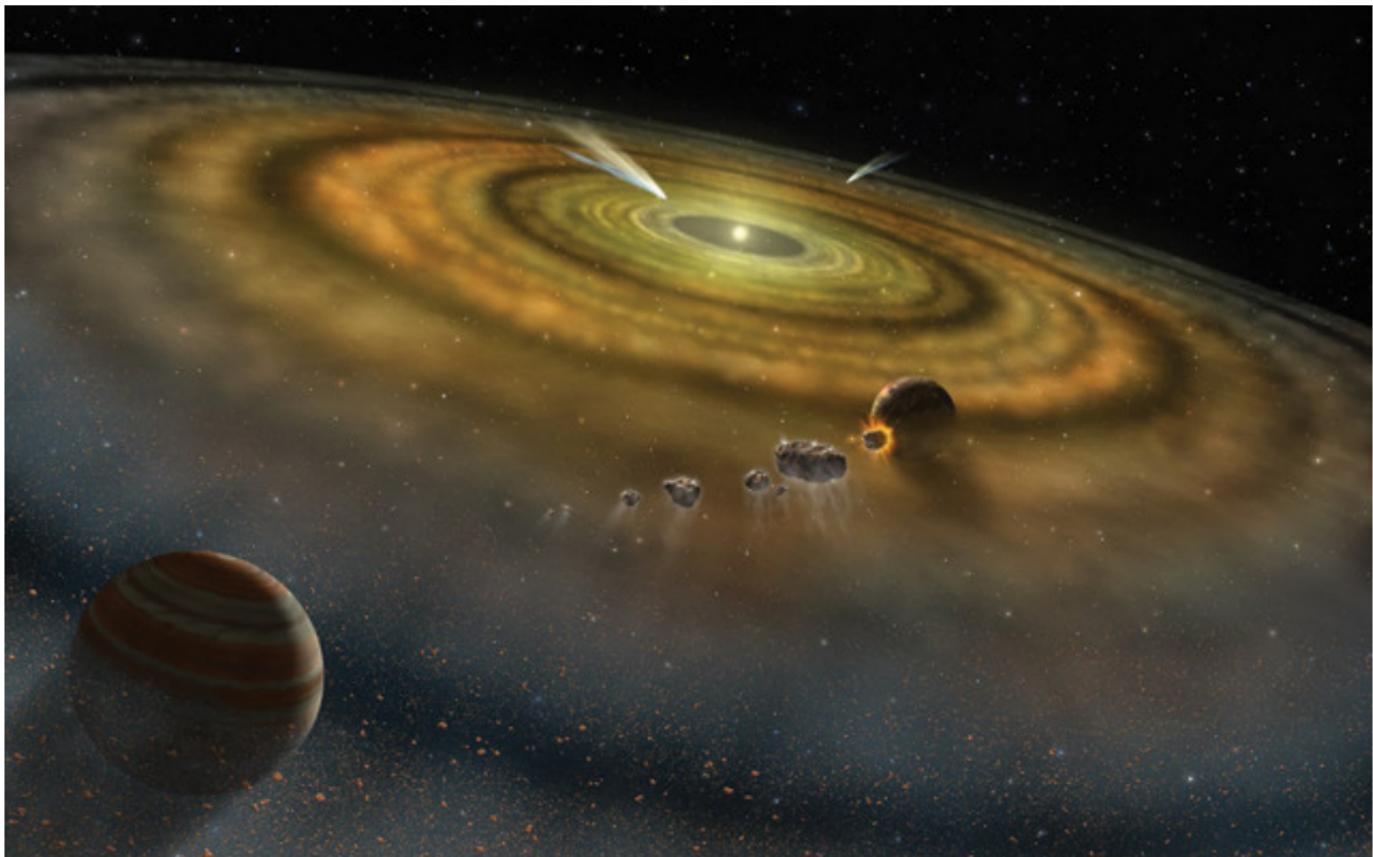
- 1 El sistema solar se formó debido al colapso gravitatorio de una nebulosa de gas y polvo hace 4.600 millones de años (recordar: el Big Bang sucedió hace 13.800 ma).
- 2 Al comprimirse la nebulosa, adquirió una rotación (gracias a la conservación del momento angular) en sentido anti-horario, achantándose hasta formar un disco con el proto-Sol en su centro.
- 3 El material del disco colisionó hasta formar cuerpos de tamaño mediano que van limpiando partes del disco.
- 4 El proceso de colisión entre cuerpos sólidos genró la formación de unos pocos planetas y unas cuantas lunas más una inmensa cantidad de cuerpos menores.

Formación del Sistema Solar



Disco Proplanetario

Formación del Sistema Solar



Polvo+Gas → Protoplanetesimales → Protoplanetas → Planetas

Ejemplos de sistemas planetarios en formación ("Proplyds")



Ejemplos de Discos Protoplanetarios

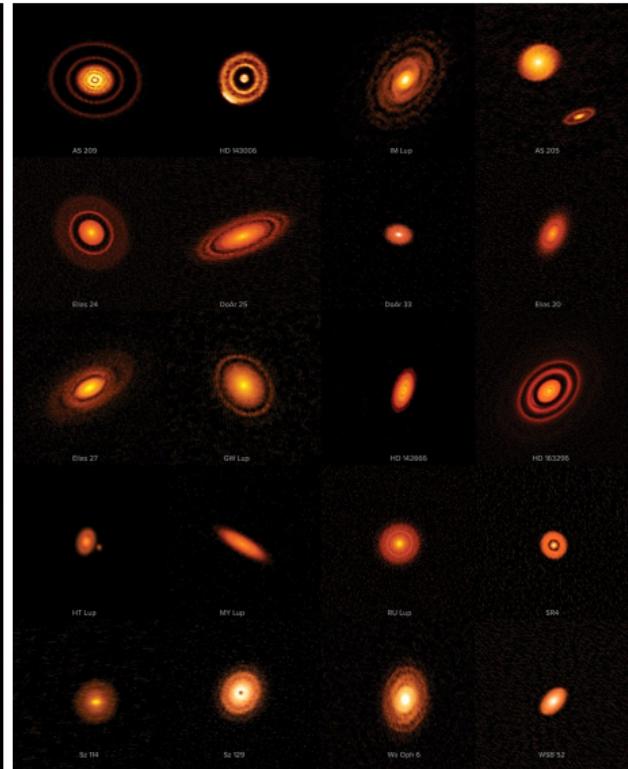
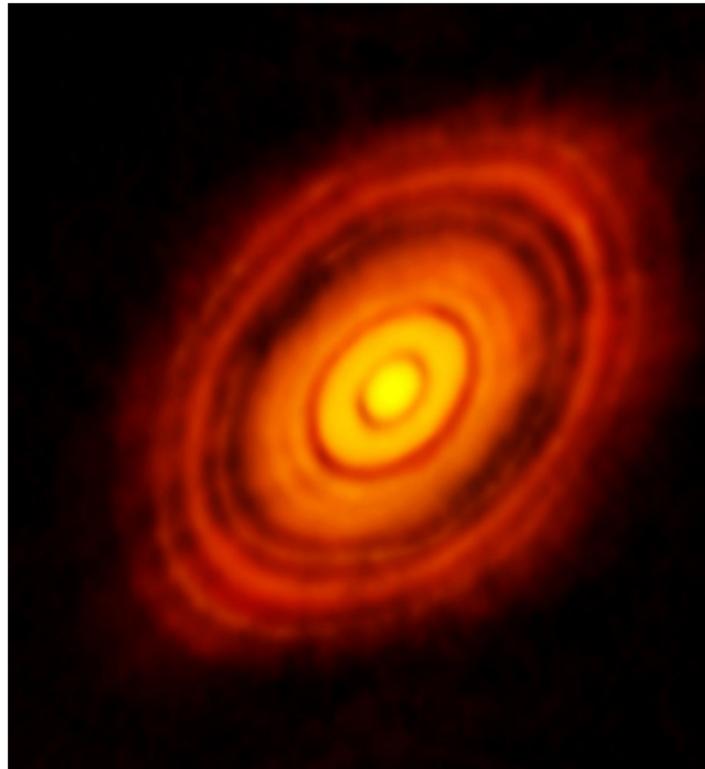
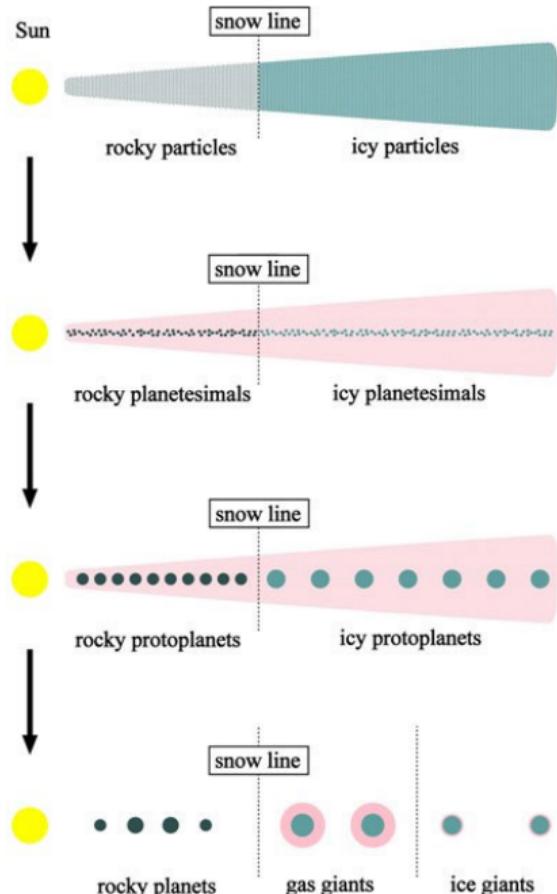
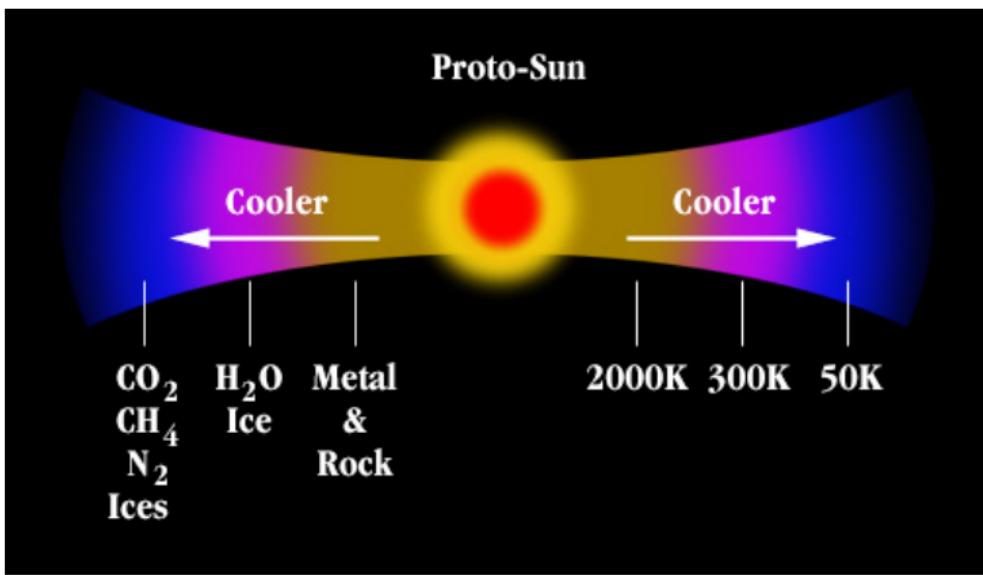


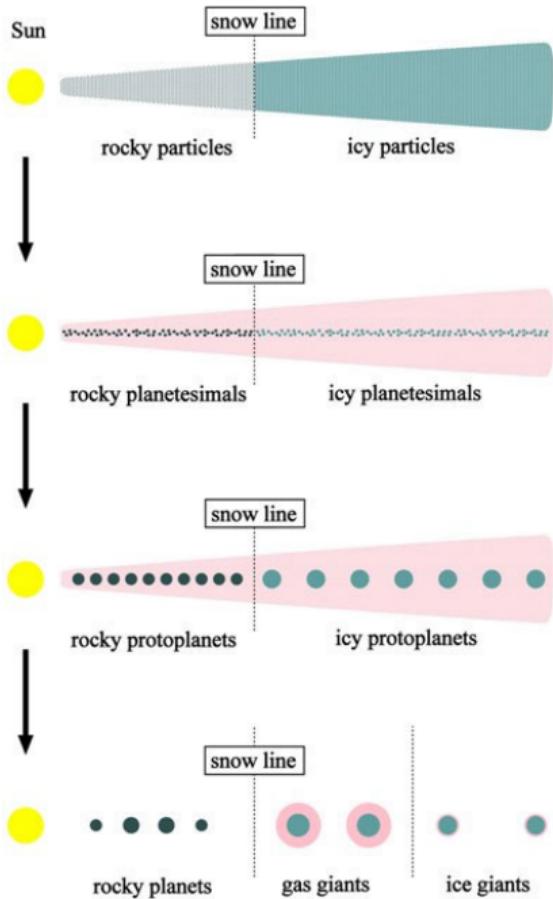
Imagen de ALMA de un disco proto-planetario en HL Tauri

Disco Protoplanetario: Línea de Hielo



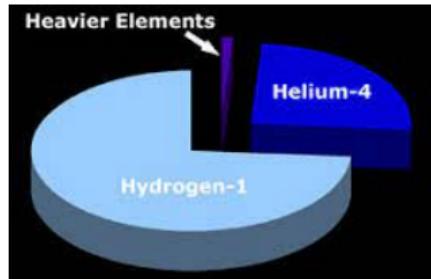
- **Línea de hielo:** la distancia en la nebulosa solar desde el centro del proto-sol donde esta lo suficientemente fría para que los compuestos de hidrógeno, como el agua, amoniaco y metano puedan condensarse en granos de hielo sólido.

Formación de los Planetas



La formación planetaria depende de la distancia al Sol:

- Por dentro de la línea de hielo se forman planetas rocosos (compuestos predominantemente de silicatos y también de metales (Hierro y Níckel))
- Por fuera de la línea de hielo se forman planetas gaseosos. Típicamente contienen núcleos rocosos o metálicos. Estos planetas están formados mayormente de Hidrógeno y un poco de Helio.
- Objetos pequeños compuestos de hielos se formaron más allá de Neptuno pero muchos de ellos fueron desplazados al exterior del sistema solar (nube de Oort)



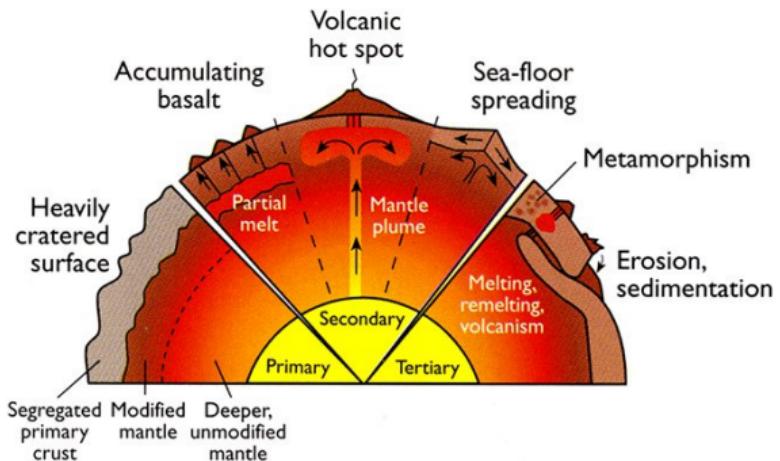
Formación de los Planetas

Breve resumen de la formación del sistema solar actual

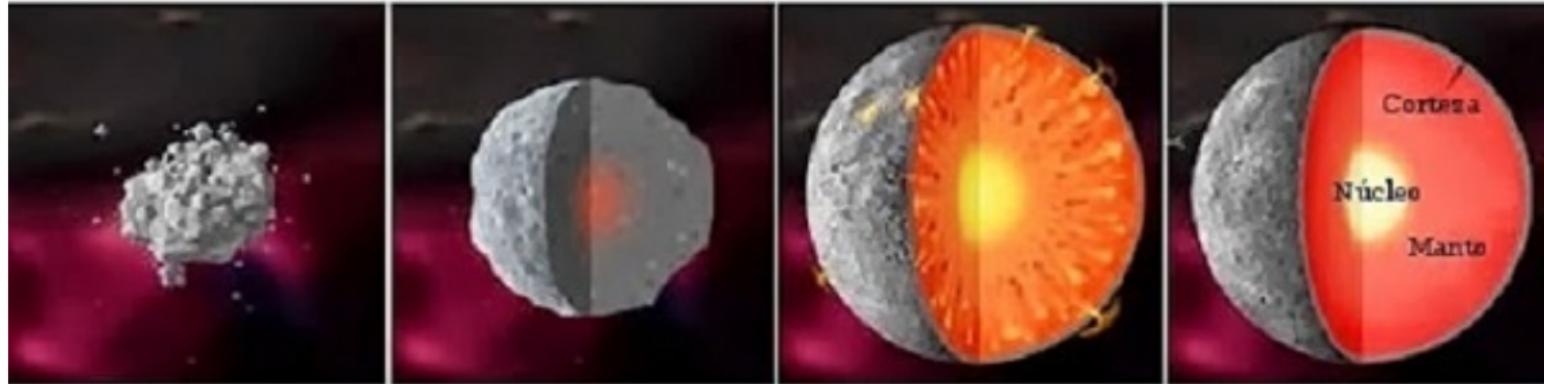
- Júpiter, el planeta más grande del sistema solar, probablemente fue el primero en formarse
- El resto de los planetas se formaron de los "restos" que no quedaron incluidos en Júpiter

Formación de los Planetas: Principales Procesos

- Principales procesos de formación de los planetas del sistema solar:
 - 1 Colisiones e Impactos (que generan cráteres)
 - 2 Vulcanismo (vulcanismo rocoso en los planetas rocosos vs. crio-vulcanismo en lunas de los planetas gaseosos)

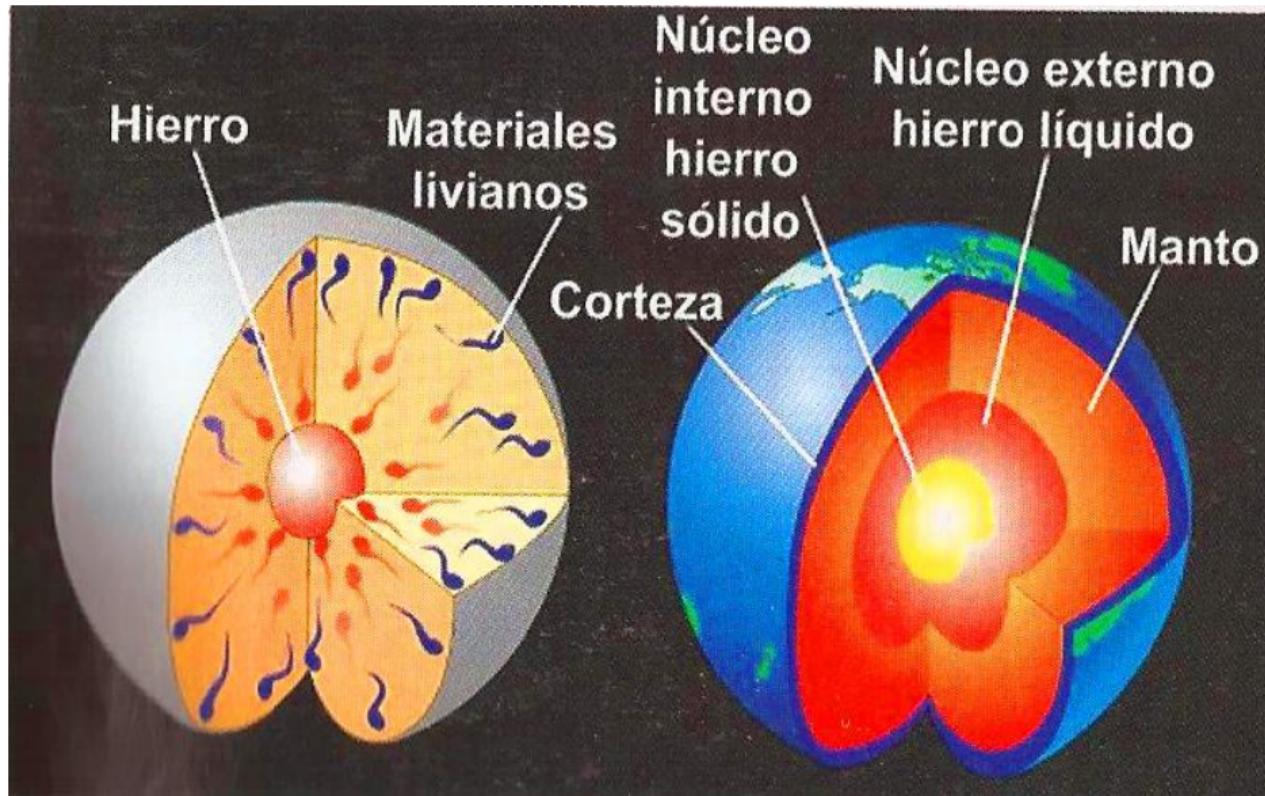


Mecanismo de Diferenciación Planetaria



- La **diferenciación planetaria** se produce cuando los componentes de un cuerpo planetario se separan y diferencian desarrollando capas de composición diferente debido a la presencia de calor.
- 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

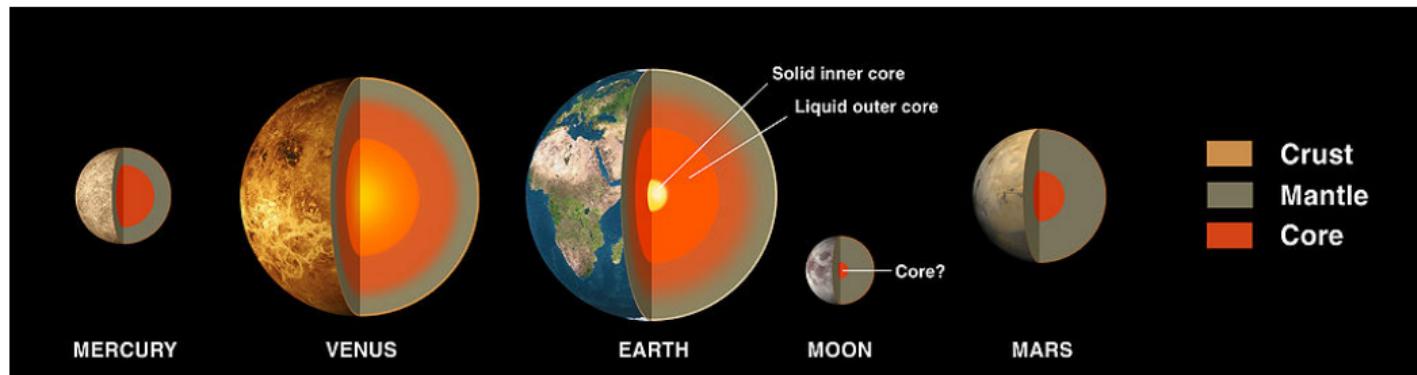


- El proceso de diferenciación planetaria se ha producido en: los planetas, en planetas enanos, en algunos asteroides grandes y en algunos satélites naturales.

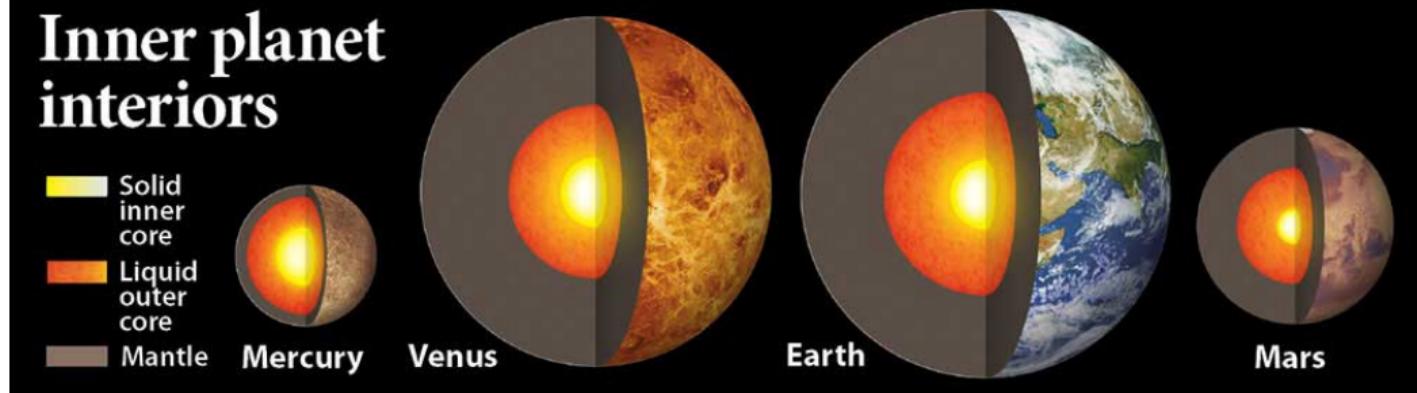
3. Características generales de los Planetas

El Interior de los Planetas

Estructura Interna: Planetas Rocosos

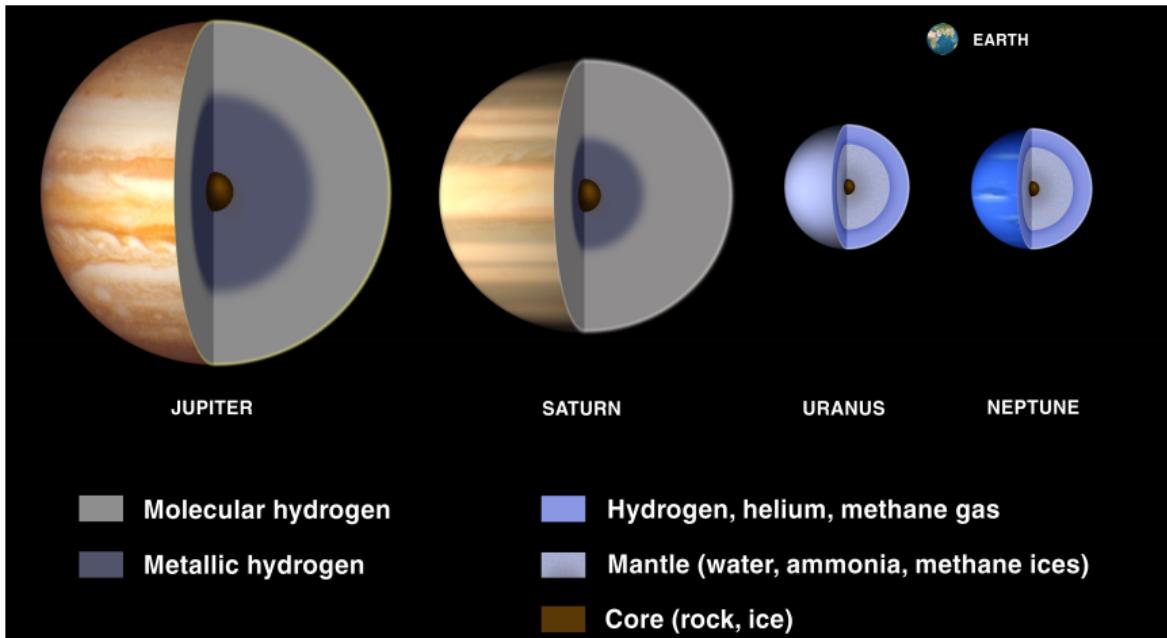


Inner planet interiors



- Todos los planetas tienen en su interior un núcleo (metálico en los planetas rocosos o metálico/rocoso en los gaseosos)

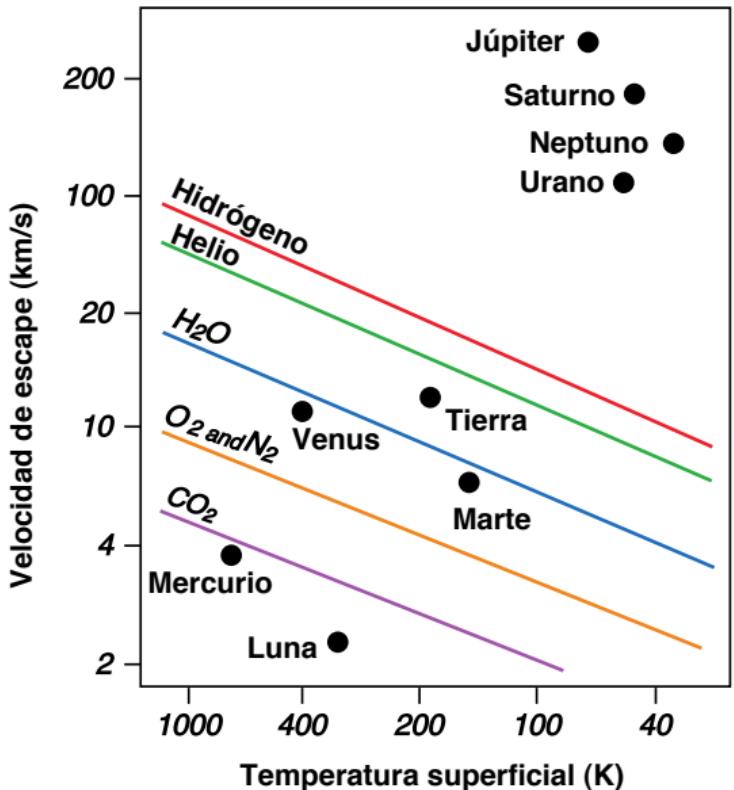
Estructura interna: Planetas Gaseosos



- Los planetas gaseosos poseen un núcleo metálico/rocoso en su interior.
- Todos los planetas gaseosos también tienen una composición similar
 - El principal elemento que compone las atmósferas es el Hidrógeno, seguido del Helio.
 - En los dos planetas más masivos, Júpiter y Saturno, las presiones en su interior son tan altas que el Hidrógeno no solo se transforma en líquido sino que además sus electrones se separan del núcleo conformando hidrógeno metálico.

Las Atmósferas de los Planetas

Las Atmósferas de los Planetas



Si un planeta está por debajo de la línea de escape, entonces ese elemento escapará de la atmósfera

Planet	Surface Pressure (earth = 1)
Mercury	10^{-15}
Venus	100
Earth	1.0
Mars	0.01
Moon	10^{-15}

- **Todos los planetas tienen algún tipo de atmósfera.** En algunos casos (en Mercurio y la Luna) es muy tenue y en otros (en los planetas gigantes) es enorme
- Las atmósferas de los planetas gaseosos están compuestas mayormente de Hidrógeno y en menor medida de Helio (el primer y segundo elemento más abundante en el Universo)

Las Atmósferas de los Planetas



The Terrestrial Planets

MERCURY

O₂
OXYGEN

42%

Na
SODIUM

29%

H₂
HYDROGEN

22%

OTHER GASES

7%

He, K, Ar, CO, H₂O,
N₂, Ne, Kr & Ne

VENUS

CO₂
CARBON DIOXIDE

96%

N₂
NITROGEN

3%

OTHER GASES

1%

SO₂, Ar, H₂O, CO,
He & Ne

CLOUDS OF
SULFURIC
ACID

EARTH

N₂
NITROGEN

78%

O₂
OXYGEN

21%

Ar
ARGON

~1%

OTHER GASES

CO₂, Ne, He, CH₄,
K₂ & H₂

MARS

CO₂
CARBON DIOXIDE

95%

N₂
NITROGEN

3%

Ar
ARGON

1.5%

OTHER GASES

O₂, CO, H₂O, NO,
Ne, Kr & Ne

JUPITER

H₂
HYDROGEN

90%

He
HELIUM

~10%

OTHER GASES

<1%
CH₄, NH₃, C₂H₆,
H₂O

HYDROGEN IS METALLIC
AT HIGH PRESSURE

The Gas Giants

SATURN

H₂
HYDROGEN

96%

He
HELIUM

3%

OTHER GASES

1%
CH₄, C₂H₆, H₂O

SULFUR GIVES GAS
CLOUDS A
YELLOW CAST

URANUS

H₂
HYDROGEN

83%

He
HELIUM

15%

CH₄
METHANE

2.5%
+ Trace gases: HD,
C₂H₆

METHANE GAS CAUSES
URANUS'S
BLUE COLOUR

NEPTUNE

H₂
HYDROGEN

80%

He
HELIUM

19%

CH₄
METHANE

~1%
+ Trace gases: HD,
C₂H₆

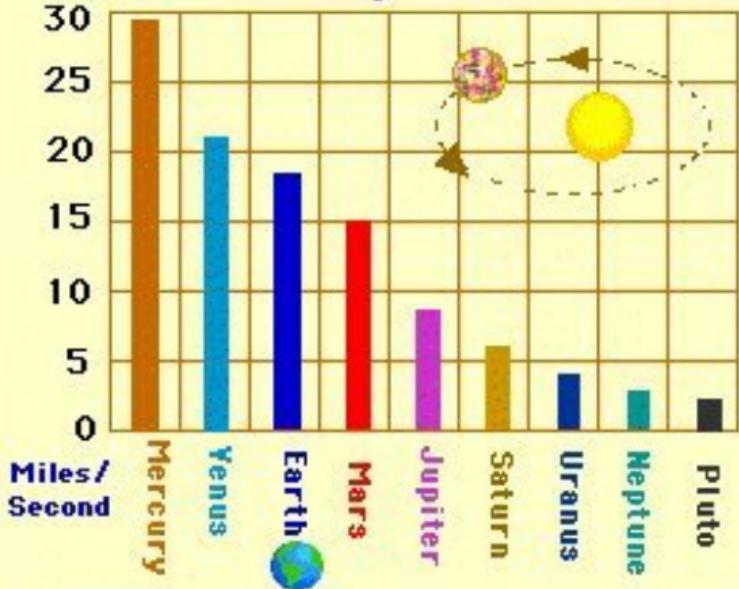
STRONGEST WINDS IN
THE SOLAR SYSTEM

Note: Planet sizes are not to scale. Also, Mercury's atmosphere is not an atmosphere in the strict sense of the word, as it is a trillion times thinner than Earth's.

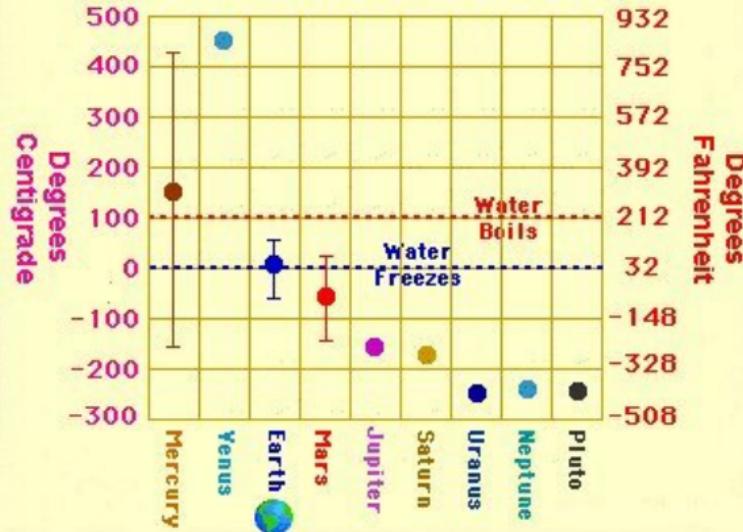
Comparativa entre los Planetas

Comparativa entre los Planetas: Velocidades y Temperaturas

Orbital Velocity of the Planets

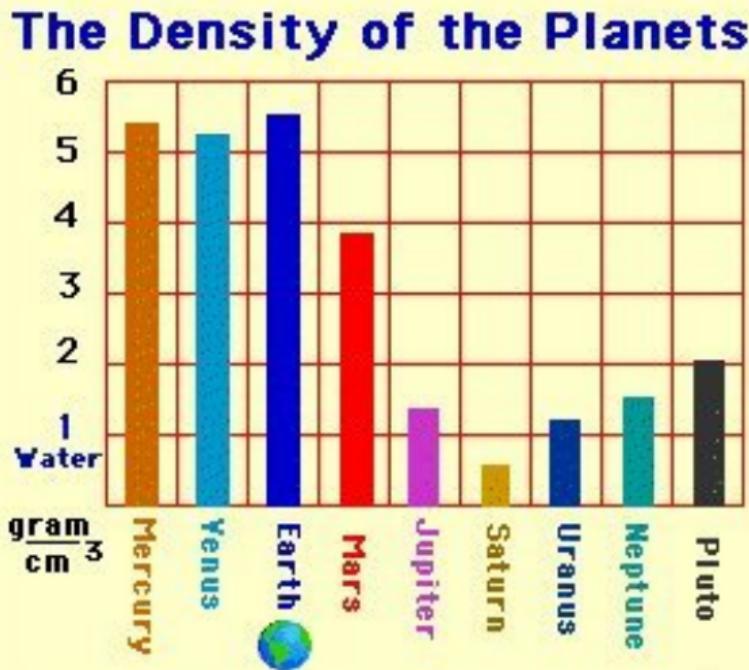
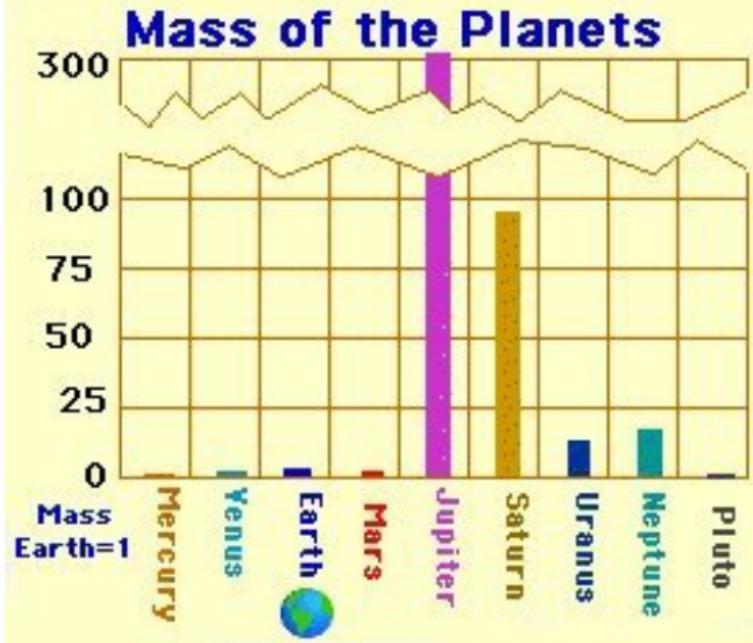


The Temperatures of the Planets



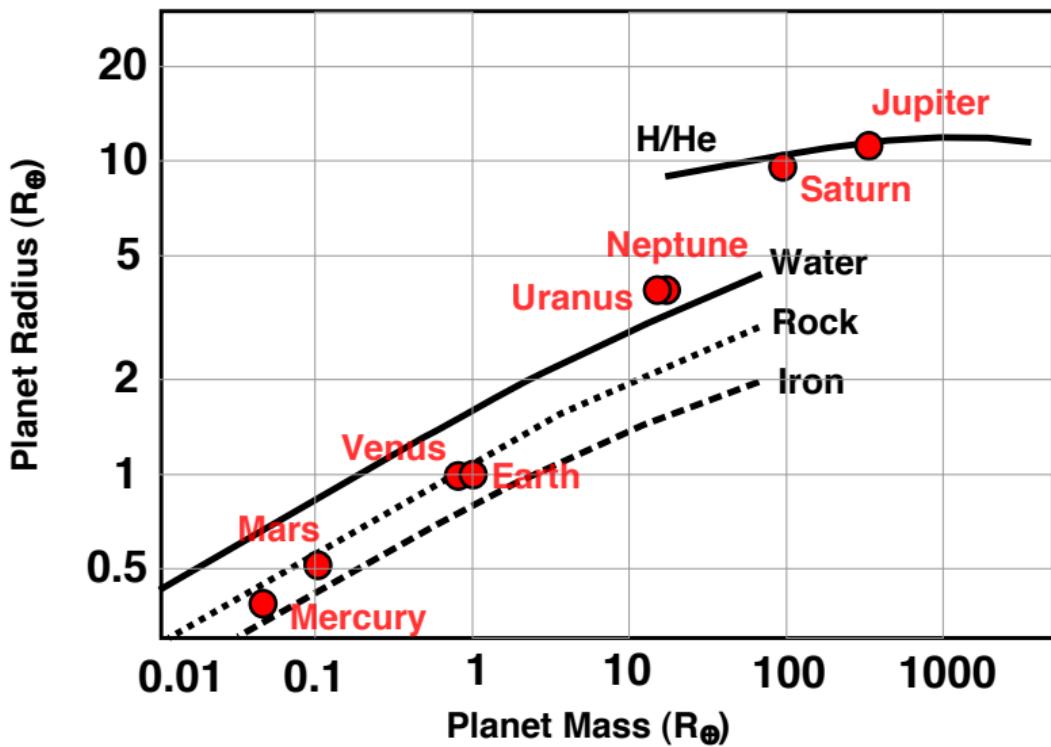
- La velocidad orbital de los planetas decrece con la distancia, o equivalentemente, el período de revolución alrededor del Sol aumenta con la distancia.
- Por regla general la temperatura de la superficie de los planetas decrece con la distancia. Notar la temperatura anómalamente alta de Venus.

Comparativa entre los Planetas: Masas y Densidades



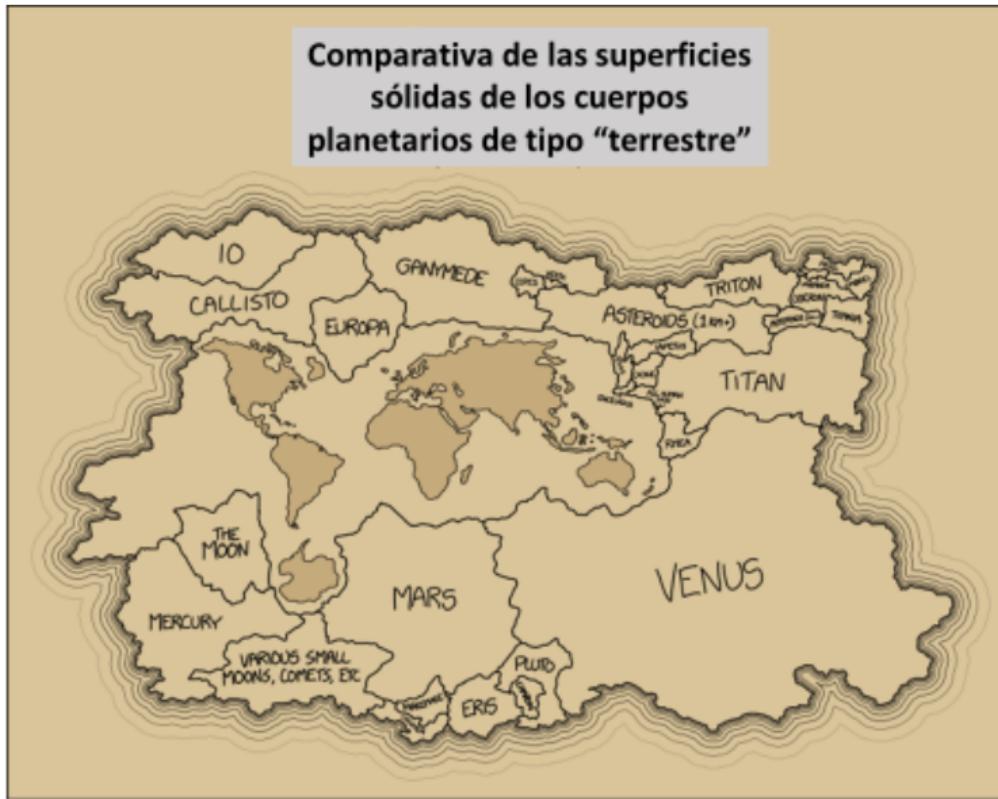
- La masa total de un planeta depende de su tamaño y densidad
 - Júpiter es 2,5 veces más masivo que el resto de los planetas juntos
- Los planetas rocosos son más densos que los gaseosos

Comparativa entre los Planetas: Masas y Radio



- Hay una relación proporcional entre el radio y la masa de los planetas
- Júpiter tiene cerca del máximo tamaño posible para un planeta gaseoso (planetas gaseosos más masivos que Júpiter, reducen su volumen)

Los Planetas y sus Lunas



- Muchas de las lunas más grandes del sistema solar tienen características análogas a los planetas rocosos. Sus tamaño también son análogos.

Resumen de las Características de los Planetas

- Planetas rocosos:

- Están entre el Sol y el cinturón de asteroides
- Sus tamaños abarcan desde pequeños a mediano
- Son muy densos
- Poseen un núcleo metálico en su interior
- Poseen un manto y corteza de roca (silicatos)
- Sus atmósferas pueden ser densas o muy tenues y su composición varía mucho también.

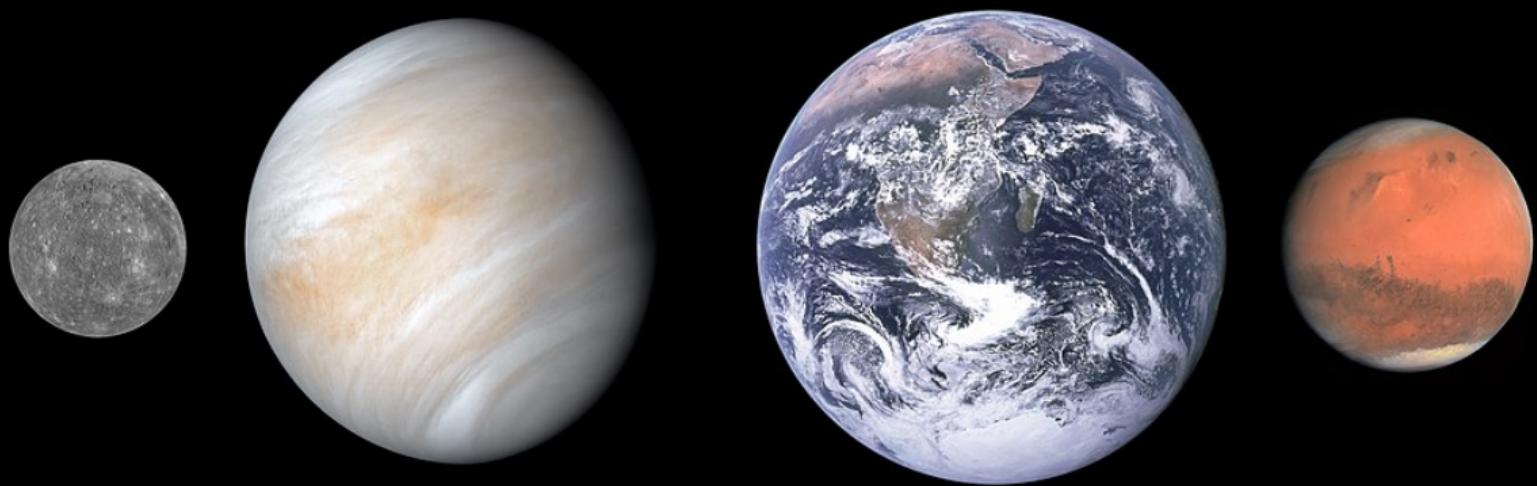
- Planetas gaseosos

- Están a partir del cinturón de asteroides
- Son de gran tamaño
- Son poco densos
- Poseen atmósferas muy densas, constituidas mayormente de Hidrógeno y un poco de Helio
- Poseen un núcleo metálico/rocoso en su interior
- Tienen anillos

4. Un paseo por los Planetas y Lunas del Sistema Solar

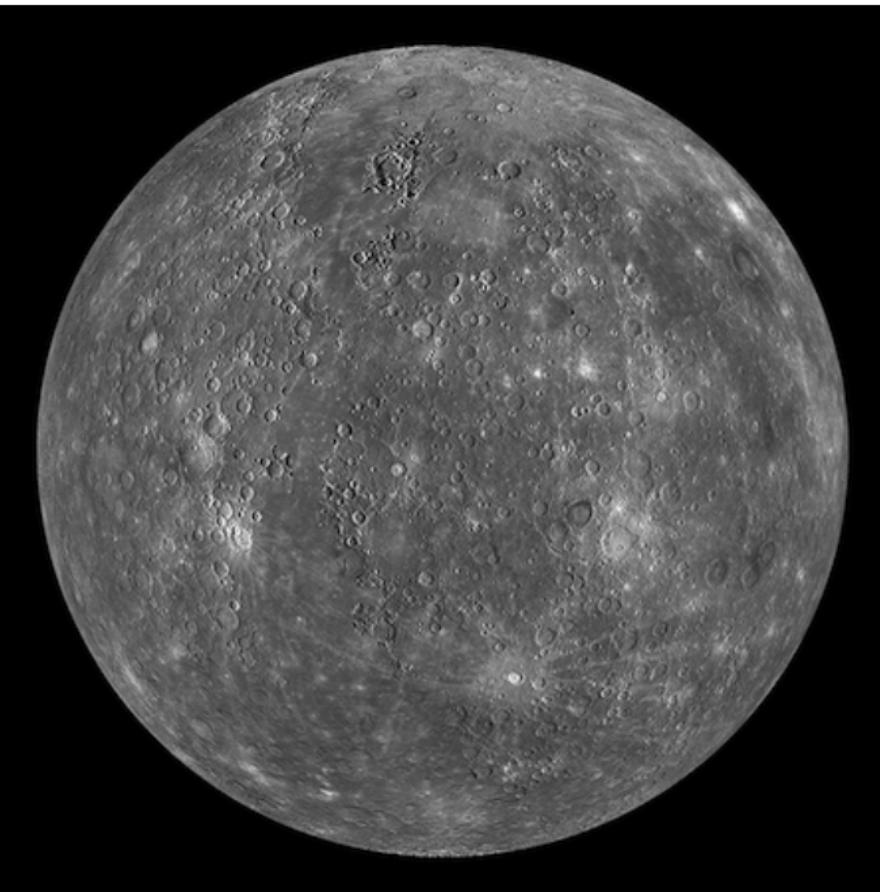
Planetas Rocosos

Los Planetas Rocosos



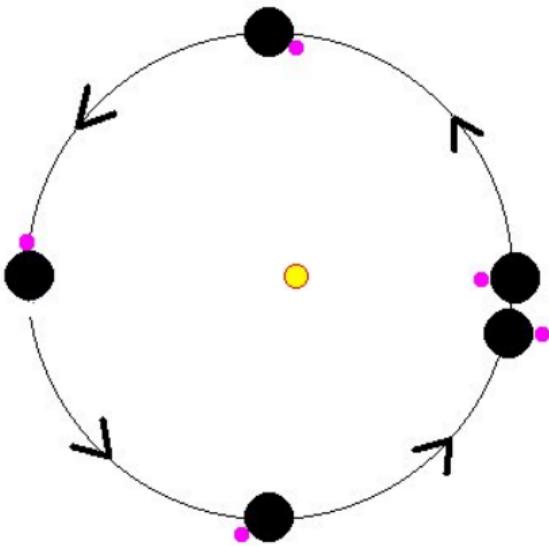
1. Mercurio

Mercurio: Aspecto general



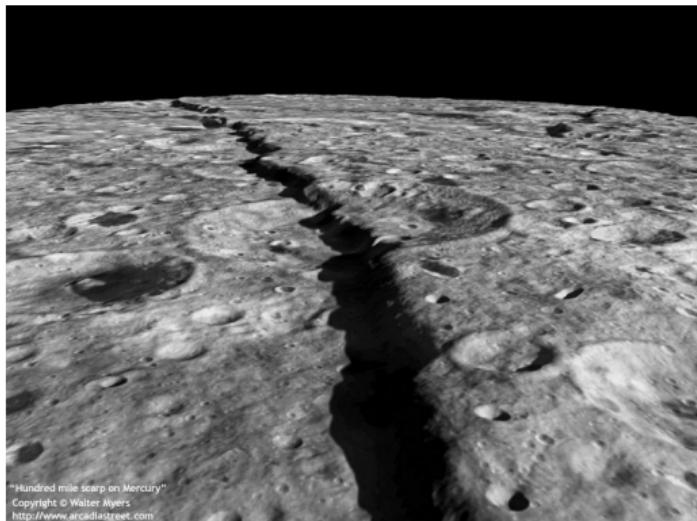
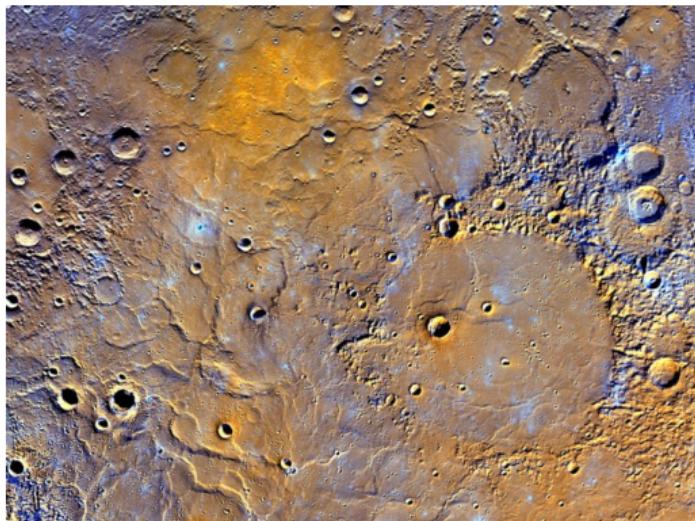
- Planeta más cercano al Sol
- Tiene una atmósfera extremadamente tenue (es más bien una "exosfera" que una atmósfera)
- Tiene grandes variaciones de temperatura (entre 430°C y -180°C)
- Planeta rocoso muy denso (contiene un núcleo metálico muy grande en comparación con su tamaño total)
- Mercurio tiene un aspecto muy similar a la Luna

Mercurio: Órbita y Rotación



- Tiene una órbita más elíptica que las del resto de los planetas
- Períodos de Rotación y Revolución acoplados en un ratio 2:3 (i.e. por cada 2 revoluciones de Mercurio alrededor del Sol, rota 3 veces sobre su eje).
 - Revolución: 3 meses terrestres (= año en mercurio)
 - Una noche dura en mercurio 3 meses terrestres

La superficie de Mercurio

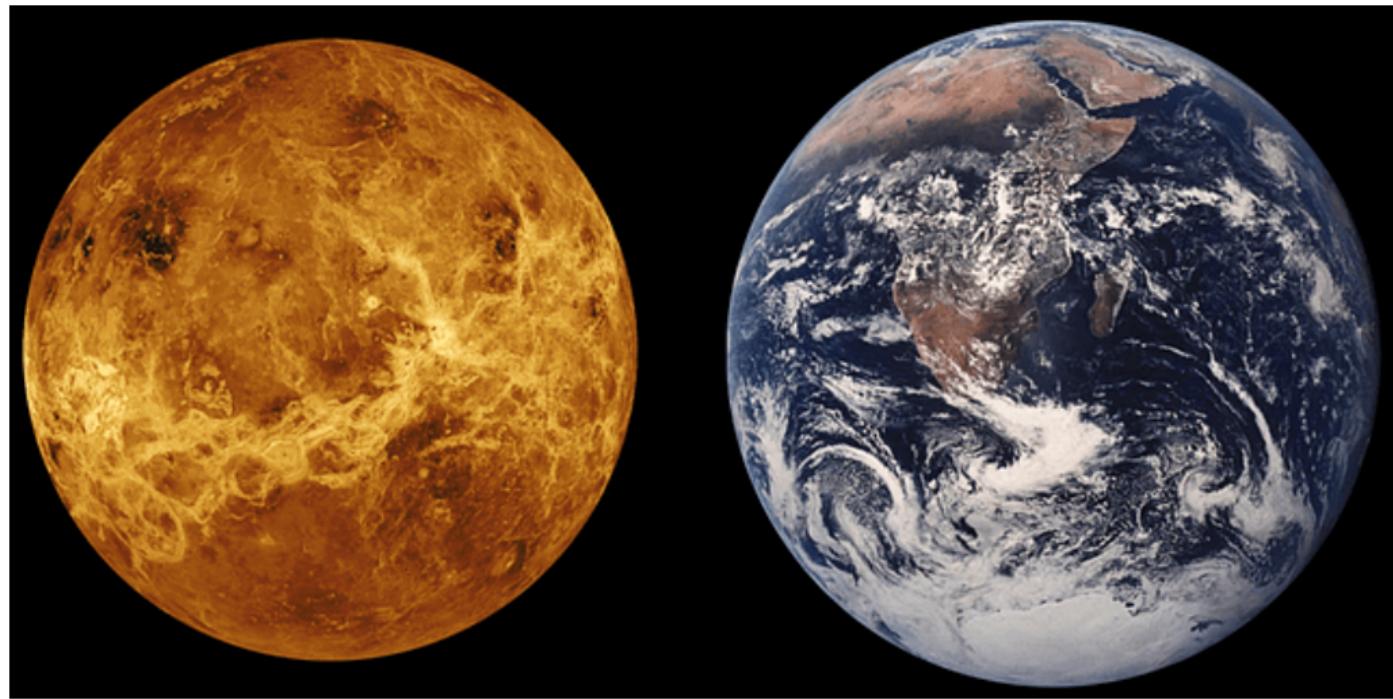


- Está cubierto de cráteres de impacto (que ocurrieron poco después de la formación del sistema solar)
- Hay grandes planicies que sugieren extensas inundaciones de lava en el pasado
- Tiene numerosas líneas escarpadas, llamadas escarpes, que se extienden varios miles de kilómetros a lo largo del planeta (probablemente se formaron al enfriarse y contraerse la corteza).
- Algunos cráteres cerca de las zonas polares contienen hielo de agua

2. Venus

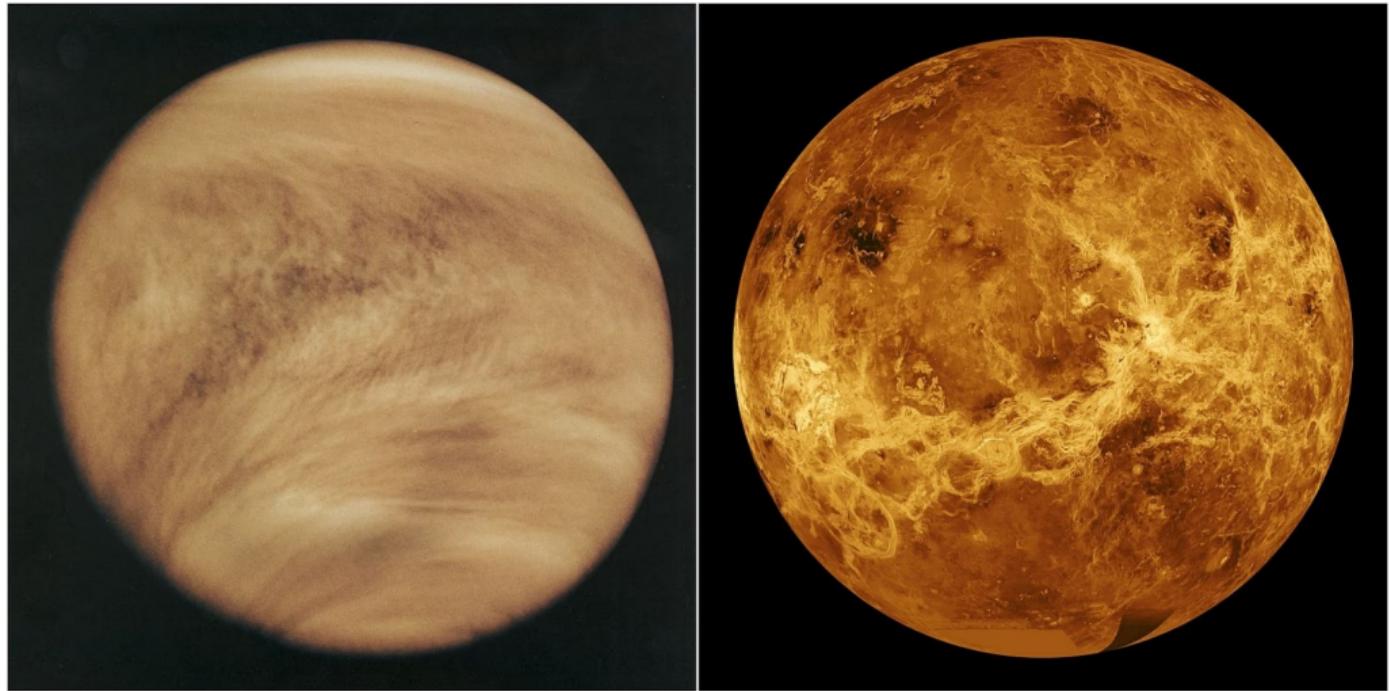
Venus

Comparación de tamaño entre Venus y la Tierra



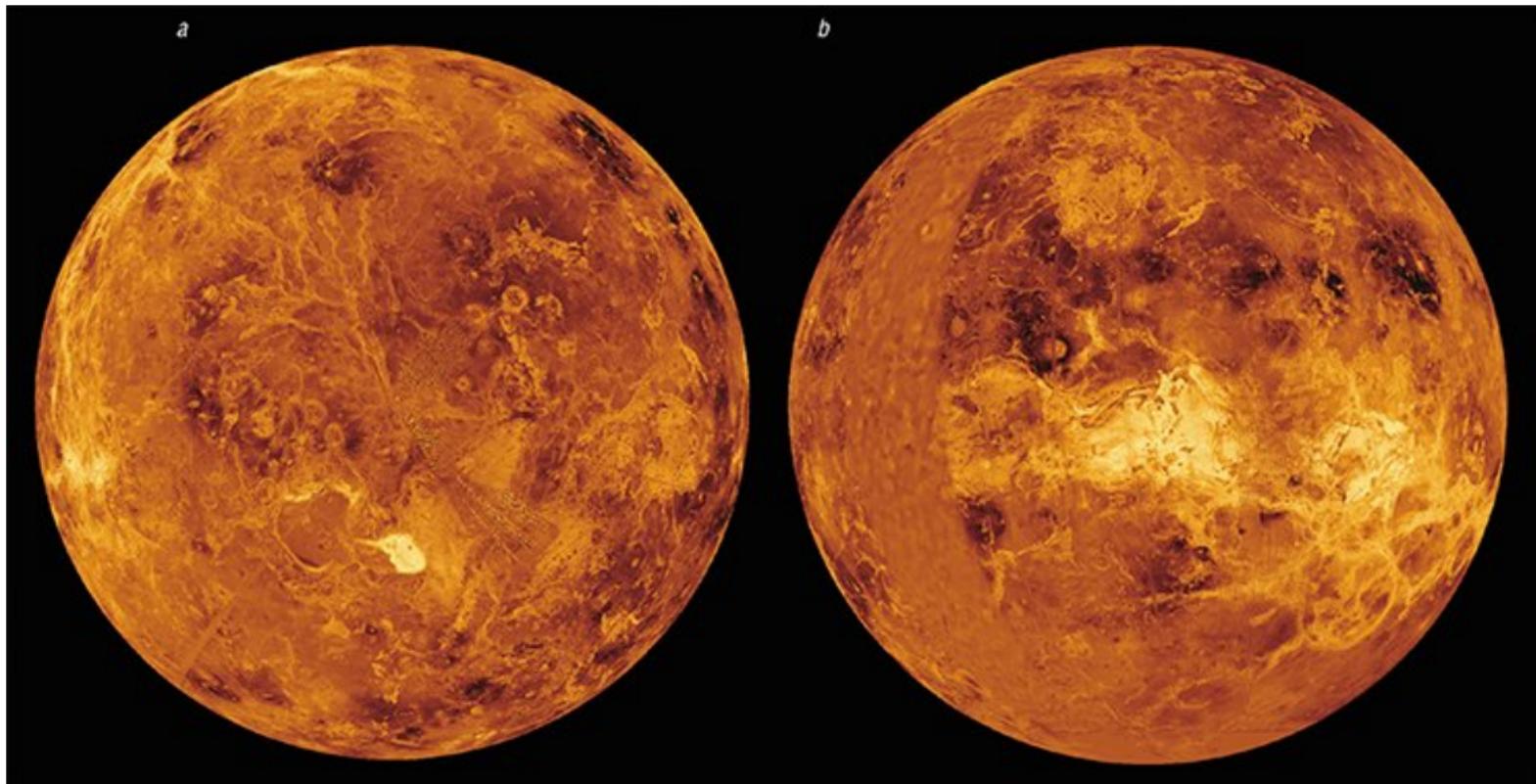
- Venus tiene aproximadamente el mismo tamaño que la Tierra
- Venus es el planeta mas caliente del sistema solar debido a su gran efecto invernadero (sus temperaturas superan los 400°C)

Venus y su atmósfera



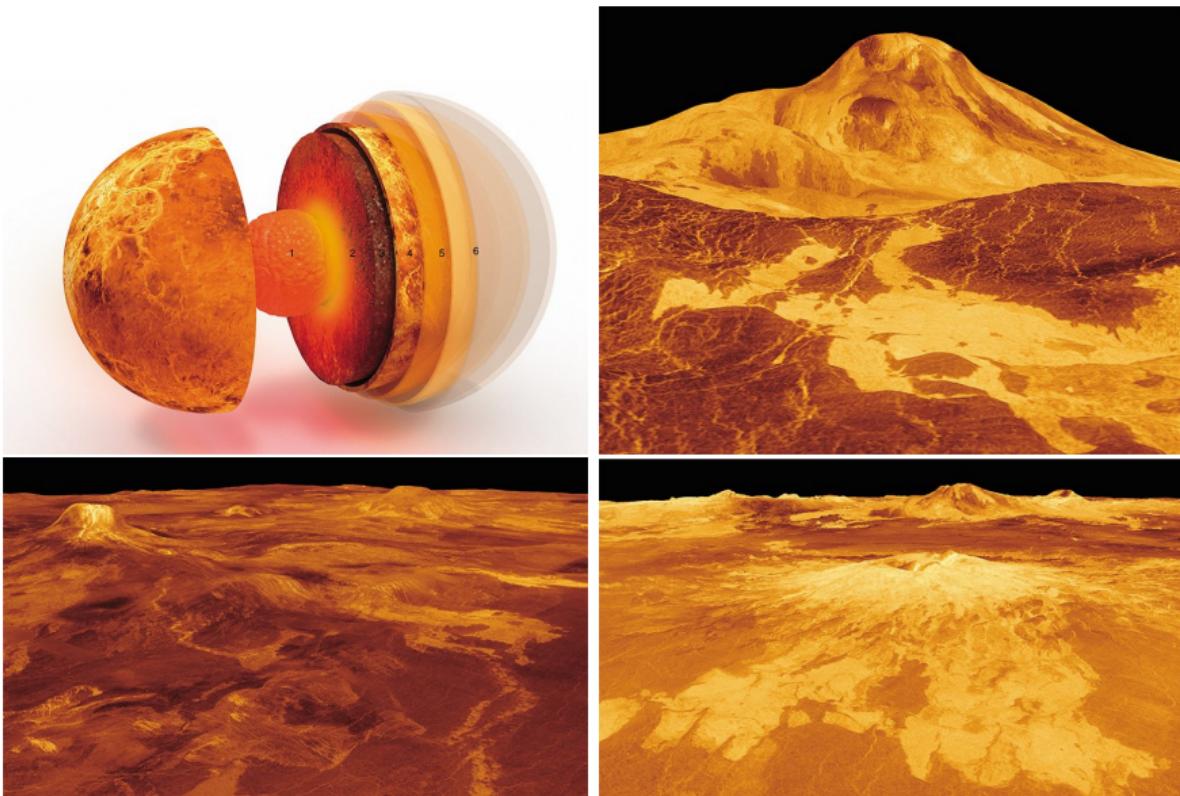
- Venus tiene una atmósfera muy densa: compuesta de dióxido de carbono con nubes de ácido sulfúrico
- La atmósfera de Venus nos imposibilita ver su superficie, pero con ondas de radio y microondas se la puede estudiar

La superficie de Venus



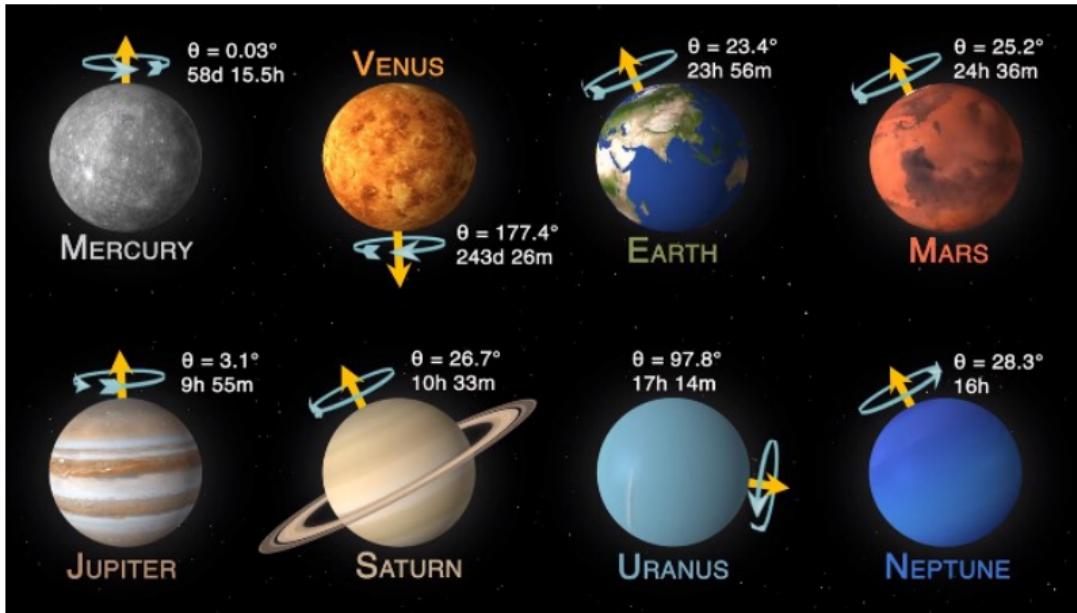
- Posee una superficie rocosa con montañas, valles y planicies con centenares de volcanes.

El interior y la superficie de Venus



- Venus ha tenido una actividad volcánica enorme en el pasado y puede que todavía esté activa.

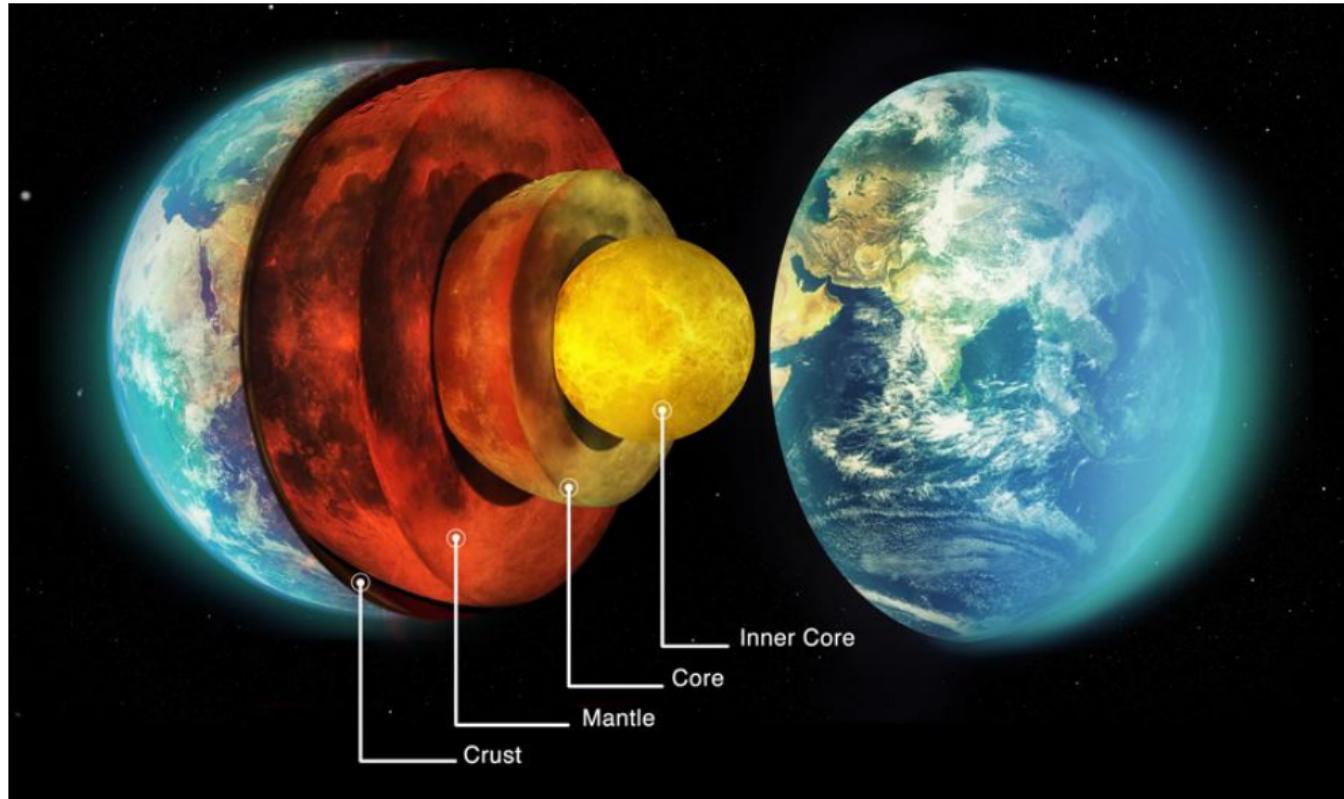
Venus y su rotación



- Venus rota sobre su eje en dirección contraria al resto de los planetas (tiene movimiento "retrógrado").
- Probablemente un choque de Venus con otro cuerpo desvió su eje de rotación de la orientación típica del resto de los planetas (movimiento "progrado").
- Venus rota muy lentamente; un día en venus tarda 100 días terrestres
- El período de revolución de Venus alrededor del sol es de unos 225 días terrestres.

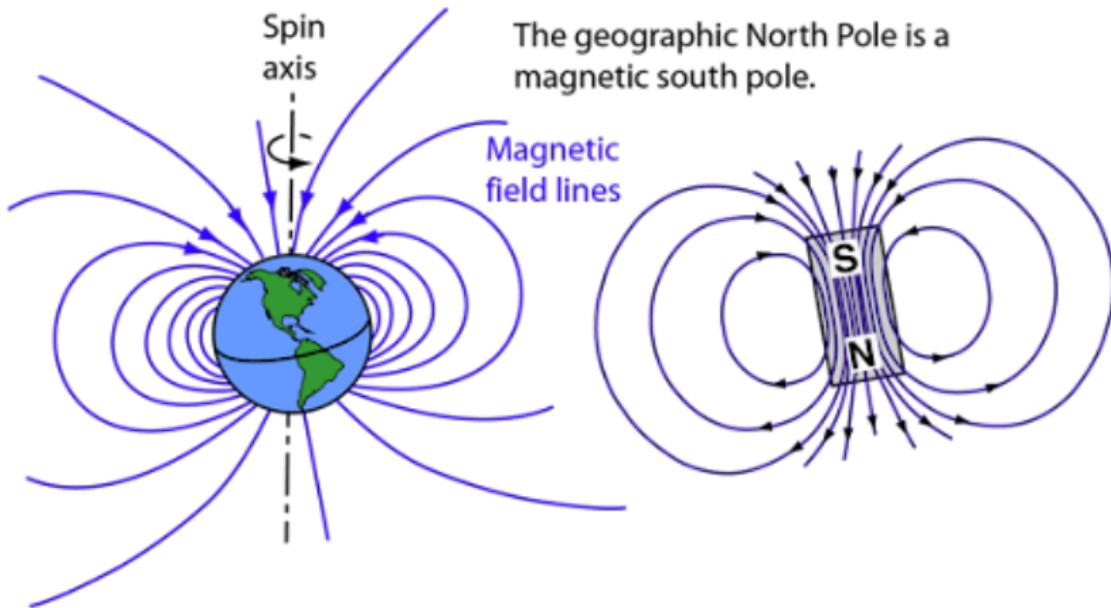
3. Tierra

El interior de la Tierra: Núcleo, Manto y Corteza

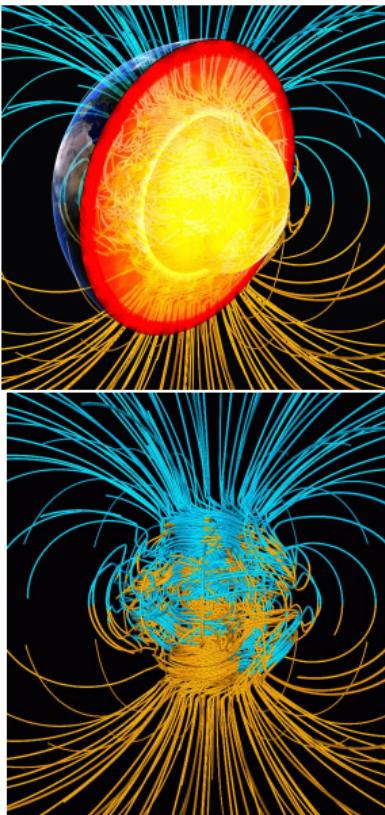


- Estructura interna de la Tierra: núcleo metálico, roca parcialmente fundida en el manto y una fina capa exterior sólida llamada corteza

El interior de la Tierra: el Campo Magnético

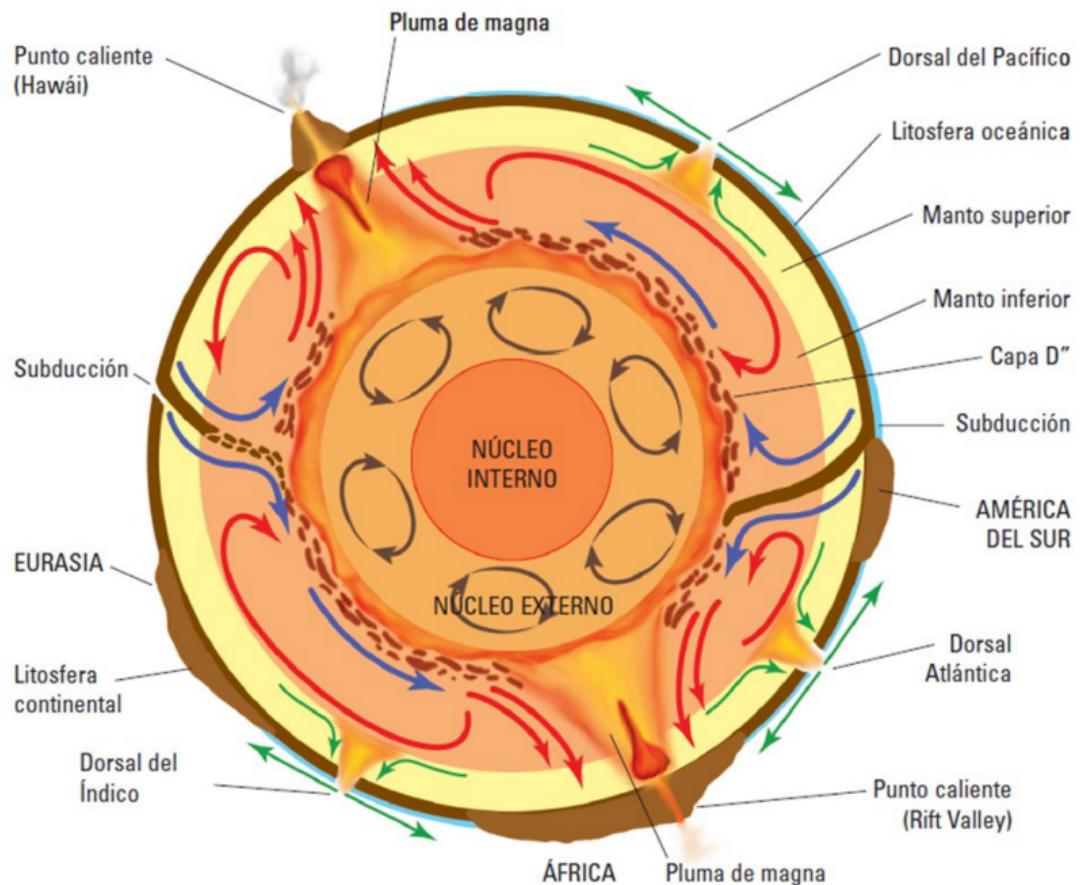


The geographic North Pole is a magnetic south pole.



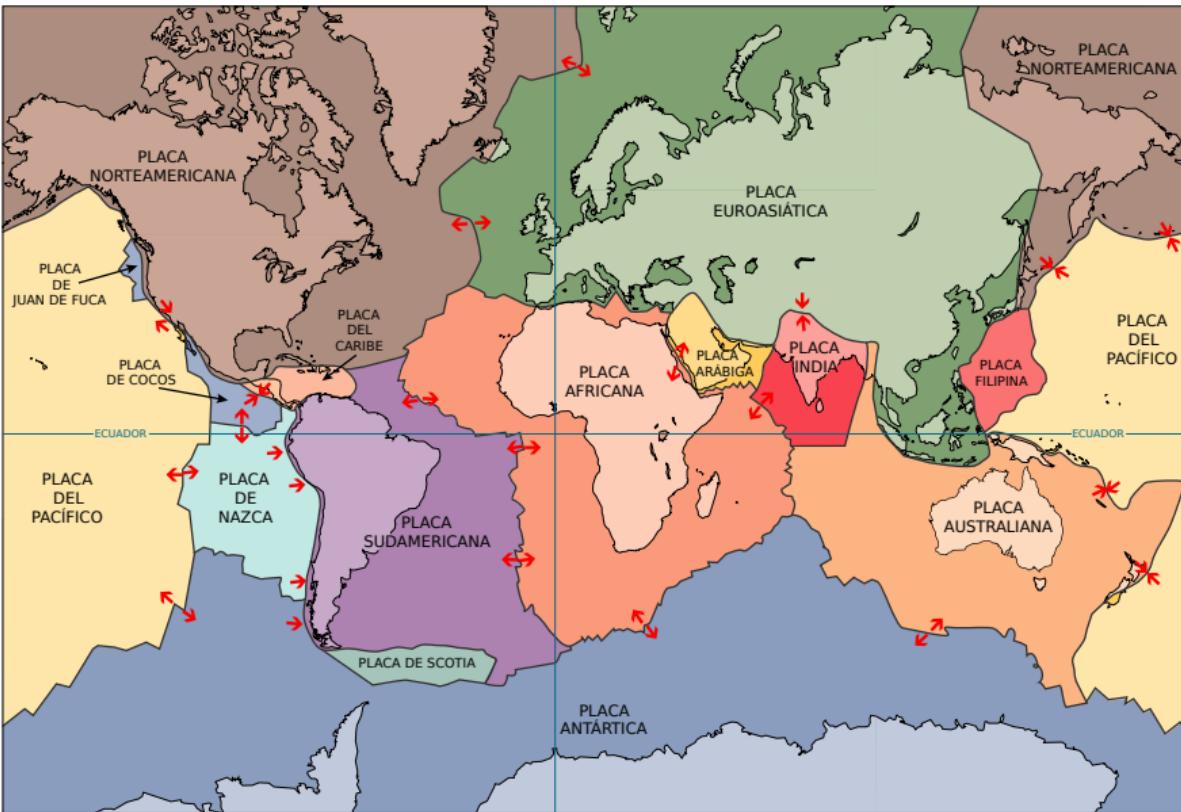
- Posee un campo magnético fuerte generado por el núcleo metálico. El campo protege la atmósfera terrestre del viento solar.

Geología de la Tierra: Tectónica de Placas y Dinámica de Plumas



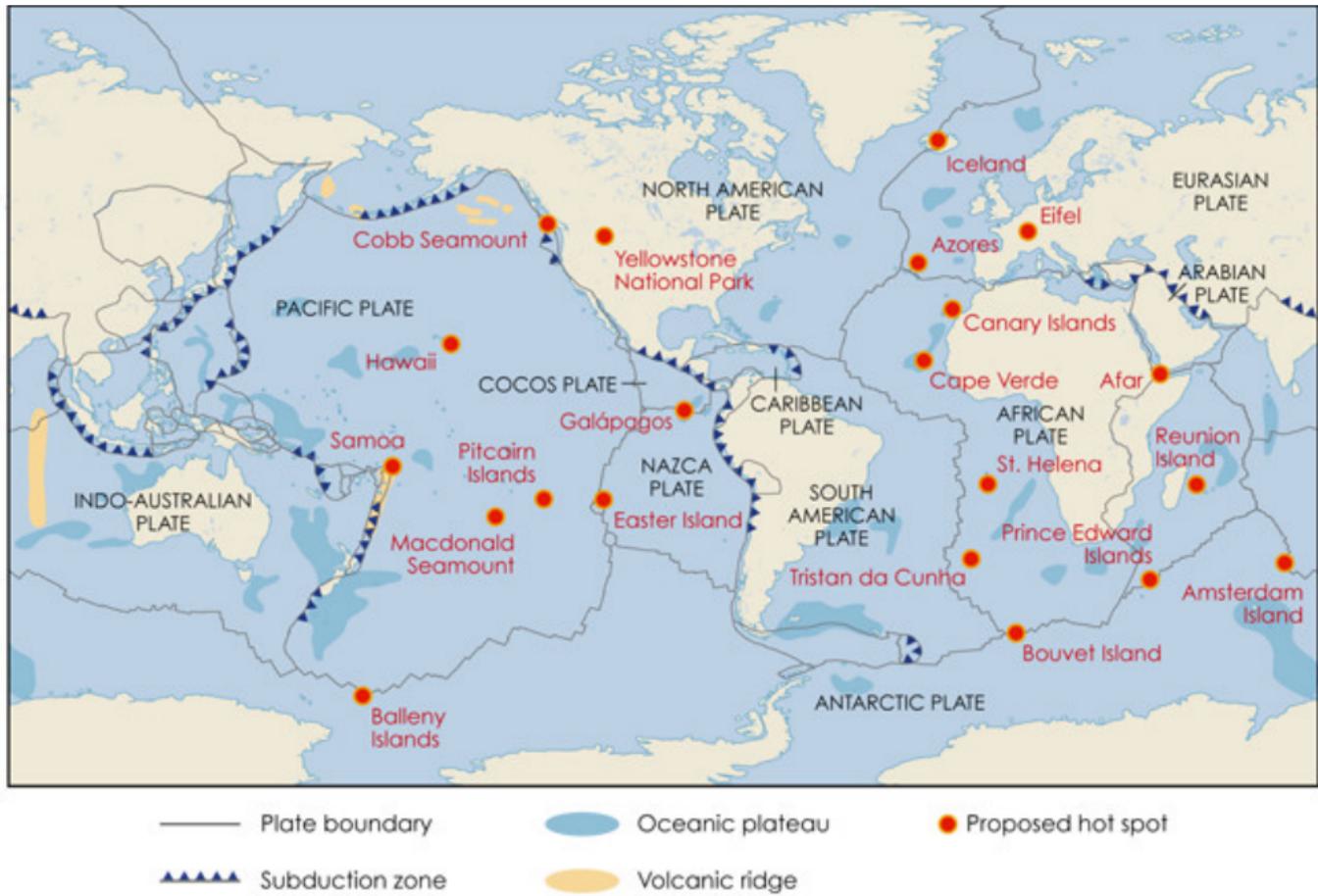
- El movimiento del manto genera vulcanismo
- La superficie de la tierra está en continua evolución, debido a dos procesos geológicos:
 - Tectónica de Placas
 - Dinámica de Plumas de Magma

Geología de la Tierra: Tectónica de Placas

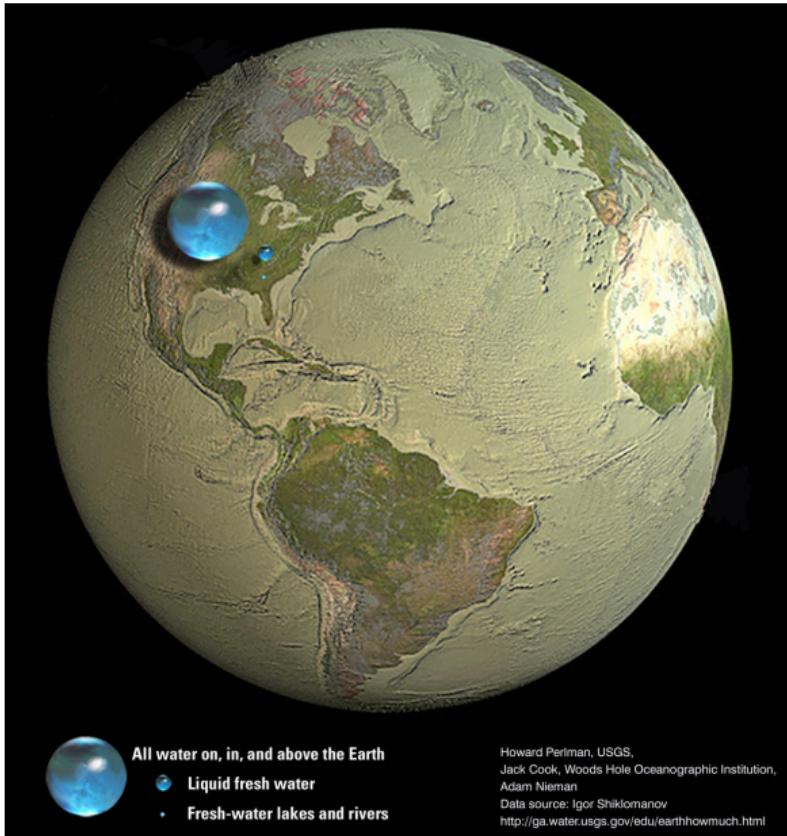


- Las siete placas tectónicas principales (Norteamericana, Sudamericana, Africana, Euroasiática, Australiana y Antártica y del Pacífico) y las ocho secundarias.

Geología de la Tierra: Dinámica de Plumas y Puntos Calientes



Agua en la Tierra



- La superficie está mayormente cubierta de agua líquida

La Tierra y su Luna



La Tierra y su Luna



- La Luna es relativamente grande comparada con la Tierra.
 - Esto se debe a que se formó a partir de una colisión entre la proto-Tierra y otro planeta relativamente grande.
 - Del impacto nacieron la Luna y la actual Tierra, y por ello comparten muchas propiedades físicas.
- La Luna está totalmente cubierta por cráteres de impacto y por grandes planicies basálticas llamadas "maria".
- La Luna posee una atmósfera muy tenue.
- Se ha comprobado la existencia de agua en la Luna

4. Marte

Marte



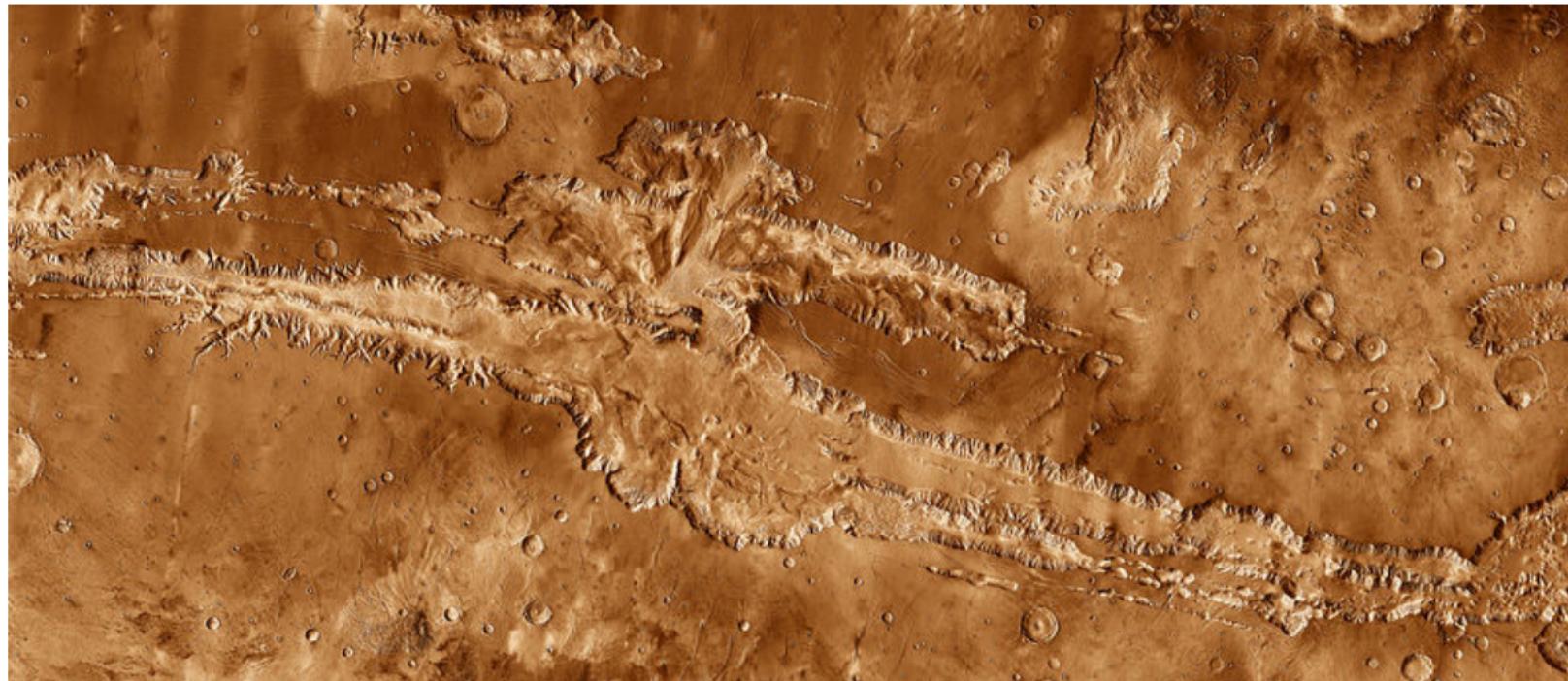
- Es más pequeño y frío que la Tierra
- Solo tiene una tenue atmósfera (pero la atmósfera fue muy relevante en el pasado; la perdió debido a la extensión de su campo magnético)

La superficie de Marte



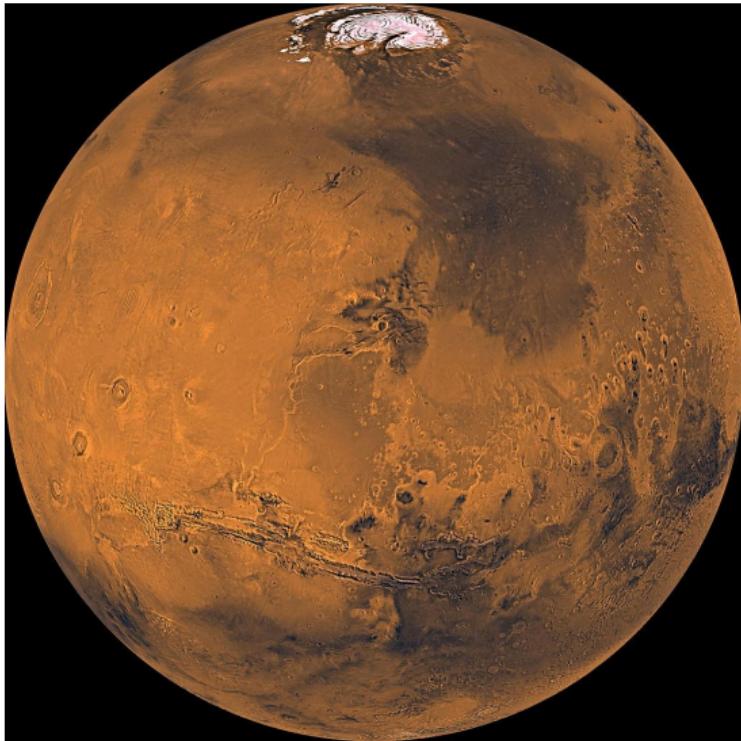
- Su superficie está oxidada y llena de polvo

La superficie de Marte



- Volcanes (extintos) y valles gigantes

La superficie de Marte



- Casquetes de hielo de agua en los polos
- Actualmente Marte no posee agua líquida en su superficie. Pero en un pasado fue más caliente y poseyó una atmósfera gruesa y grandes cantidades de agua líquida

Lunas de Marte

Phobos



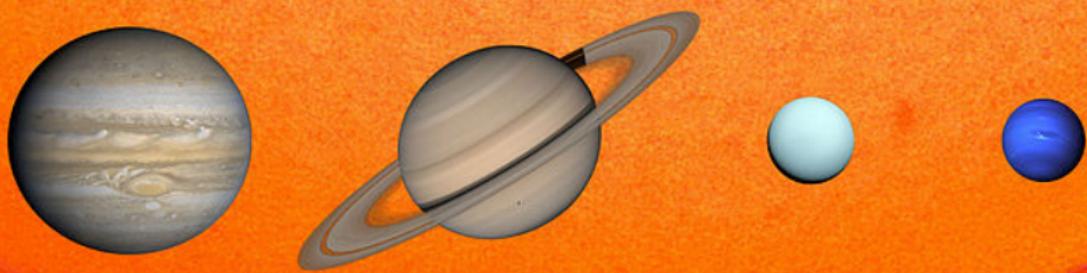
Deimos



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

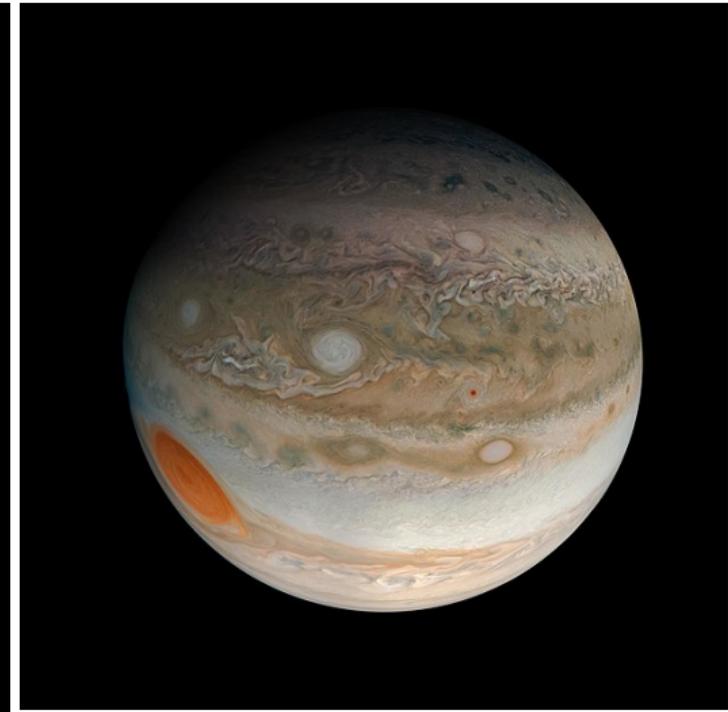
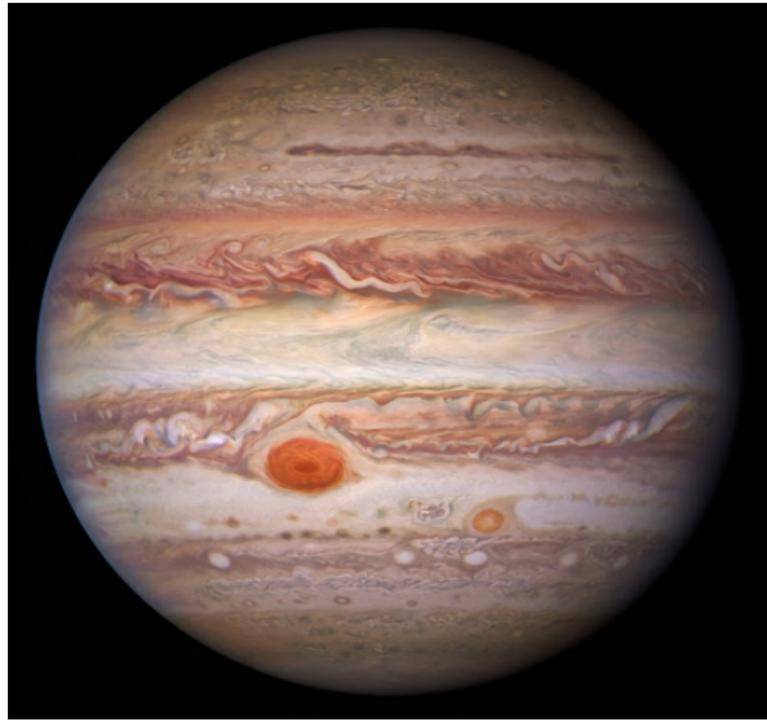
Planetas Gaseosos

Los Planetas Gaseosos



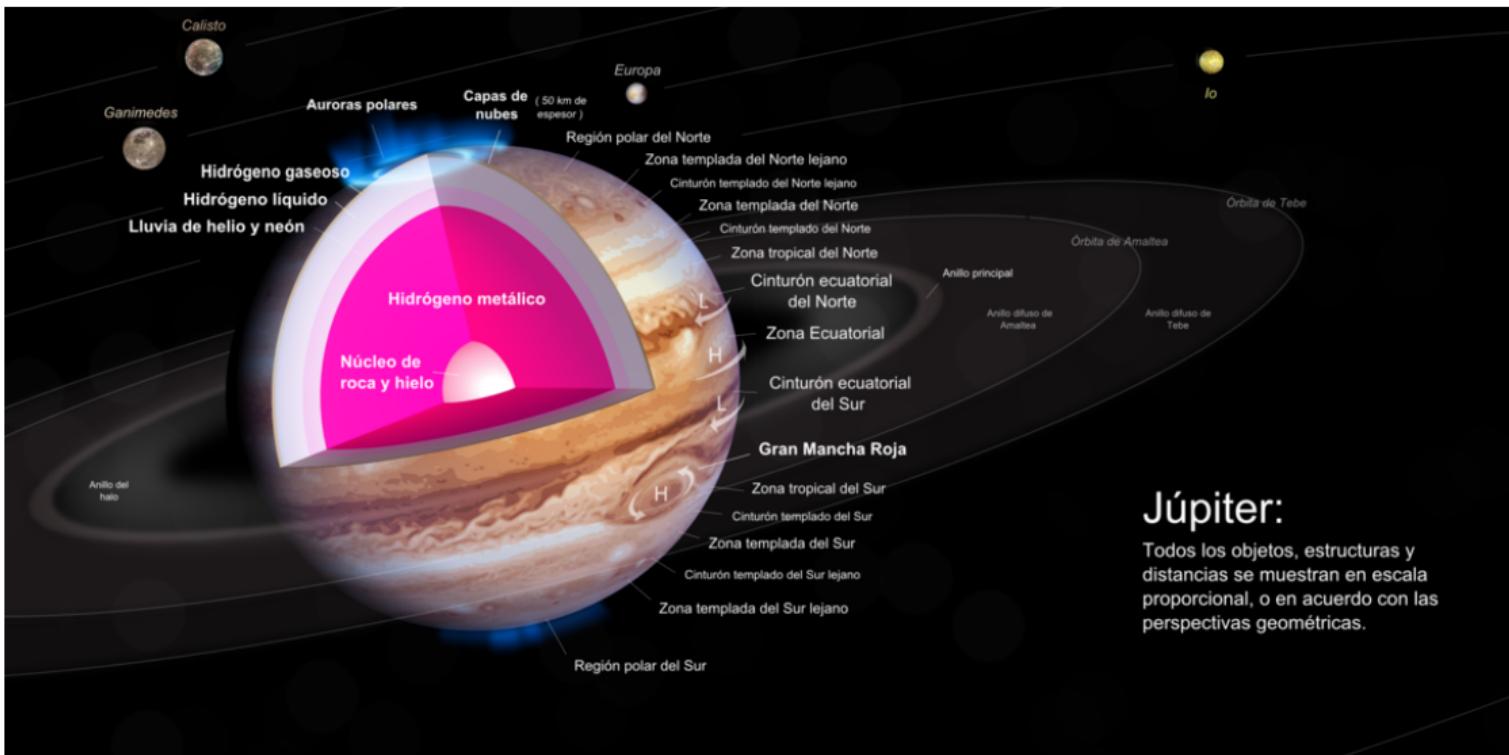
5. Júpiter

Júpiter y su Atmósfera



- Júpiter es el planeta más grande del sistema solar: es un gigante gaseoso
- Tiene una atmósfera muy gruesa y muy dinámica
 - Posee cinturones y zonas
 - Posee un huracán persistente (al menos desde hace 350 años): la Gran Mancha Roja

El interior de Júpiter

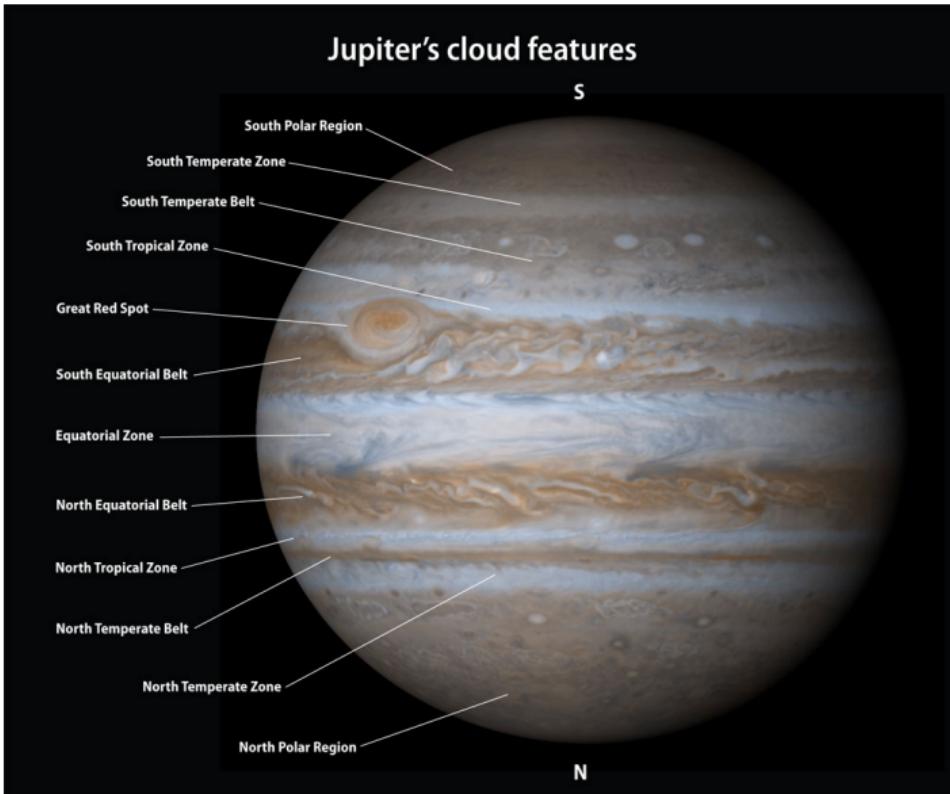


Júpiter:

Todos los objetos, estructuras y distancias se muestran en escala proporcional, o en acuerdo con las perspectivas geométricas.

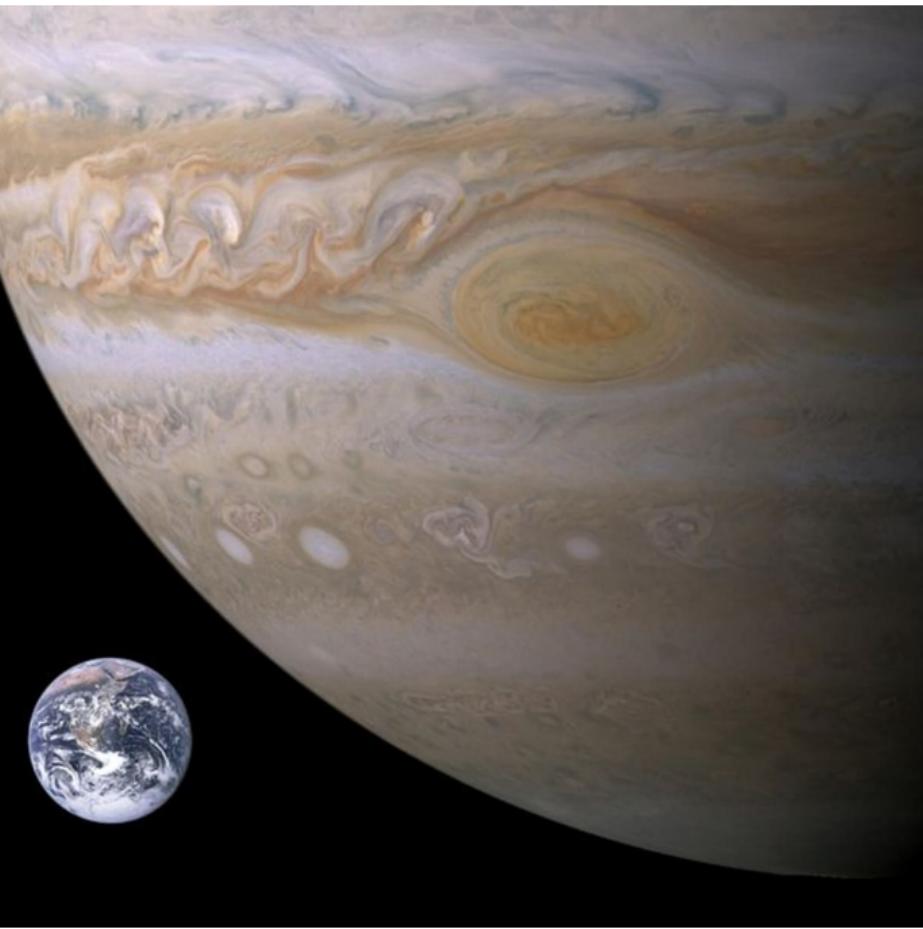
- Está todavía caliente debido a su formación
- Su interior está hecho mayormente de Hidrógeno metálico
- Es el planeta que rota a más velocidad del sistema solar

La atmósfera de Júpiter: Bandas y Zonas y Tormentas



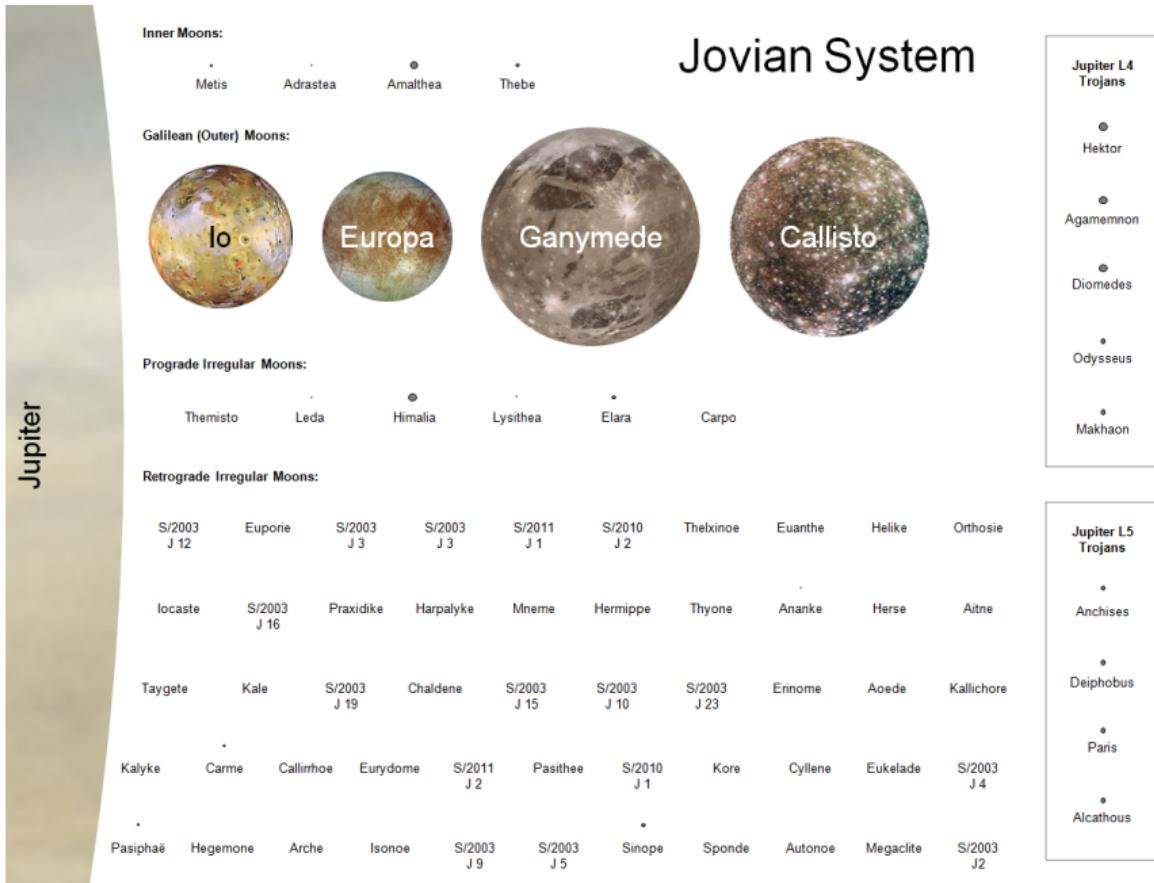
- Bandas (oscuras) y zonas (claras),
- Vórtices (ciclones y anticiclones), tormentas y relámpagos

La atmósfera de Júpiter: la Gran Mancha Roja



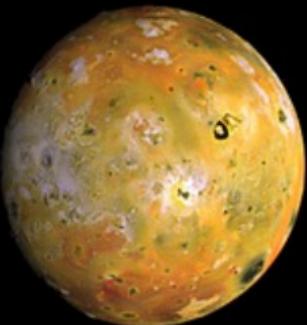
Lunas de Júpiter

Jupiter tiene 79 lunas (4 de ellas son muy grandes)



Las Lunas galileanas de Júpiter

Io



Europa



Ganímedes



Callisto



Callisto

Ganymede

Io

Europa

Europa

Thebe

Amalthea

Main Ring

Melusina

Adrastea

Las Lunas galileanas de Júpiter

Io



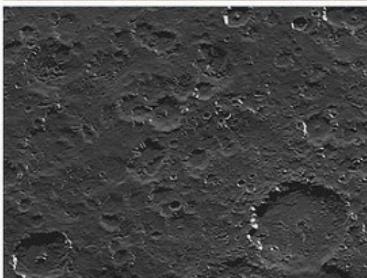
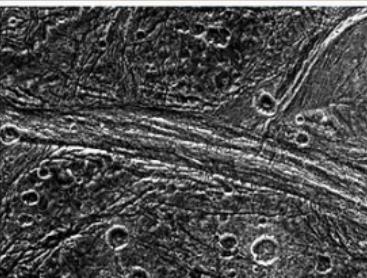
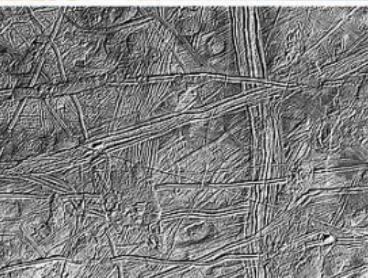
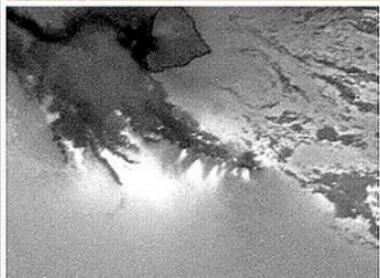
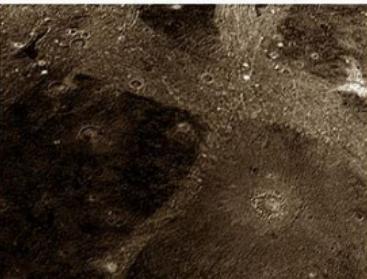
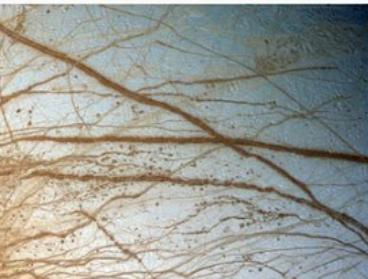
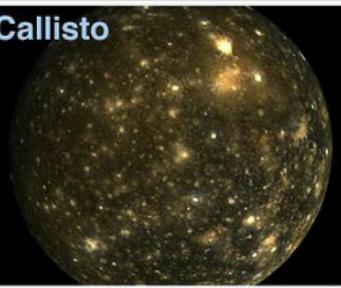
Europa



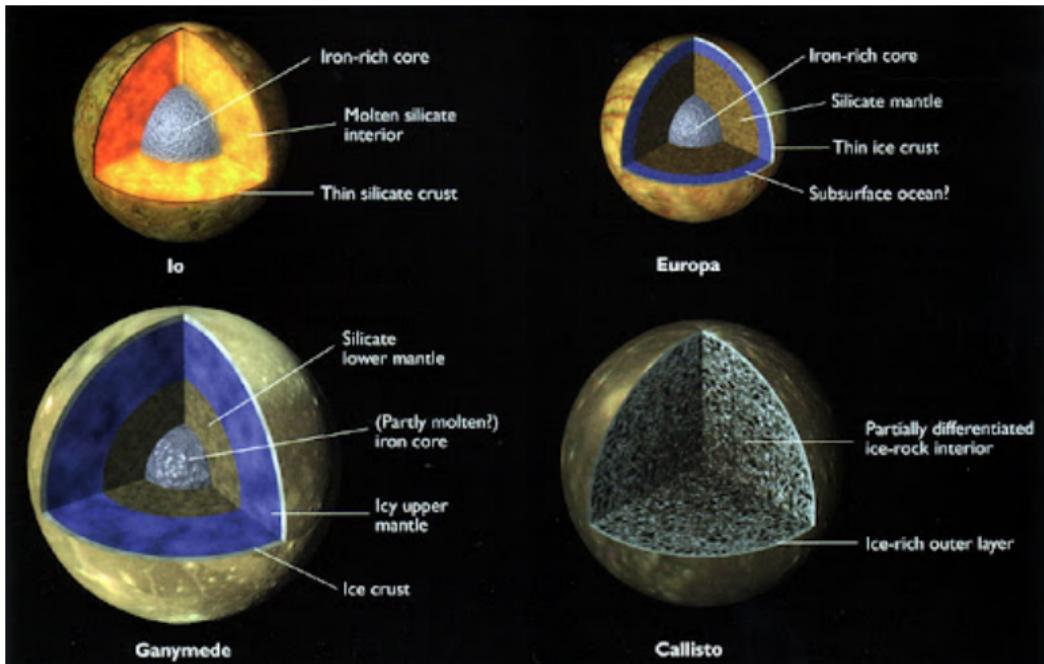
Ganymede



Callisto



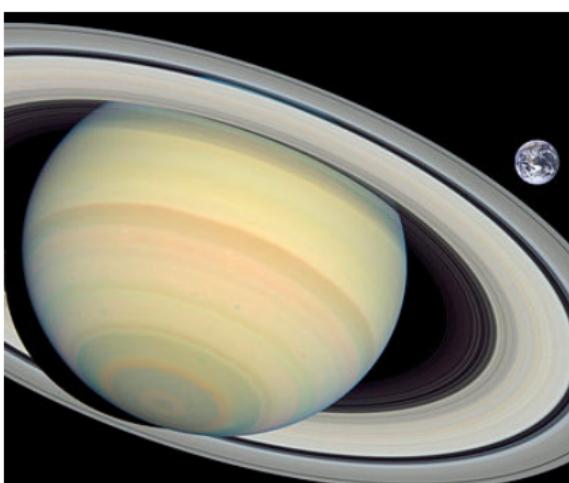
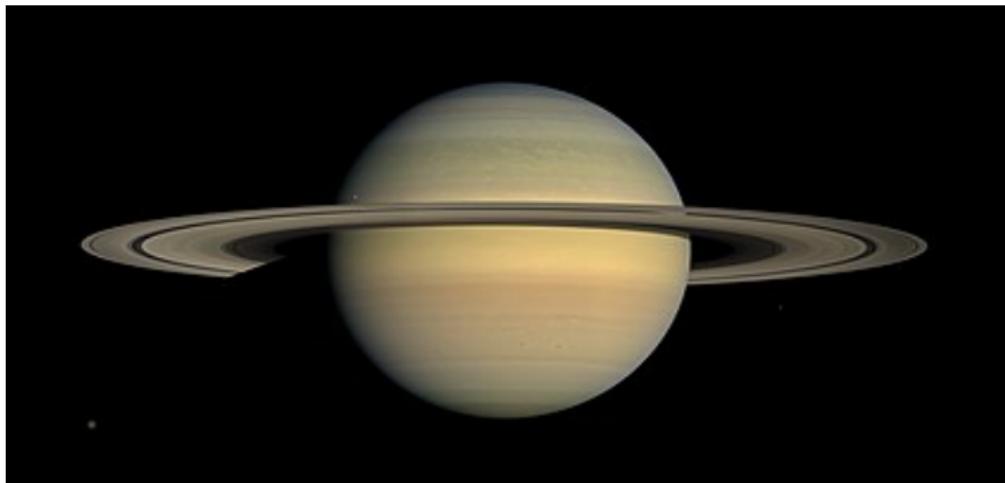
El interior de las Lunas galileanas de Júpiter



- Ganimedes es la mayor; puede tener un núcleo metálico
- Io tiene una intensa actividad volcánica
- Europa tiene un océano de agua bajo su superficie helada
- Io, Europa y Ganimedes interaccionan gravitacionalmente: esto calienta sus interiores

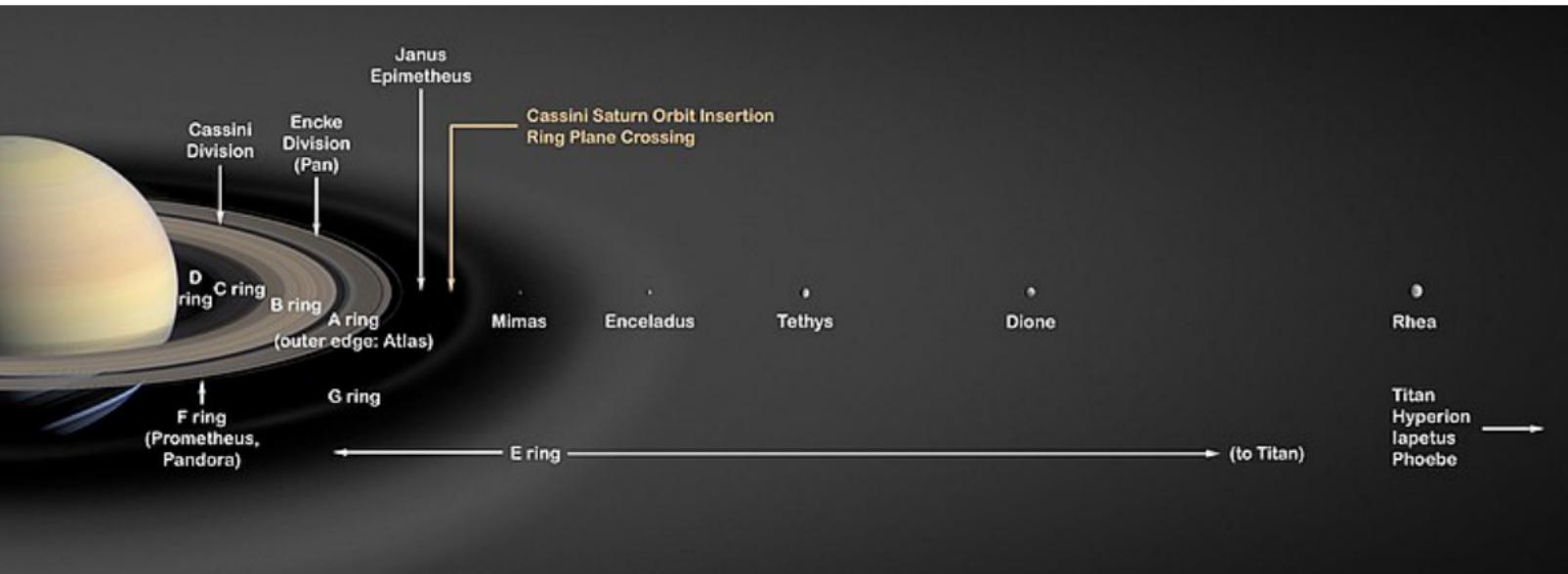
6. Saturno

Saturno su Atmósfera y sus Anillos



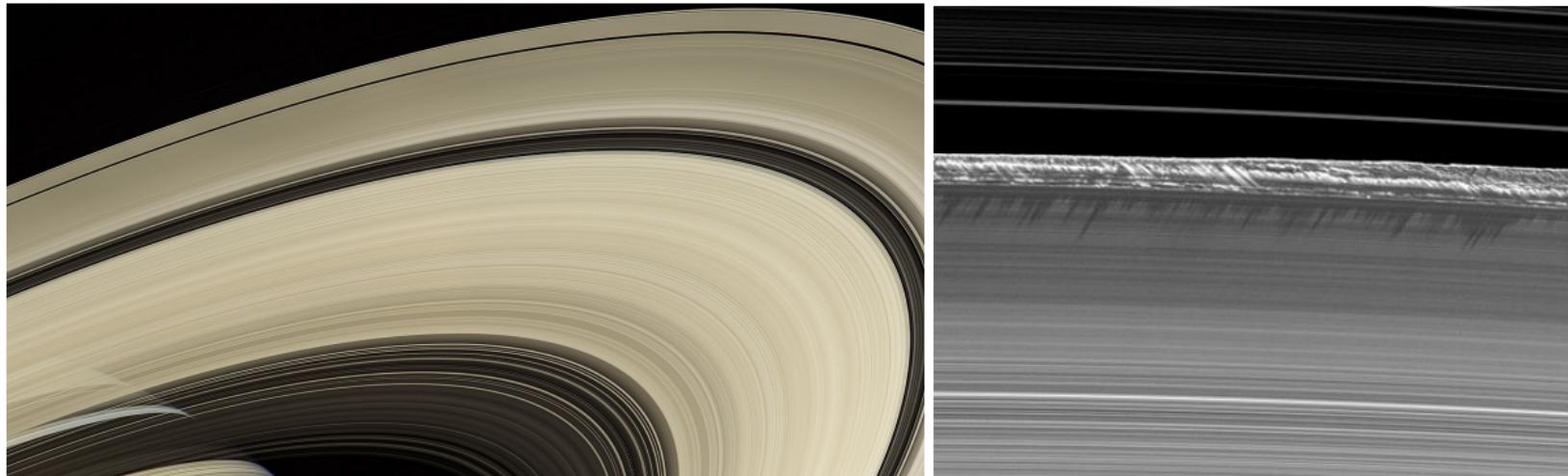
- Saturno es un gigante gaseoso
- Saturno tiene una atmósfera muy parecida a la de Júpiter, con zonas y bandas; pero en general con menos formaciones visibles
- Tiene un conjunto de **anillos** formados por partículas de hielo
 - Algunas lunas generan separaciones entre los anillos, la separación más 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 son muy finos: en promedio tienen 10 metros de espesor!

Los anillos de Saturno



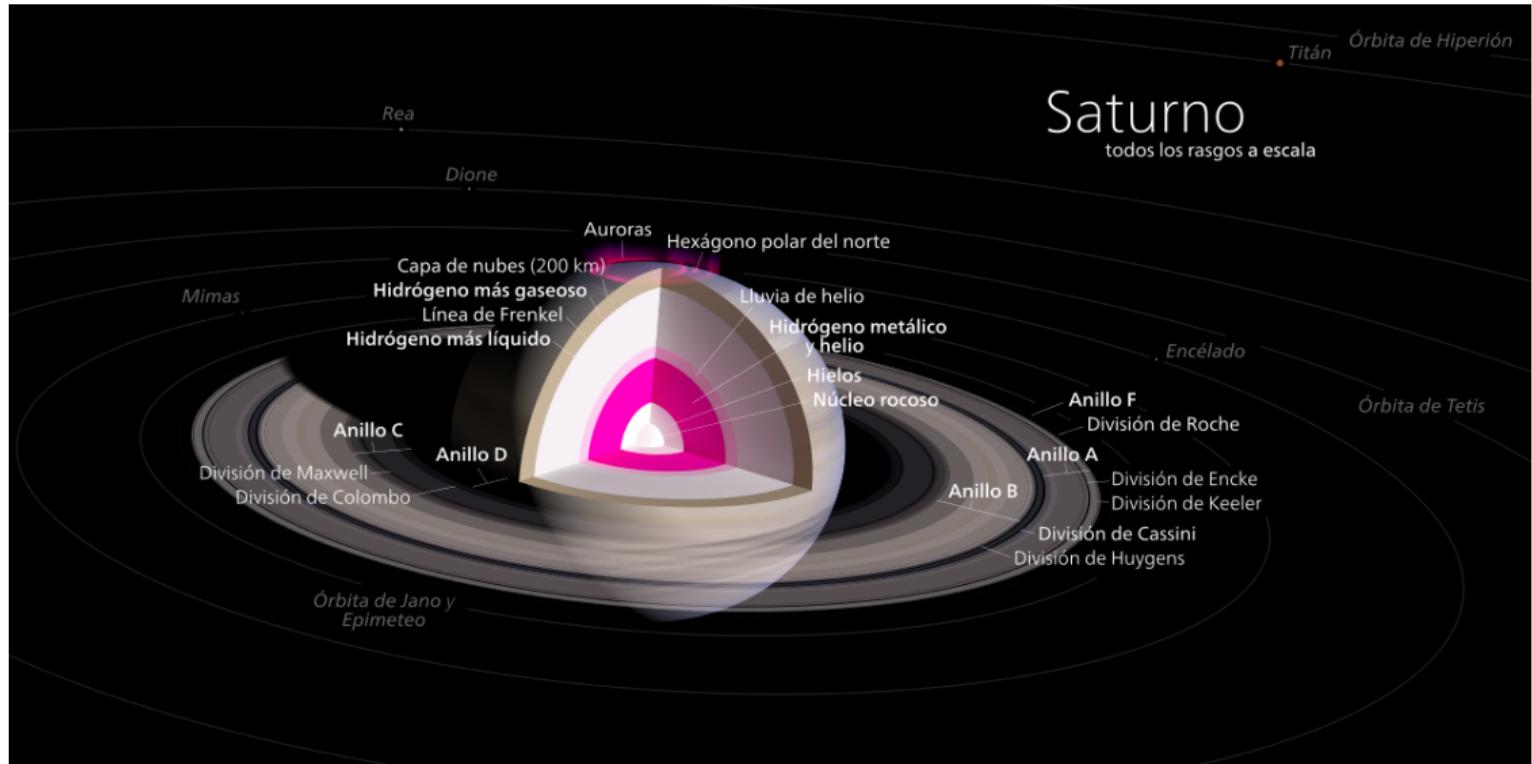
- Los anillos de Saturno son un sistema de 10 anillos que lo rodean
- Es un disco de materia delgado y plano, separado del planeta sobre su Ecuador
- Divisiones: regiones relativamente transparentes, aunque no vacías en absoluto.
- Los anillos se pueden haber originado al desintegrarse una antigua luna de Saturno hecha de hielo.

Los anillos de Saturno



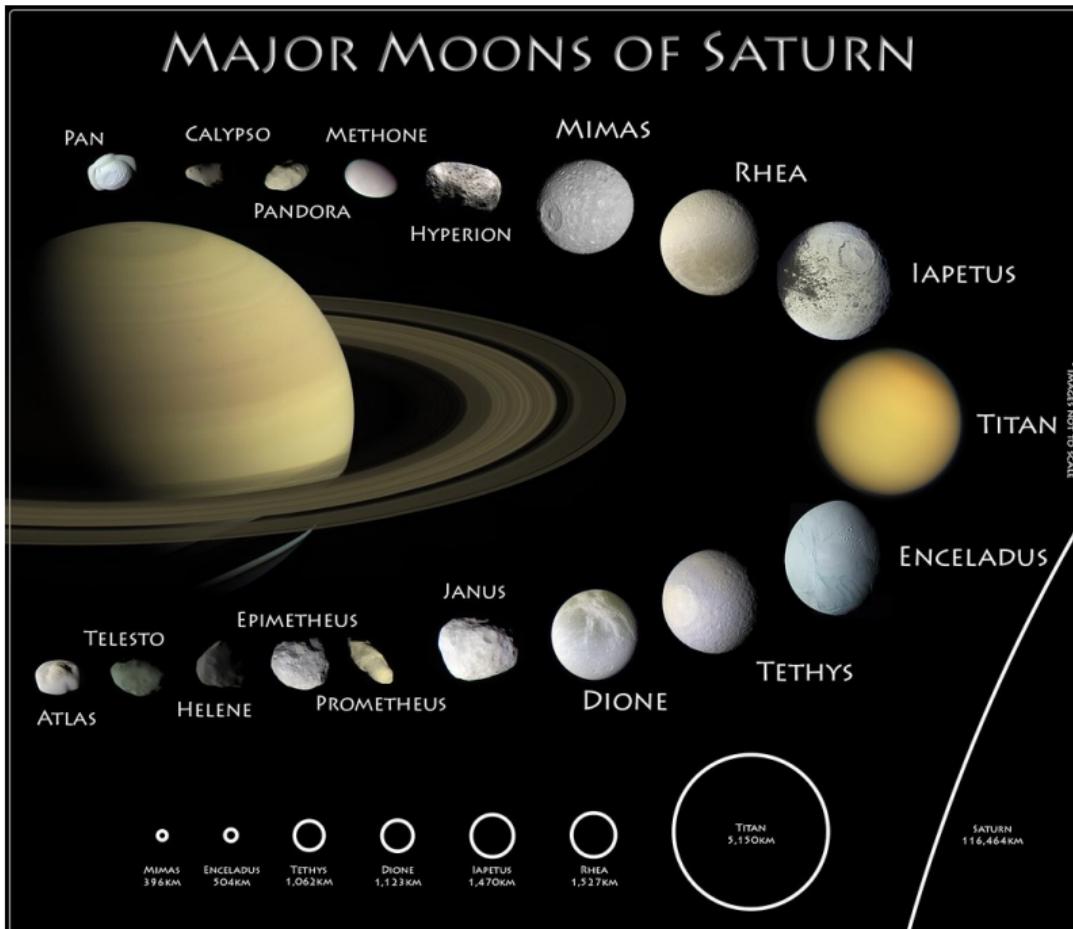
- Cada anillo mayor está compuesto de muchos mini-anillos
- Los anillos están formados de partículas de hielo (con tamaños entre pocos centímetros a pocos metros)
- Los anillos son muy finos: en promedio tienen 10 metros de espesor!
- Los anillos no son viejos, están siendo renovados continuamente: las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

El interior de Saturno

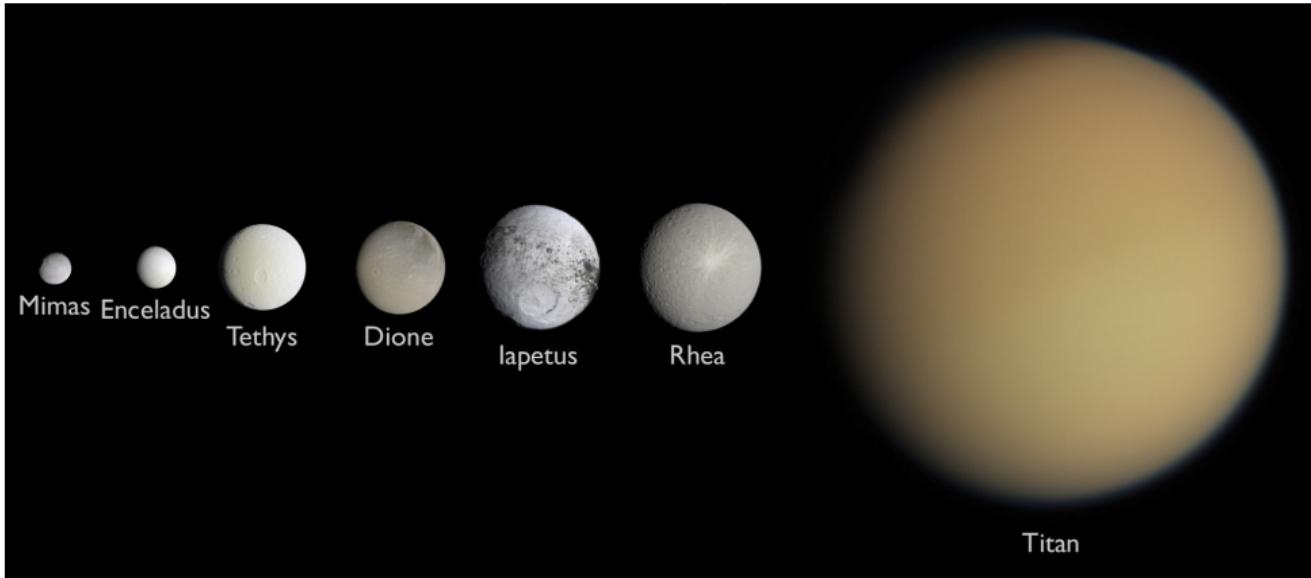


- Su interior está hecho mayormente de Hidrógeno metálico
- En el centro posee un núcleo rocoso

Las Lunas de Saturno: posee 82 lunas



Las Lunas de Saturno: Titán y Encelado



Saturno posee 82 lunas

- Titán, la luna más grande, es mayor que Mercurio y tiene una densa atmósfera y lagos de metano
- Encelado posee un océano bajo su superficie. En la superficie hay erupciones de agua en forma de geysers.
- Encelado y/o Titán podrían soportar algún tipo de vida

7. Urano y 8. Neptuno

Urano y Neptuno

Urano

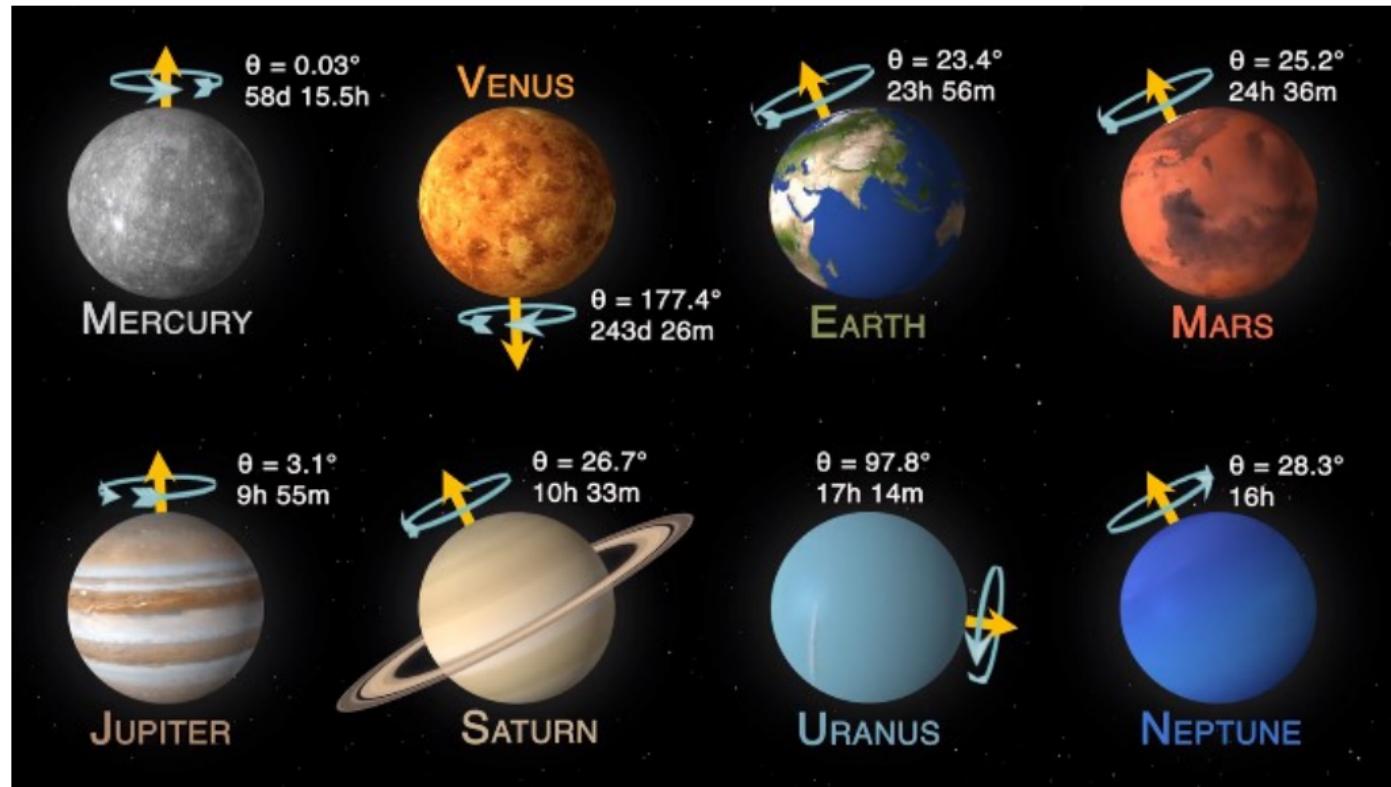


Neptuno



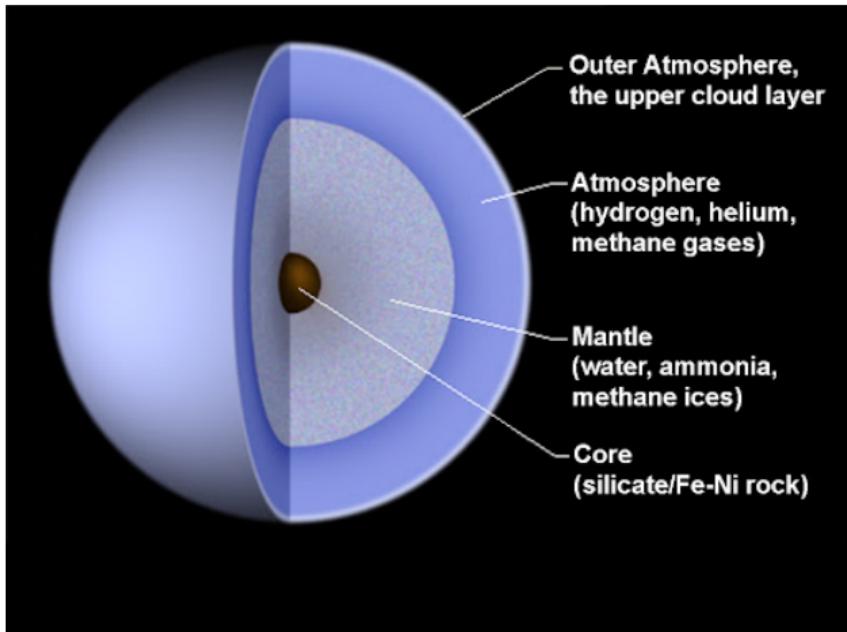
- Gigantes gaseosos con núcleos pequeños y rocosos
- Poseen un manto grueso compuesto de amoníaco, agua y metano
- Su atmósfera es de color verde azulado
 - Urano no posee estructuras visibles en su superficie
 - Neptuno tiene una meteorología muy activa: tiene nubes y tormentas con vientos extremadamente fuertes
- Urano y Neptuno tienen anillos y muchas lunas

Rotación de Urano y Neptuno

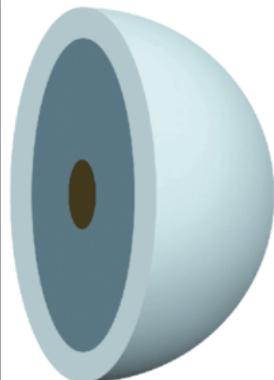


- El eje de rotación de Urano es casi paralelo al plano de la eclíptica.

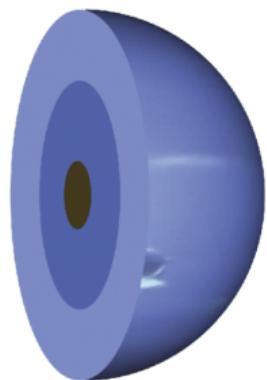
El interior de Urano y Neptuno



Uranus



Neptune



U N	
■	Gaseous envelope (H_2 , He, ices)
■	Icy shell (ices, rocks?, H-He?)
■	Core (rocks, ices?)

- Urano y Neptuno poseen un núcleo rocoso

Las lunas de Urano y Neptuno

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



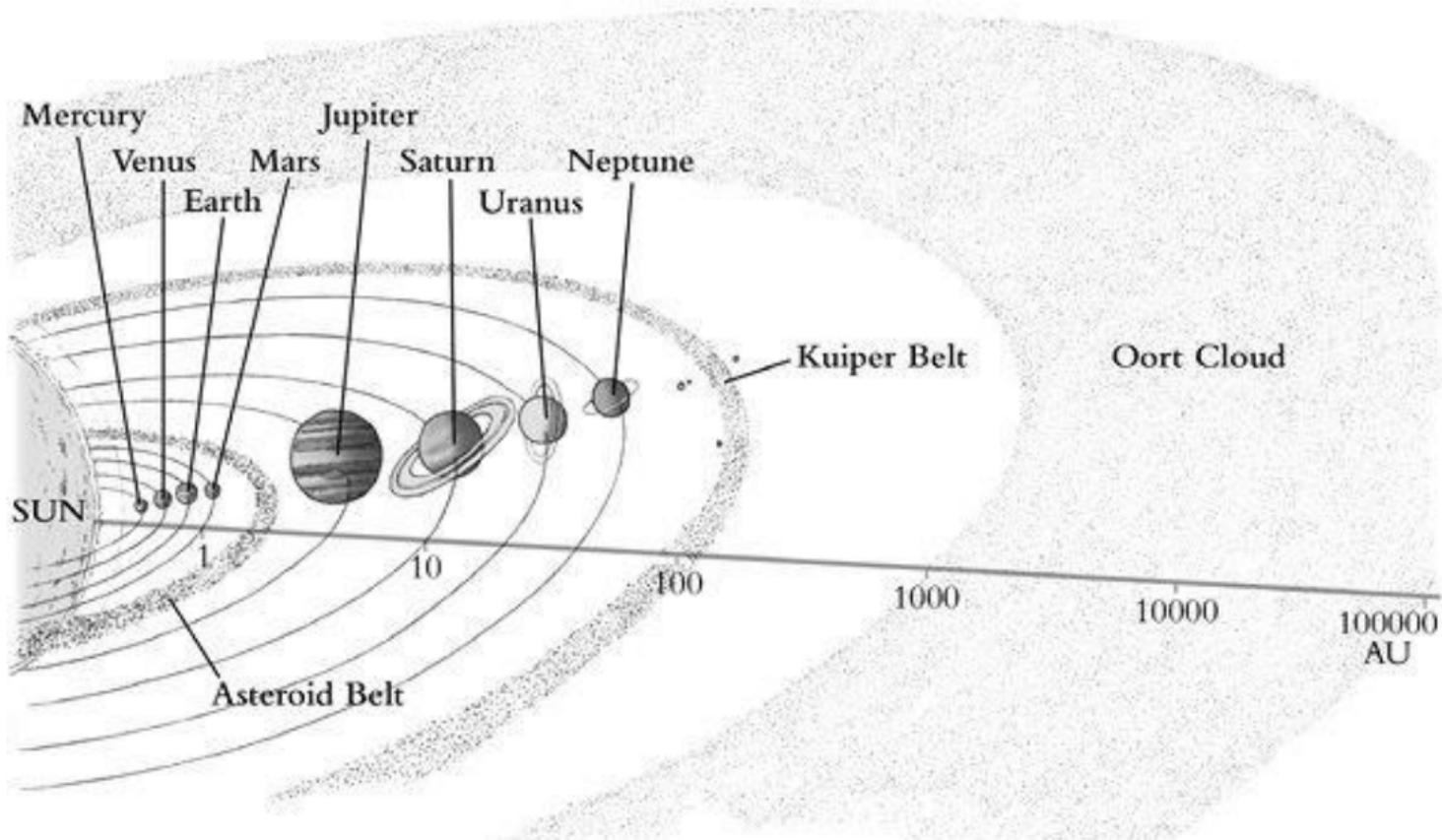
- Tritón, la luna más grande de Neptuno, es probablemente un objeto transneptuniano capturado y posee una geología activa.

Resumen de la Charla

Estructura general del Sistema Solar

- ① Una estrella en el centro: el **Sol**
- ② Varios **planetas** orbitando al Sol en el mismo plano
 - Planetas interiores: son rocosos y relativamente pequeños (Mercurio, Venus, Tierra y Marte)
 - Planetas exteriores: son gaseosos y grandes (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno)
 - Muchos planetas poseen satélites naturales: lunas
- ③ Muchísimos **asteroides** que también orbitan al Sol
 - Están ubicados fundamentalmente el *Cinturón de asteroides*, entre los planetas interiores y los exteriores)
- ④ Una enorme cantidad de **cometas helados y otros objetos de composición similar**
 - Están fundamentalmente en el *Cinturón de Kuiper y la Nube de Oort*)

Estructura general del Sistema Solar



Material Extra

Propiedades de los Planetas

	Mercury	Venus	Earth	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptune
Mean distance from Sun								
millions km	57.9	108.2	149.6	227.9	778.3	1429.4	2875.0	4504.4
(millions of miles)	(36)	(68)	(93)	(142)	(486)	(888)	(1787)	(2799)
Astronomical Units, AU	0.39	0.72	1.00	1.52	5.20	9.56	19.22	30.11
Mean orbital velocity, km/sec	47.87	35.02	29.79	24.13	13.06	9.65	6.80	5.43
Period of revolution, sidereal	87.97 days	224.70 days	365.26 days	686.98 days	11.86 years	29.46 years	84.01 years	164.79 years
Synodic (days)	116	584	—	780	399	378	370	367
Rotation period, sidereal (days, hours, minutes, seconds)	58.646d	243.019d	23h 56m 4s	24h 37m 26s	9.842h	10.656h	17.239h	16.109h
Inclination of orbit to ecliptic	7°00'	3°24'	0°00'	1°51'	1°18'	2°29'	0°46'	1°46'
Eccentricity of orbit	0.206	0.007	0.017	0.093	0.048	0.054	0.046	0.009
Oblateness	0	0	0.0034	0.0068	0.065	0.098	0.023	0.017
Equatorial diameter, km (miles)	4,879 (3,030)	12,104 (7,520)	12,756 (7,930)	6,792 (4,220)	142,980 (88,850)	120,540 (74,900)	51,120 (31,770)	49,530 (30,780)
Mass (Earth = 1)	0.06	0.82	1.00	0.11	317.83	95.16	14.54	17.15
Density, t/m ³	5.43	5.24	5.52	3.94	1.33	0.69	1.27	1.64
Surface gravity (Earth = 1)	0.38	0.90	1.00	0.38	2.53	1.06	0.90	1.14
Confirmed satellites	0	0	1 moon	2 moons	63 moons Rings	60 moons Rings	27 moons Rings	13 moons Rings

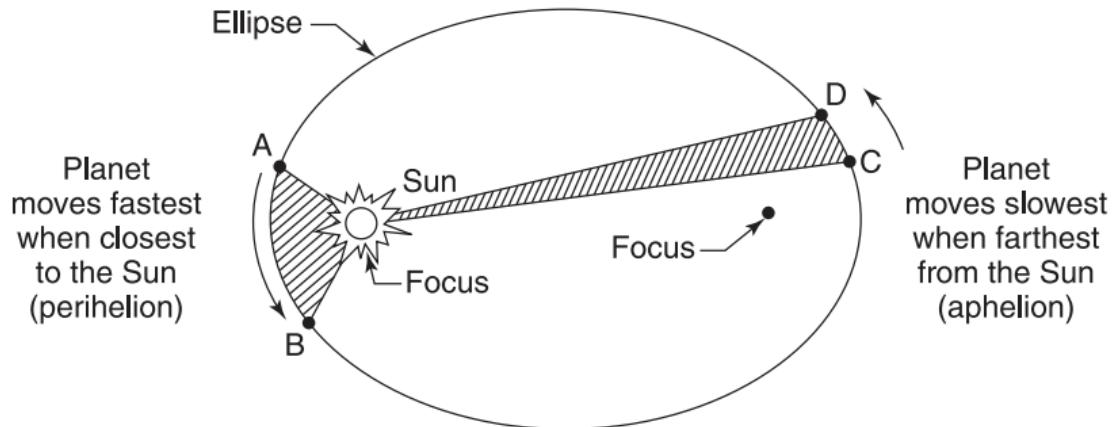
Propiedades de los Planetas

TABLE 6.1 Properties of Some Solar System Objects

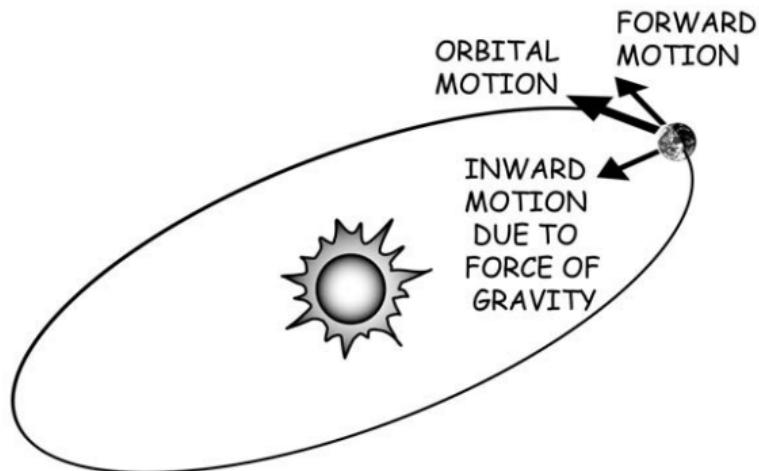
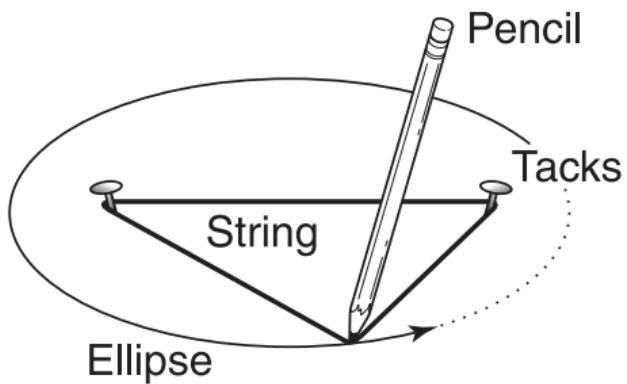
Object	Orbital Semimajor Axis (AU)	Orbital Period (Earth Years)	Mass (Earth Masses)	Radius (Earth Radii)	Number of Known Satellites	Rotation Period * (days)	Average Density (kg/m ³)	Average Density (g/cm ³)
Mercury	0.39	0.24	0.055	0.38	0	59	5400	5.4
Venus	0.72	0.62	0.82	0.95	0	-243	5200	5.2
Earth	1.0	1.0	1.0	1.0	1	1.0	5500	5.5
Moon	—	—	0.012	0.27	—	27.3	3300	3.3
Mars	1.52	1.9	0.11	0.53	2	1.0	3900	3.9
Ceres (asteroid)	2.8	4.7	0.00015	0.073	0	0.38	2700	2.7
Jupiter	5.2	11.9	318	11.2	63	0.41	1300	1.3
Saturn	9.5	29.4	95	9.5	56	0.44	700	0.7
Uranus	19.2	84	15	4.0	27	-0.72	1300	1.3
Neptune	30.1	164	17	3.9	13	0.67	1600	1.6
Pluto (Kuiper belt object)	39.5	248	0.002	0.2	3	-6.4	2100	2.1
Hale-Bopp (comet)	180	2400	1.0×10^{-9}	0.004	—	0.47	100	0.1
Sun	—	—	332,000	109	—	25.8	1400	1.4

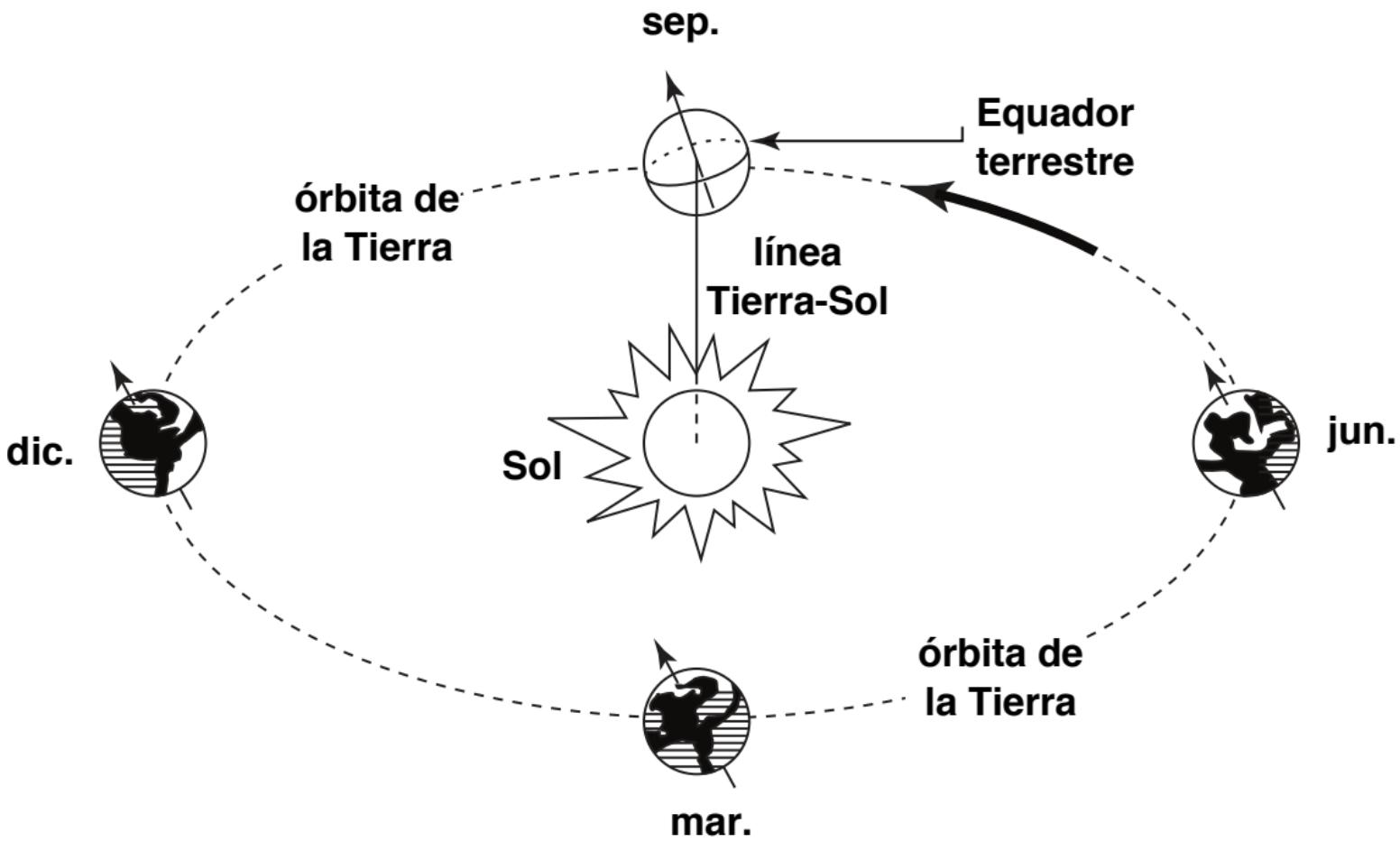
*A negative rotation period indicates retrograde (backward) rotation relative to the sense in which all planets orbit the Sun.

Movimiento Planetario

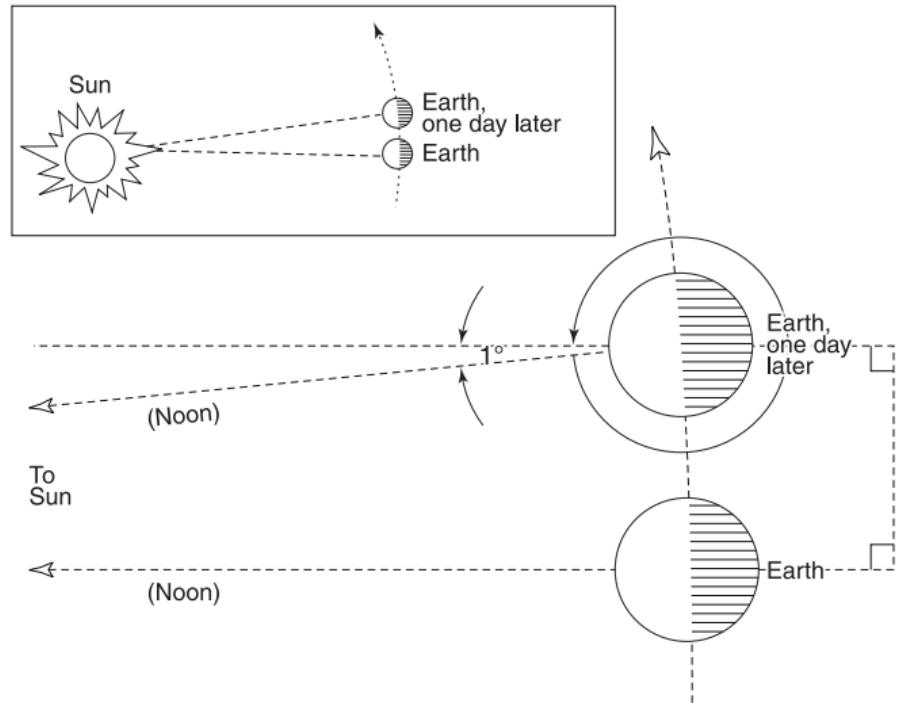


Movimiento Planetario



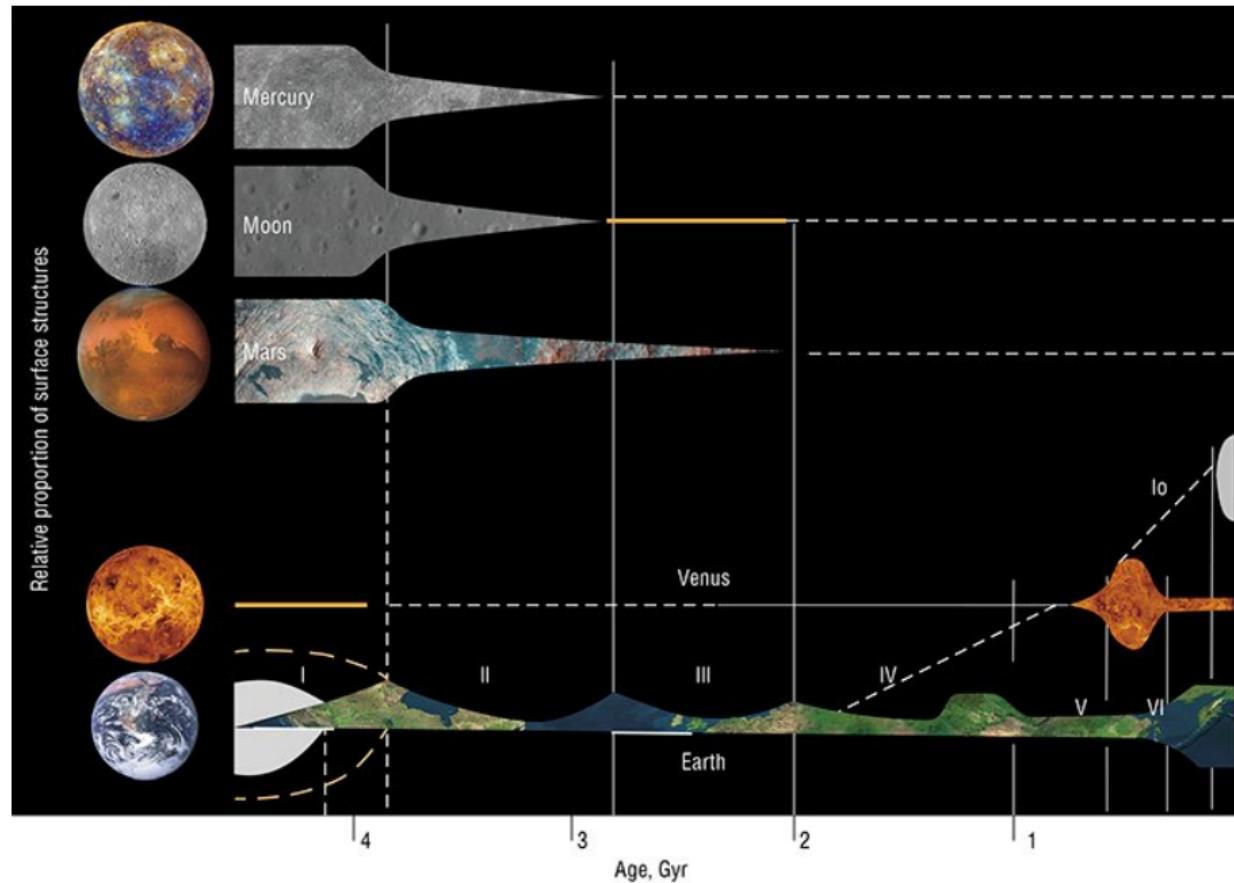


Día Solar versus Día Sidéreo

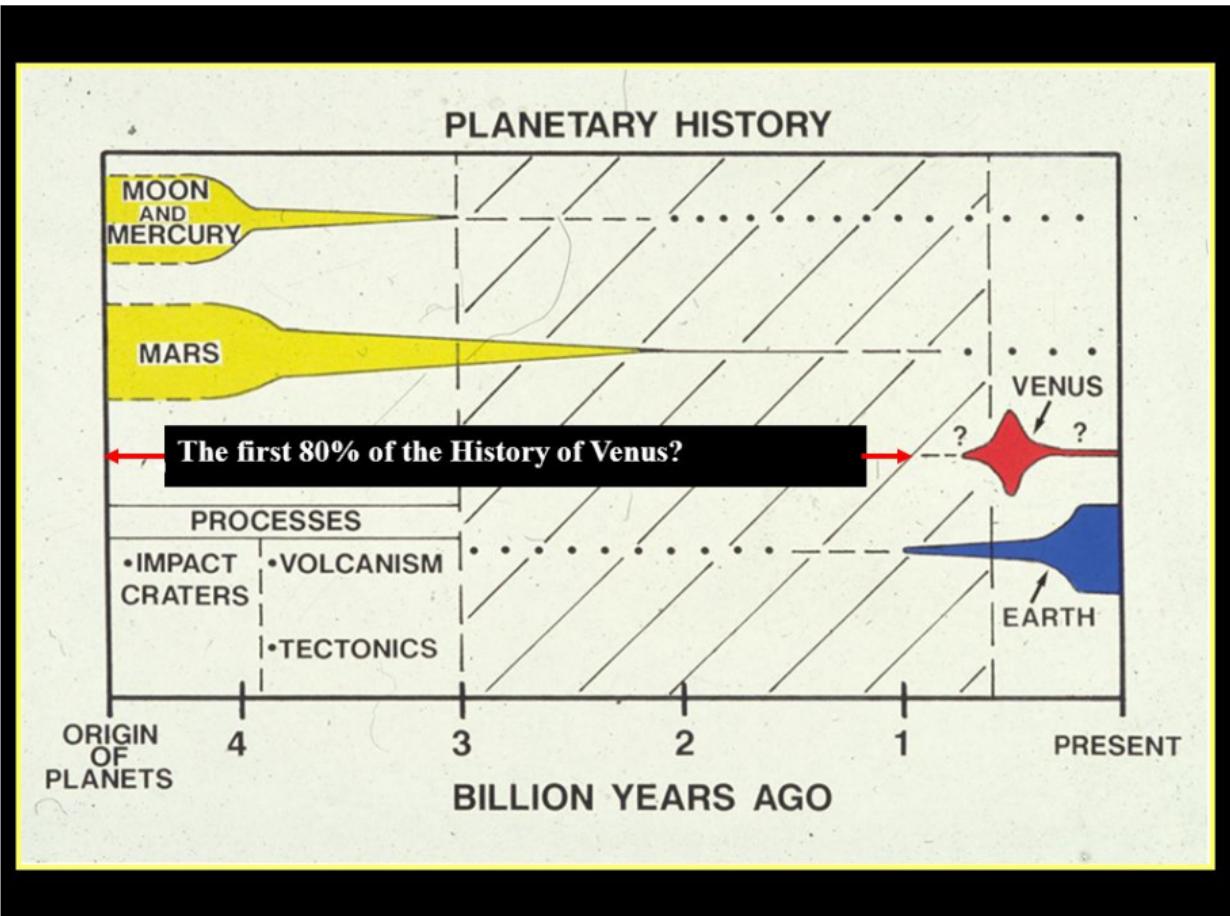


- Día solar: 24 horas
- Día solar: 23 horas 56 min. (4 minutos más corto que el día solar)

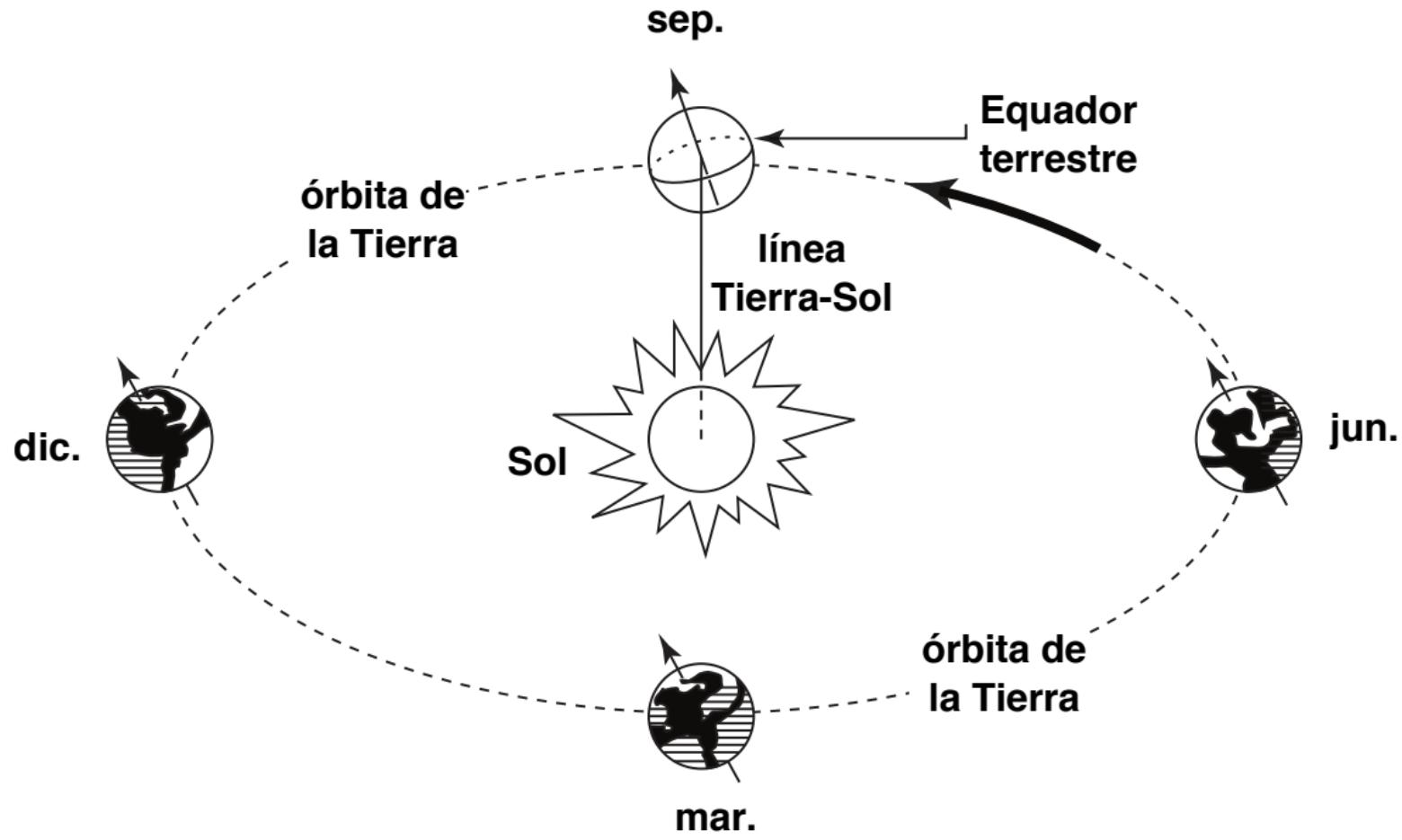
Geología de los Planetas Rocosos



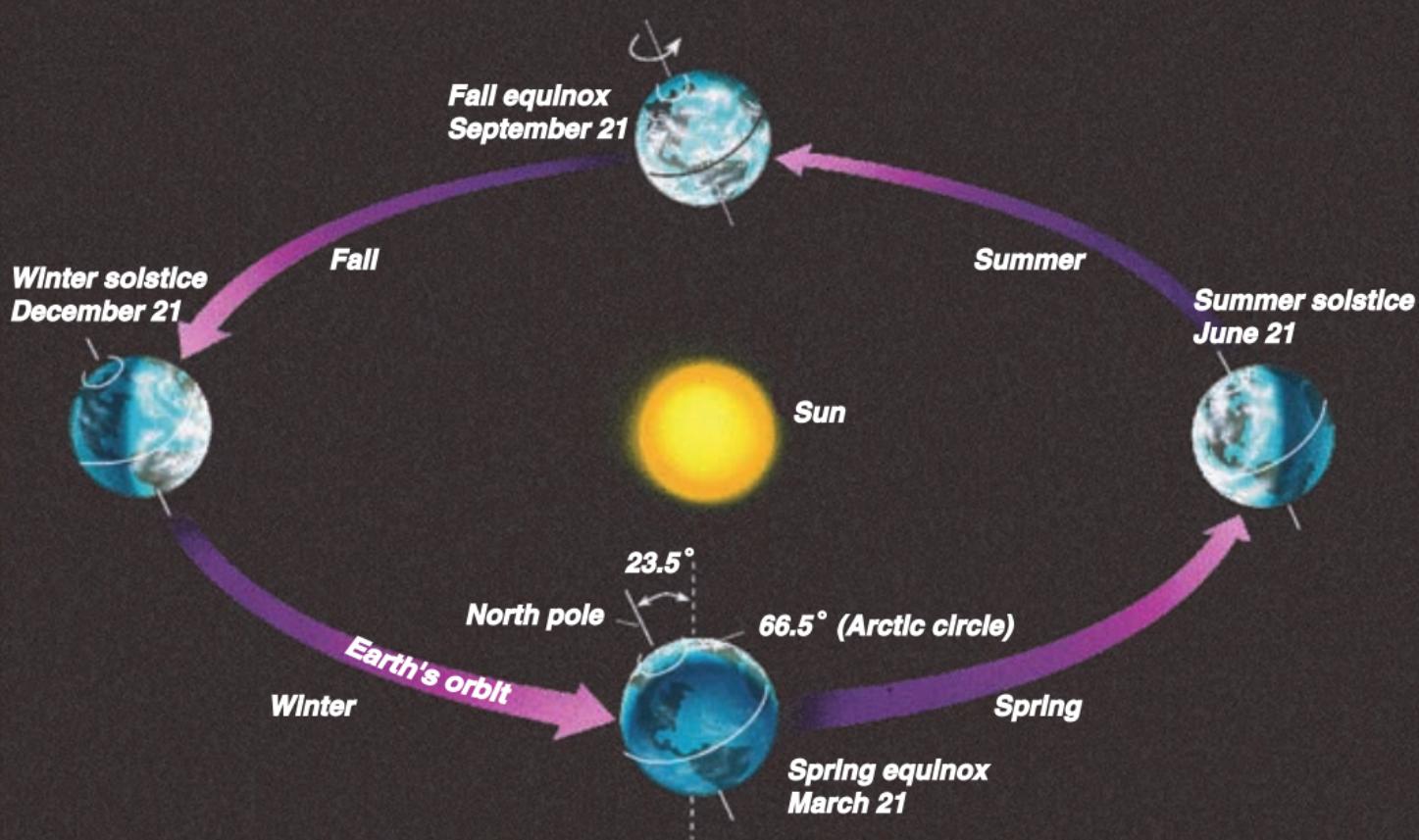
Geología de los Planetas Rocosos



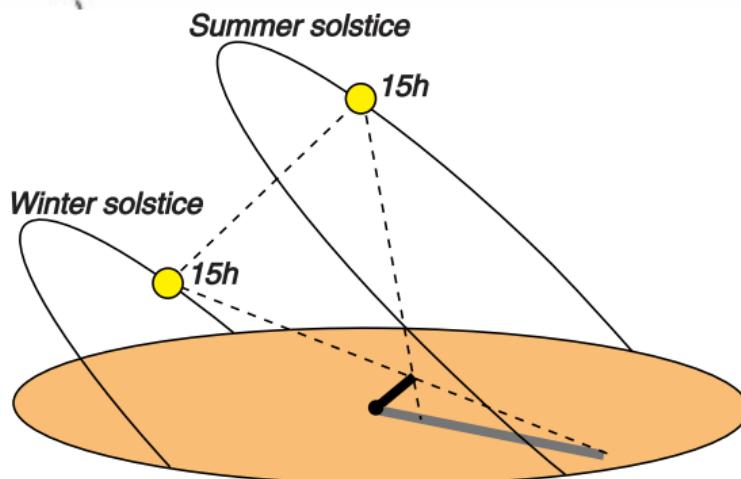
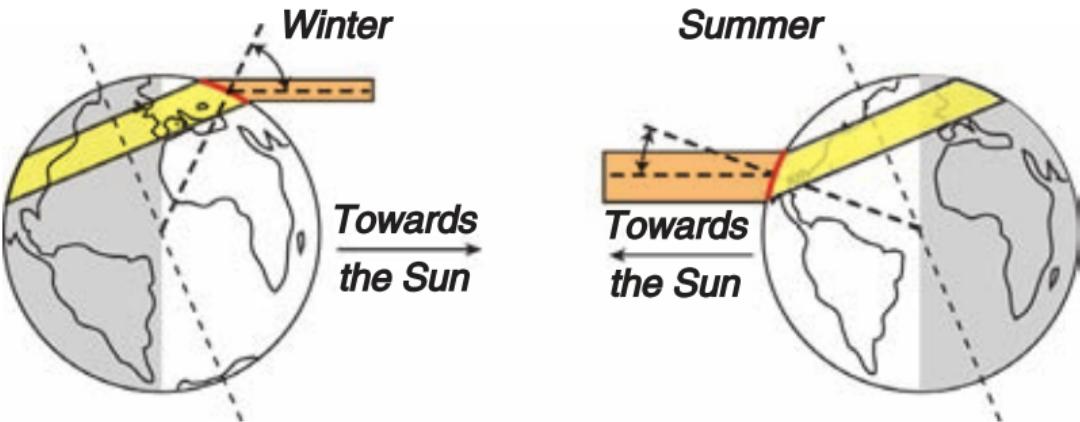
Rotación de la Tierra alrededor del Sol en un Año



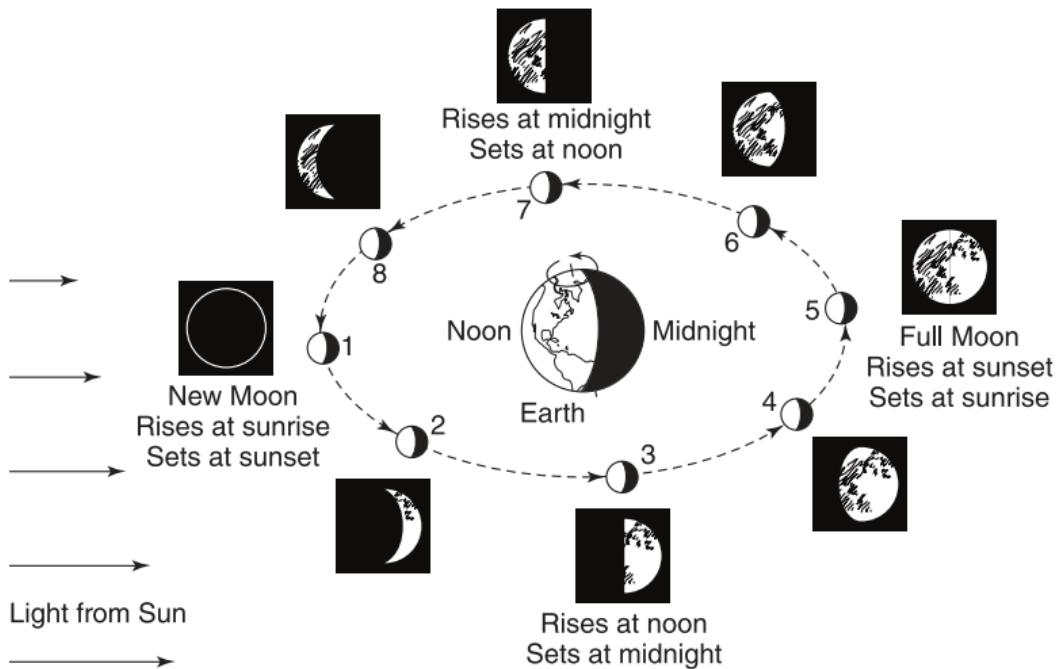
Rotación de la Tierra alrededor del Sol en un Año



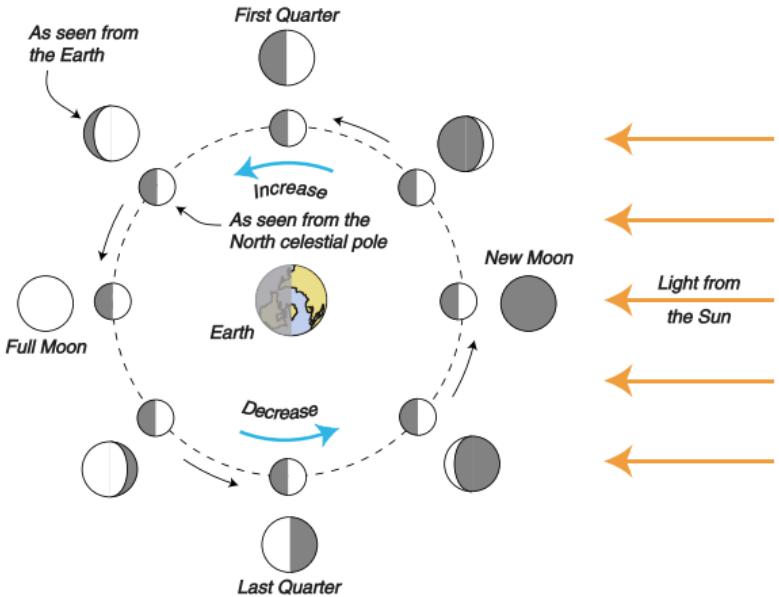
Verano versus Inviero



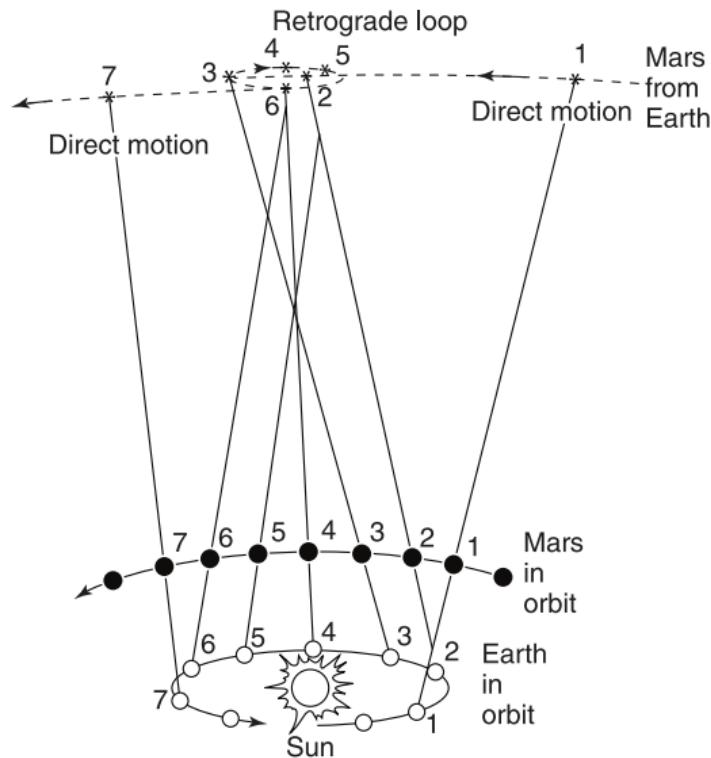
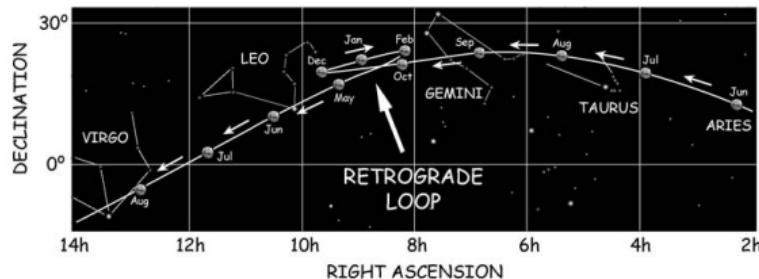
Fases de la Luna



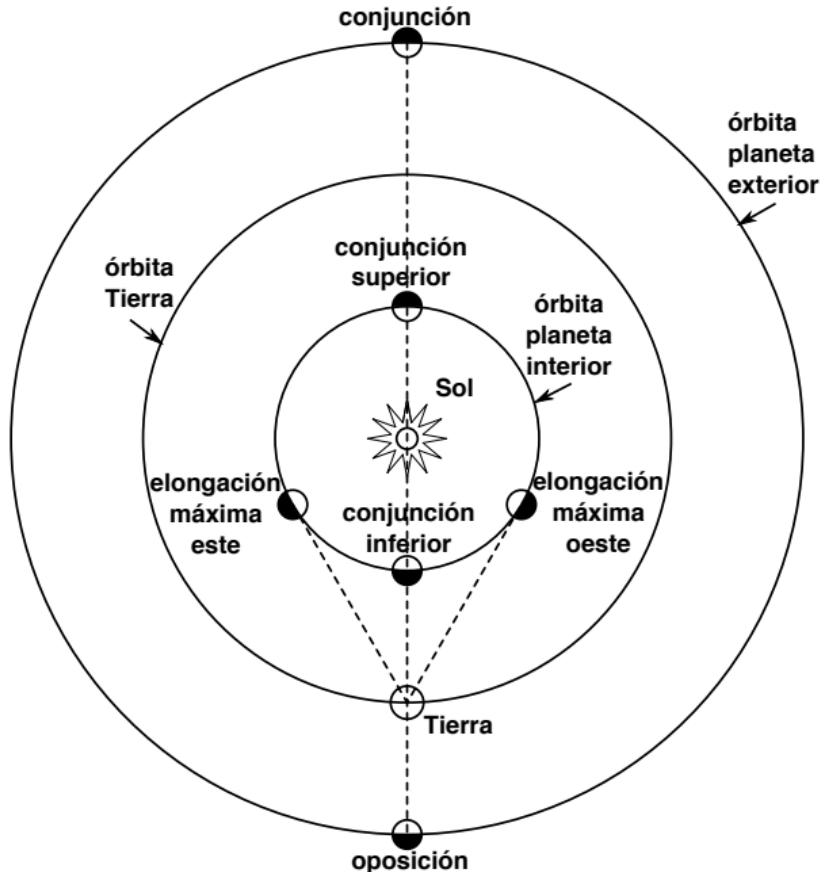
Fases de la Luna



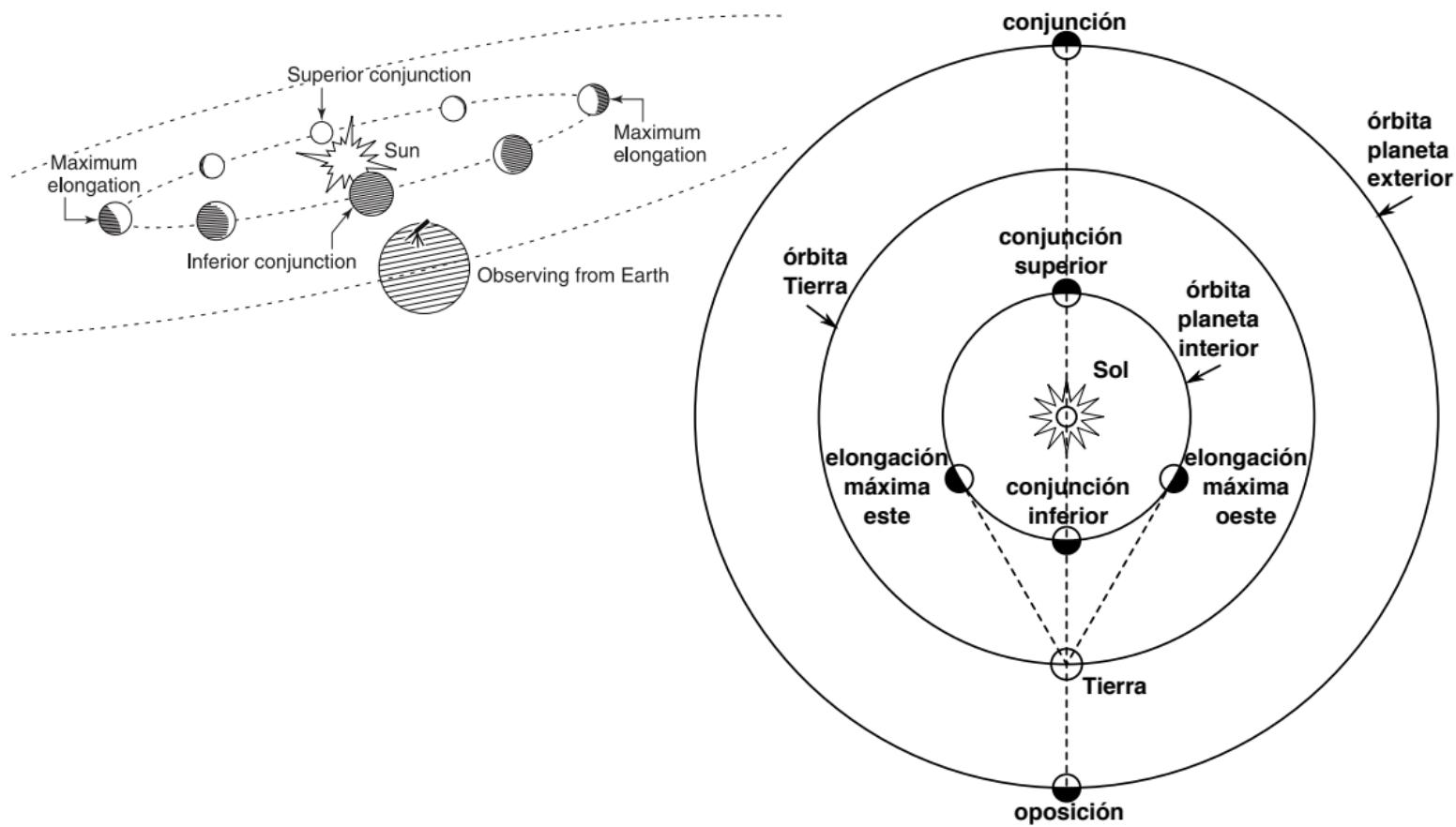
Planetas Exteriores: Movimiento Regrógrado



Planetas Exteriores: Oposición vs. Conjunción



Planetas Interiores: Fases



Planetas Interiores: Fases

