

Planetología comparada:

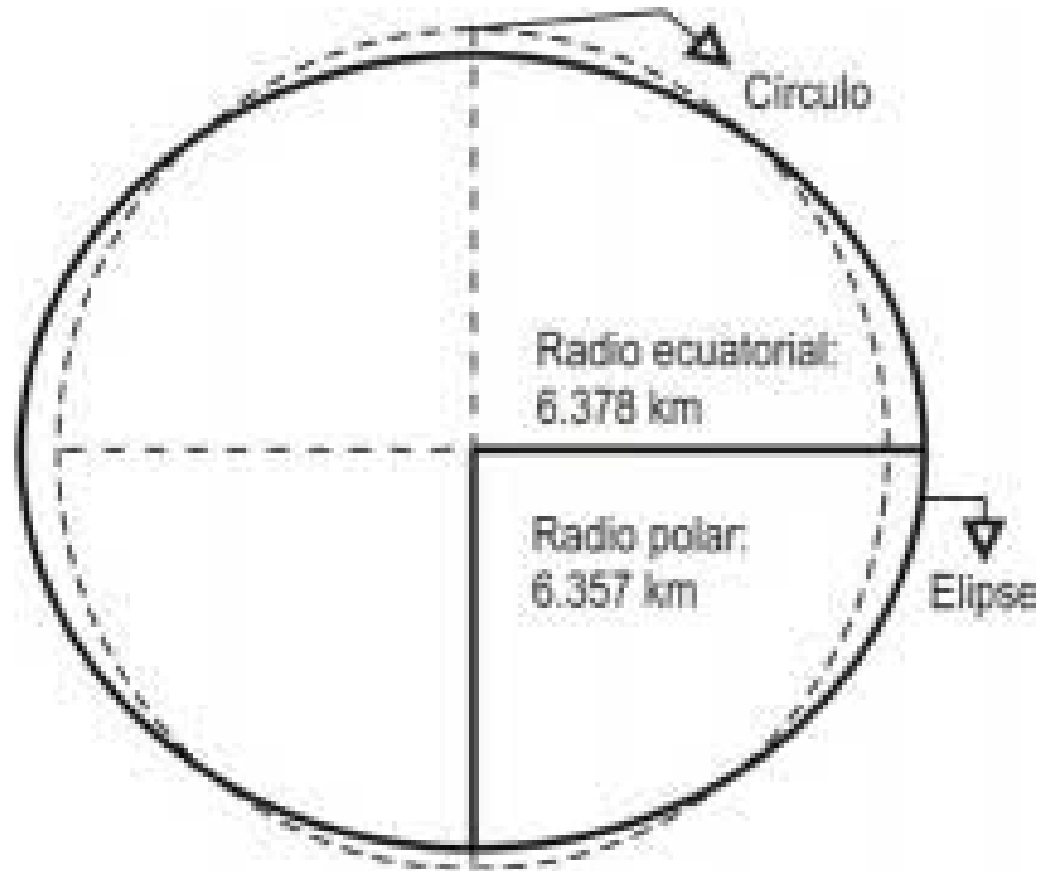
Interiores, atmósferas



- * Interiores de los planetas terrestres y la Luna. Achatamiento polar. Fuentes de energía interna. Interiores de otros objetos ricos en hielos.
- * Interiores de los planetas gigantes.
- * Distintos tipos de atmósferas en el sistema solar.
- * Capacidad de un objeto planetario de retener una atmósfera.
- * Condiciones físicas de las atmósferas: Equilibrio hidrostático, perfiles de temperaturas.
- * Atmósferas de los planetas terrestres y Titán.
- * Atmósferas de los planetas gigantes.
- * Atmósferas extremadamente tenues: casos de Plutón, Tritón, Io.

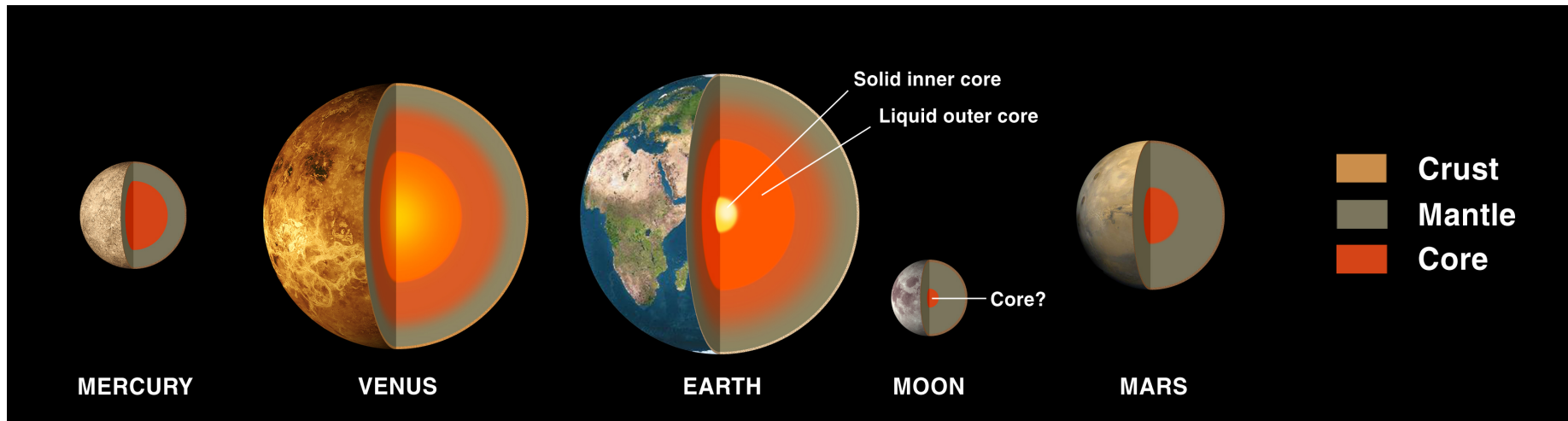
Achatamiento polar

La rotación del planeta dará lugar a un achatamiento debido a la fuerza centrífuga.



El *achatamiento polar* se define como: $e = (R_E - R_P)/R_E$, donde R_E es el radio ecuatorial y R_P el polar.

Interiores de los planetas terrestres



* El achatamiento polar es un parámetro importante para deducir la distribución interna del material.

* Fuentes de calor interior:

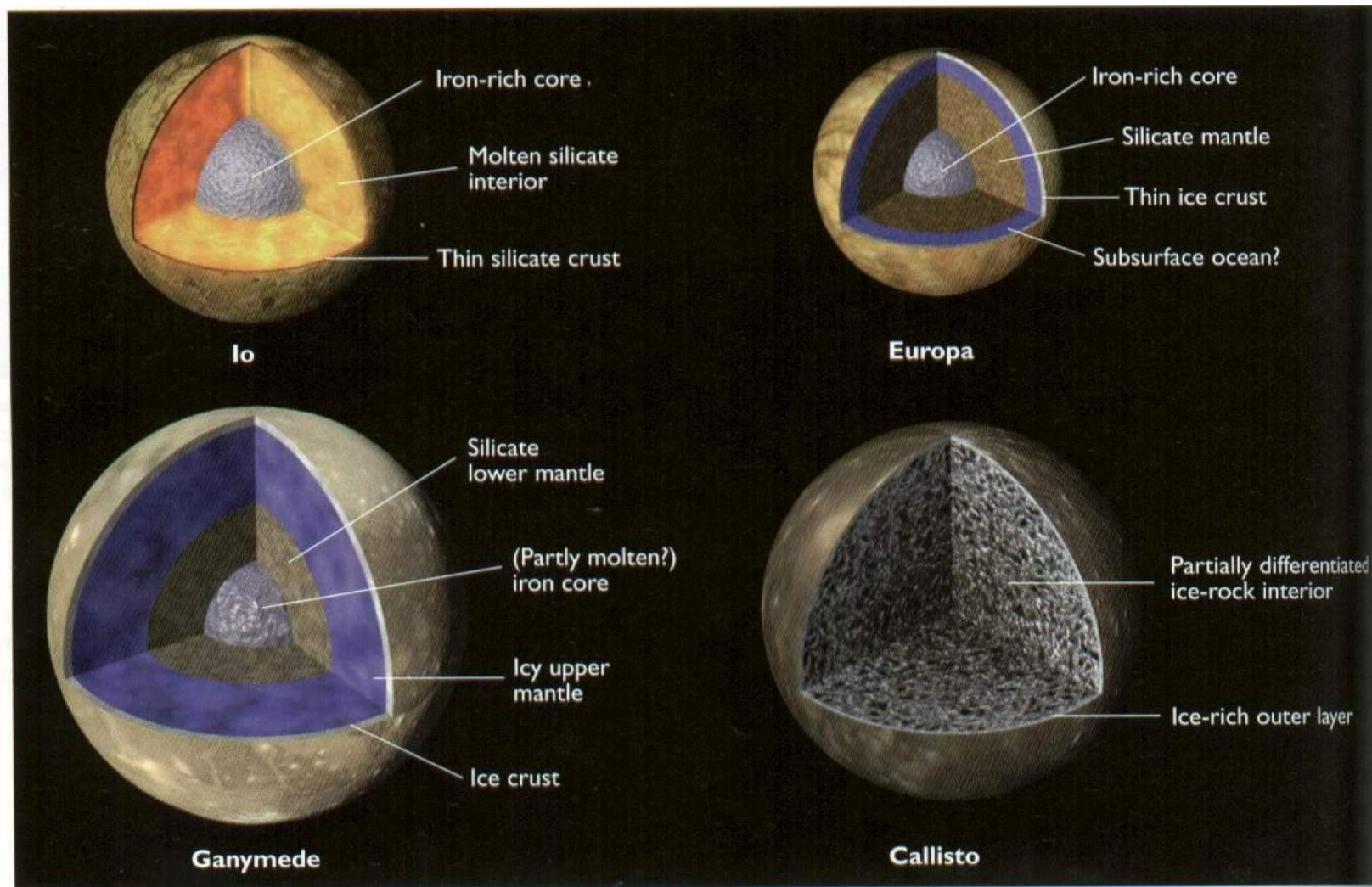
(1) decaimiento radioactivo de los radioisótopos contenidos en los minerales.

(2) Calor primordial proveniente de la acreción del material. Energía potencial del material:

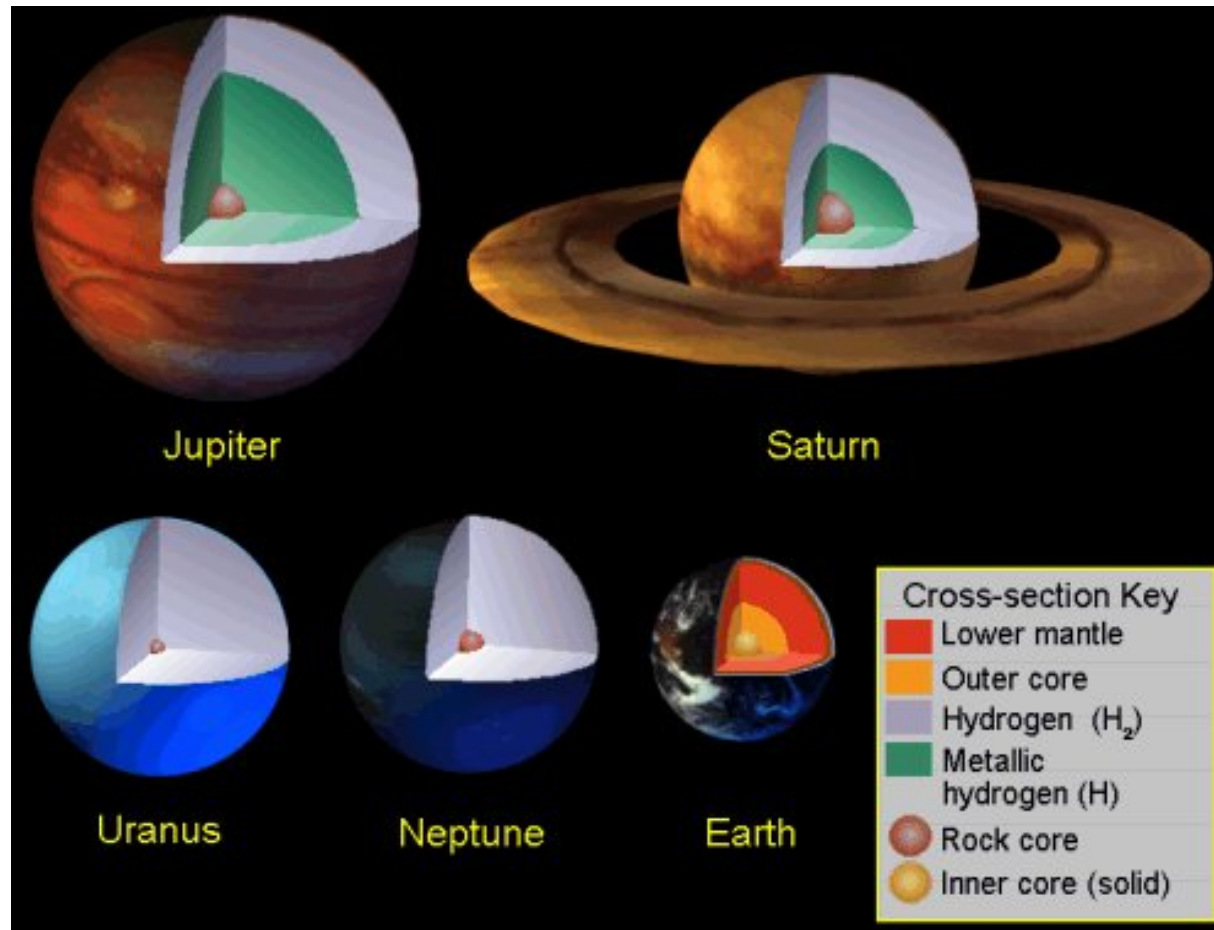
$$E_P \sim G \frac{M^2}{R}$$

la cual se transforma en energía cinética (aceleración de las partículas al confluir hacia el centro) y, finalmente, en calor disipado en colisiones mutuas.

Interiores de objetos ricos en hielos: caso de los satélites galileanos de Júpiter

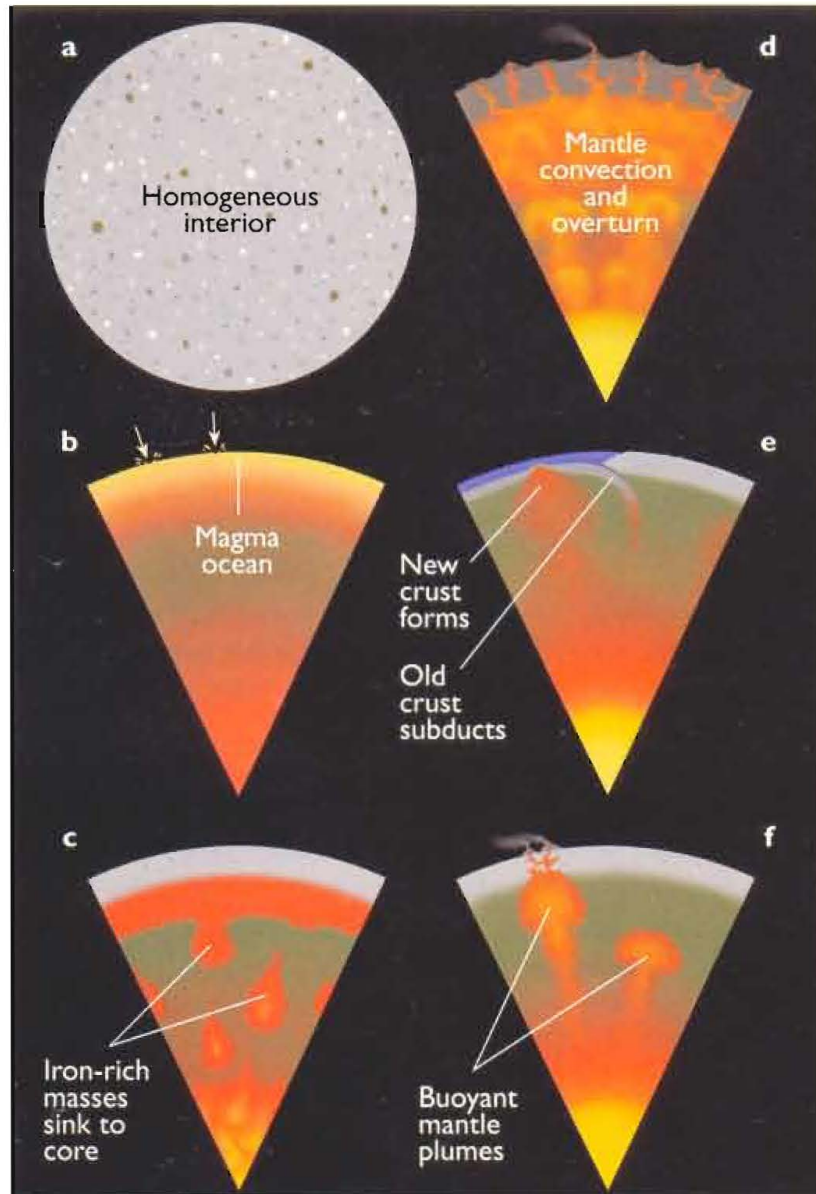


Interiores de los planetas jovianos



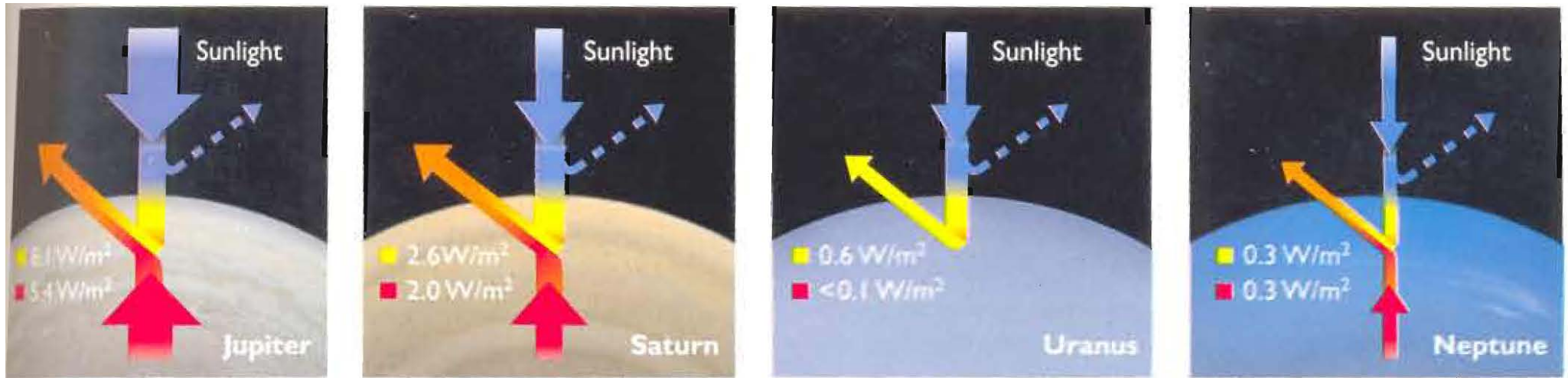
* El hidrógeno en el interior de los planetas más masivos, Júpiter y Saturno, se convierte en una variedad sólida conductora, debido a las altas presiones allí reinantes, que se denomina hidrógeno metálico.

Proceso de diferenciación interior de un planeta



a) Interior inicial homogéneo.
b) La energía cinética impartida por los impactos derrite el material y provoca la segregación del más denso hacia el núcleo. La corteza es el material más liviano que, como una escoria, queda flotando sobre el manto. c) El decaimiento de isótopos radioactivos mantiene el manto parcialmente derretido (magma): el más liviano asciende hacia la superficie provocando derrames de lava y volcanes.

Fuentes internas de calor



Júpiter emite casi el doble de radiación térmica proveniente de su interior que la luz que es reflejada por el Sol.

* Mecanismo de Kelvin-Helmholz: Lenta contracción de los planetas en su fase final y migración de los materiales más densos hacia el centro. Energía gravitacional \Rightarrow Energía térmica:

$$\Delta E \sim -\frac{GM^2}{R^2} \Delta R$$

Capacidad de un planeta de retener gases

De acuerdo a la teoría cinética de los gases, la velocidad cuadrática media de las moléculas gaseosas de masa μ está dada por:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{\mu}}$$

Por otro lado, la velocidad de escape de un planeta es:

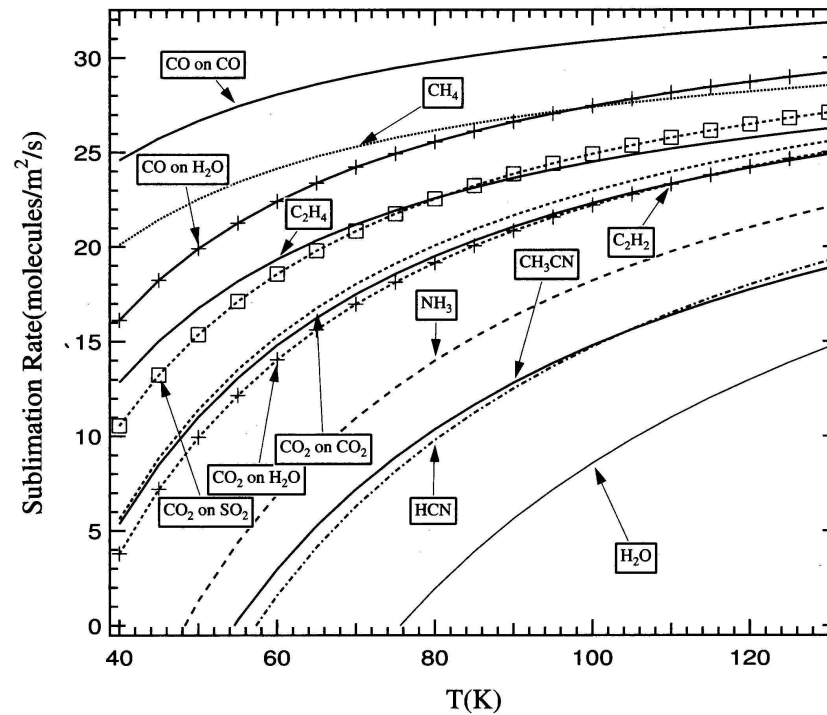
$$v_e = \sqrt{\frac{2GM_P}{R_P}}$$

Es obvio que la condición mínima para que el planeta retenga las moléculas gaseosas es que $\bar{v} < v_e$. De esta desigualdad, obtenemos la condición de que la masa del planeta M_P debe ser mayor que:

$$M_P > \left(\frac{2}{4\pi\rho_P}\right)^{1/2} \left(\frac{3k}{2G}\right)^{3/2} \left(\frac{T}{\mu}\right)^{3/2}$$

donde ρ_P es la densidad media del planeta: $M_P = 4/3\pi R_P^3\rho_P$.

* También hay que tener en cuenta qué sustancias se encuentran en estado gaseoso a una cierta temperatura



* En realidad, las moléculas gaseosas escapan desde la *exósfera*, que es la capa más externa de la atmósfera donde la trayectoria libre media de las moléculas es mayor que las dimensiones del planeta. Debido a que las moléculas gaseosas no tienen todas la misma velocidad \bar{v} , sino una distribución de velocidades maxwelliana, siempre habrá moléculas con velocidades mayores que la de escape del planeta.

Componentes principales de algunas atmósferas

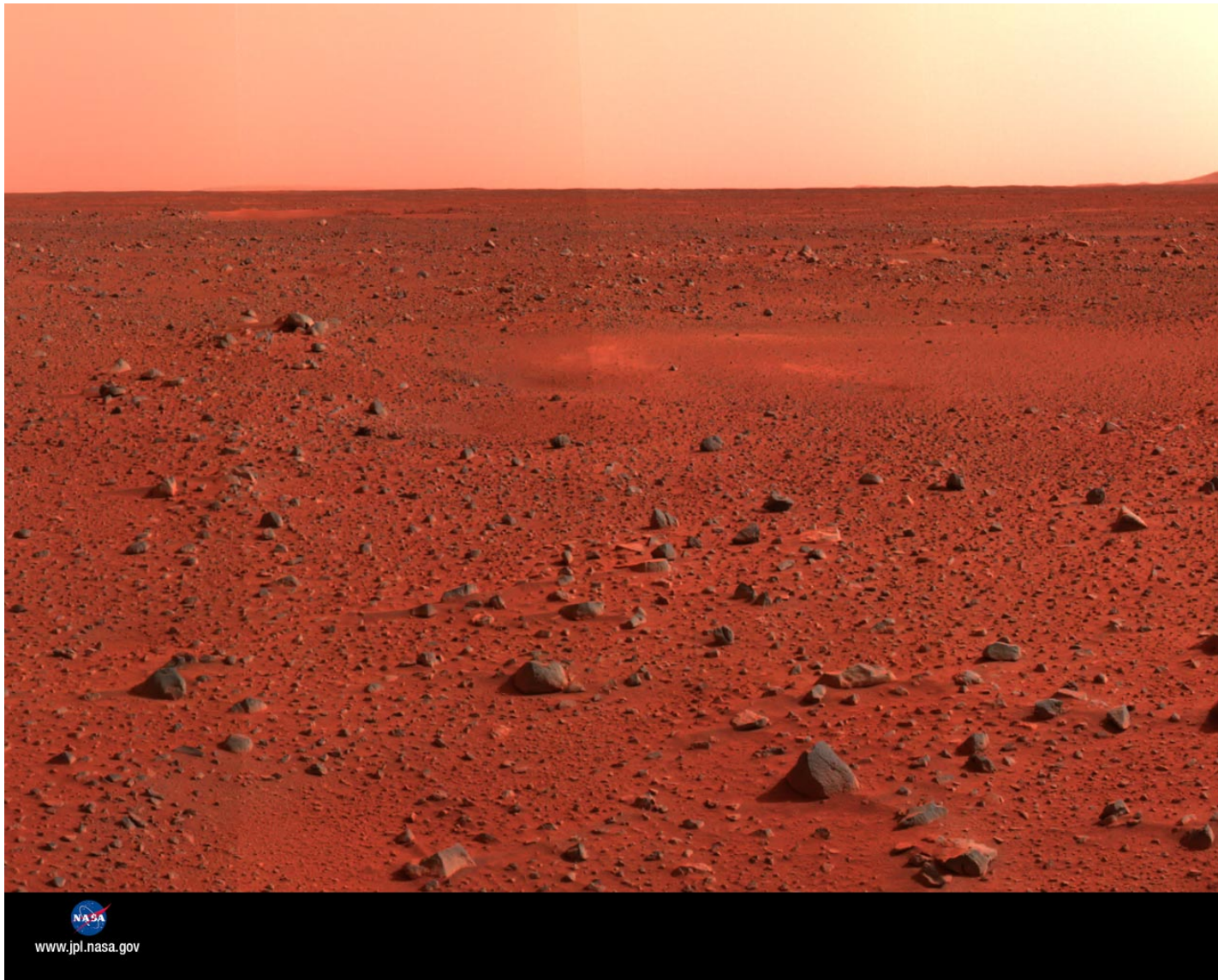
Atmospheric Compositions Compared			
<i>Planet</i>	<i>Molecule</i>	<i>Abundance (bars)</i>	<i>Fraction of total</i>
Venus	CO ₂	86.4	0.96
	N ₂	3.2	0.035
	Ar	0.0063	0.000070
	H ₂ O	0.009	0.000100
Earth	N ₂	0.78	0.77
	O ₂	0.21	0.21
	H ₂ O	0.01	0.01
	Ar	0.94	0.0093
	CO ₂	0.000355	0.00035
Mars	CO ₂	0.0062	0.95
	N ₂	0.00018	0.027
	Ar	0.00010	0.016
	H ₂ O	3.9×10^{-7}	0.00006

Distintos tipos de atmósferas planetarias

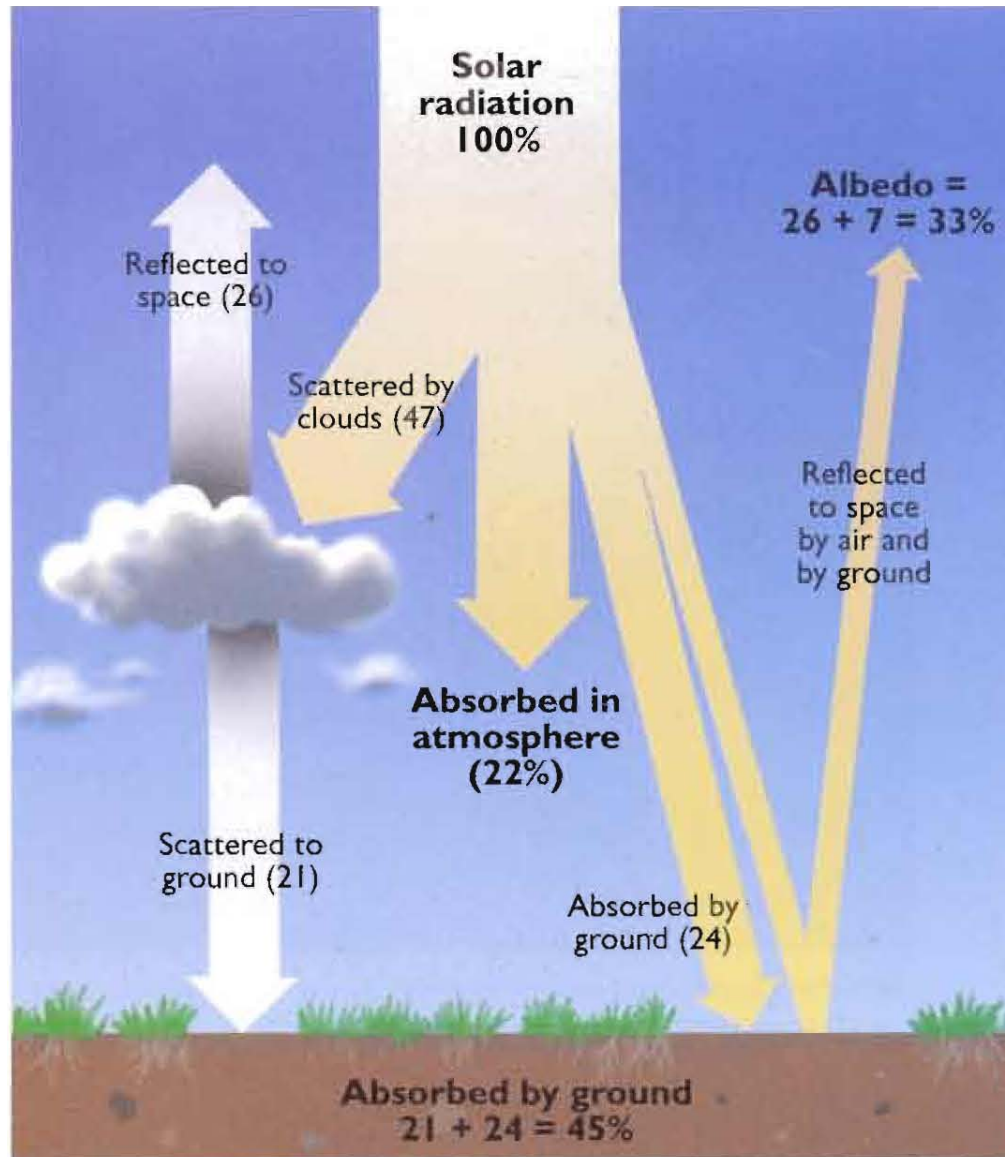


Paisajes planetarios de Mercurio, Venus, Tierra y Marte con sus diferentes atmósferas.

Visión desde la superficie marciana



Distribución de la energía solar incidente



Condiciones físicas de las atmósferas

Equilibrio hidrostático: $dP = -g\rho dh$ (1)

h : altura sobre el nivel del mar; g : aceleración de la gravedad.

Ecuación de estado de un gas ideal: $P = \rho \frac{kT}{\mu}$ (2)

μ : masa de las moléculas gaseosas.

Si asumimos ρ , g y T constantes, podemos hallar la altura de escala H de la atmósfera. De las ecuaciones (1) y (2) obtenemos:

$$P = +g\rho H \quad \Longrightarrow \quad H = \frac{kT}{\mu g}$$

Ejemplo para la atmósfera terrestre: Altura de escala del H_2O ($\mu = 18 \times 1,67 \times 10^{-24}$ g), asumiendo una temperatura $T = 270$ K
 $\Longrightarrow H = 12,6$ km.

Disminución de la densidad con la altura

Si diferenciamos la ecuación de estado de los gases ideales obtenemos:

$$dP = \frac{kT}{\mu} d\rho$$

Combinando esta ecuación con la de equilibrio hidrostático nos queda:

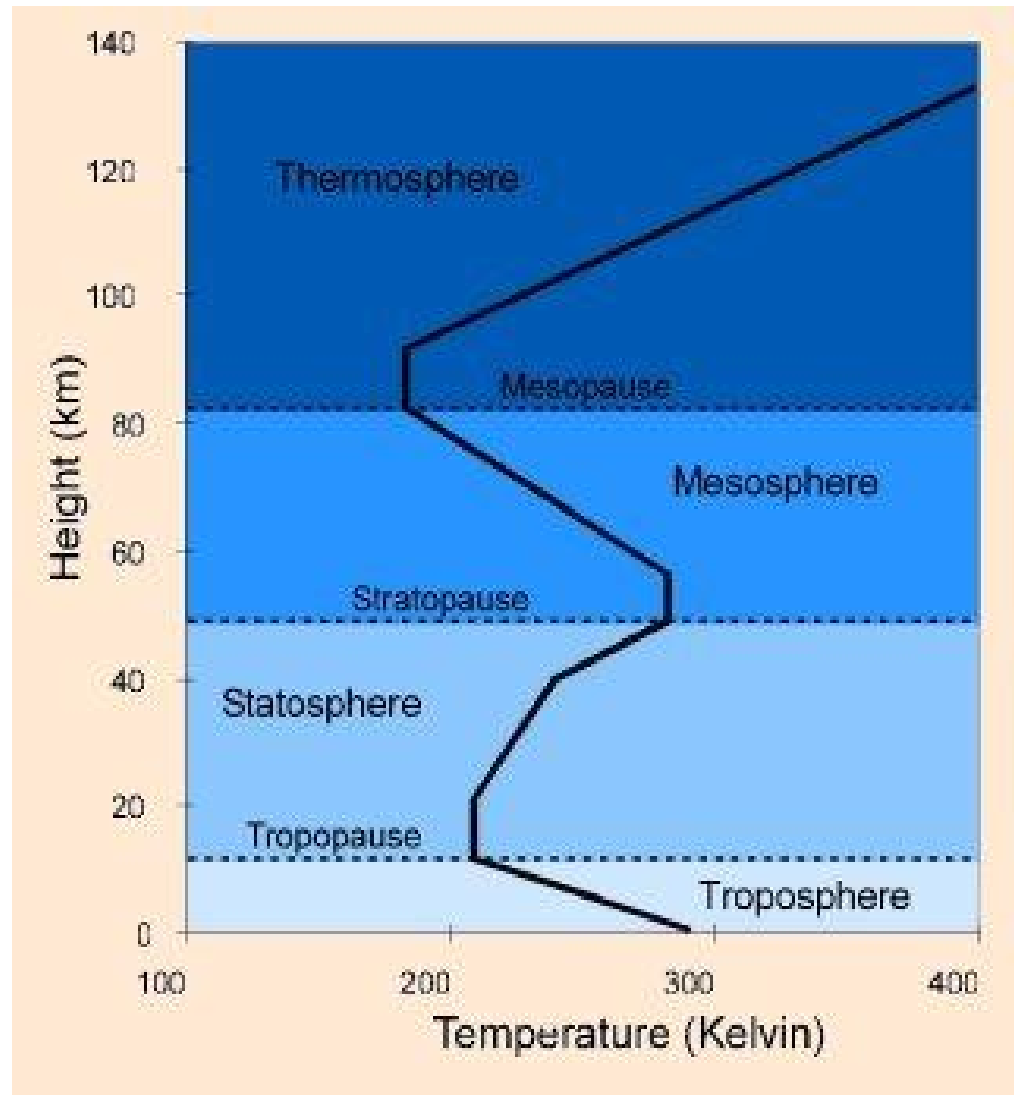
$$-g\rho dh = \frac{kT}{\mu} d\rho$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{\mu g}{kT} dh = -\frac{dh}{H}$$

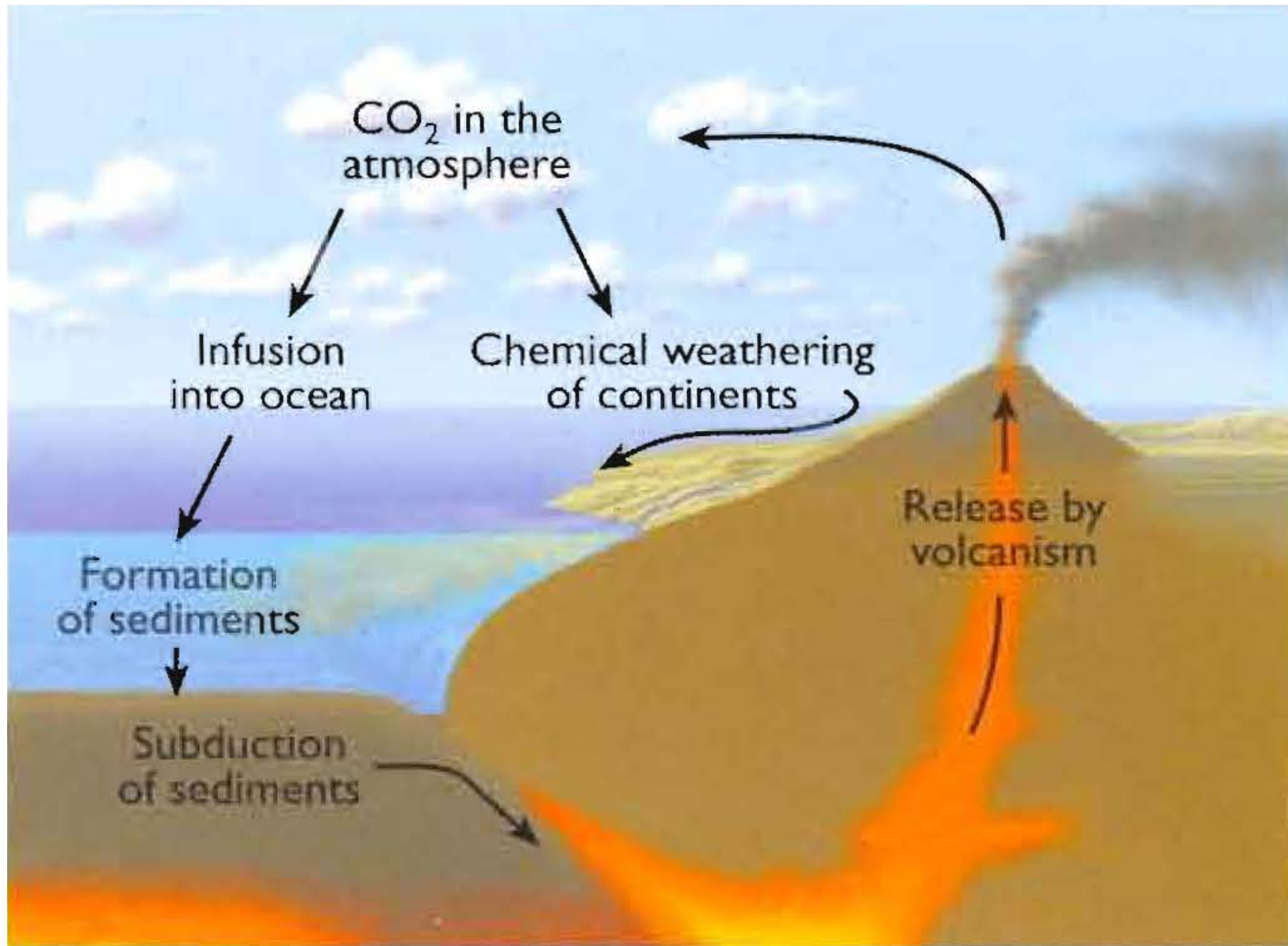
$$\int_{\rho_o}^{\rho} \frac{d\rho}{\rho} = - \int_0^h \frac{dh}{H}$$

$$\ln \frac{\rho}{\rho_o} = -\frac{h}{H} \quad \implies \quad \rho = \rho_o e^{-h/H}$$

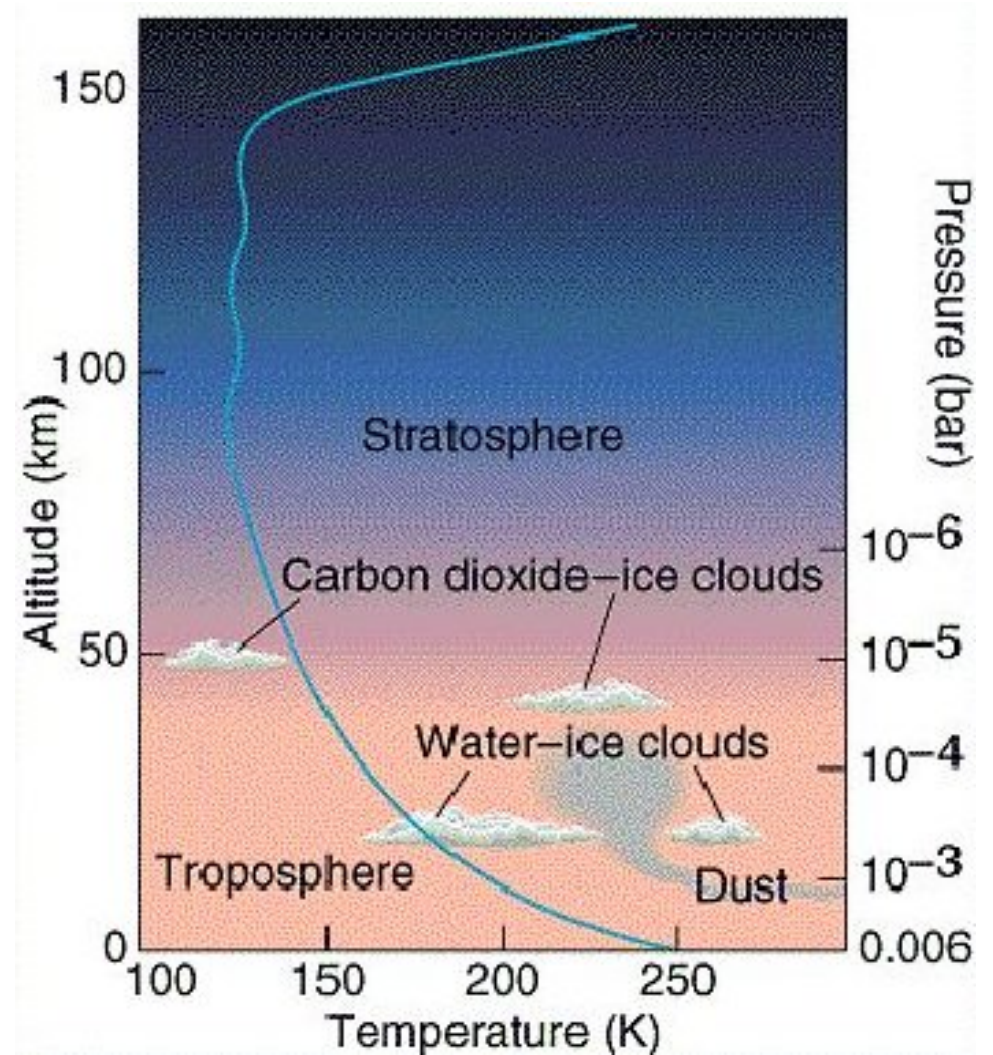
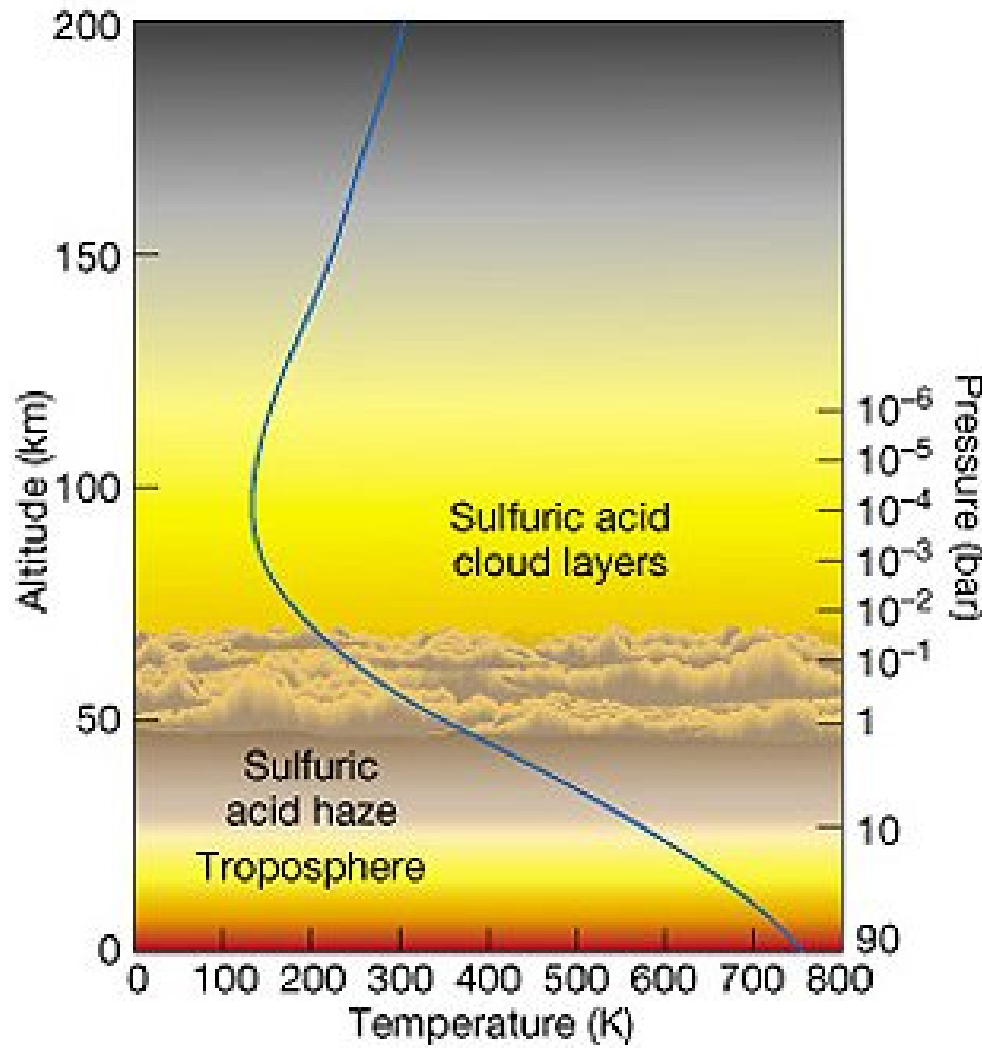
Caso de la atmósfera de la Tierra: perfil de temperaturas



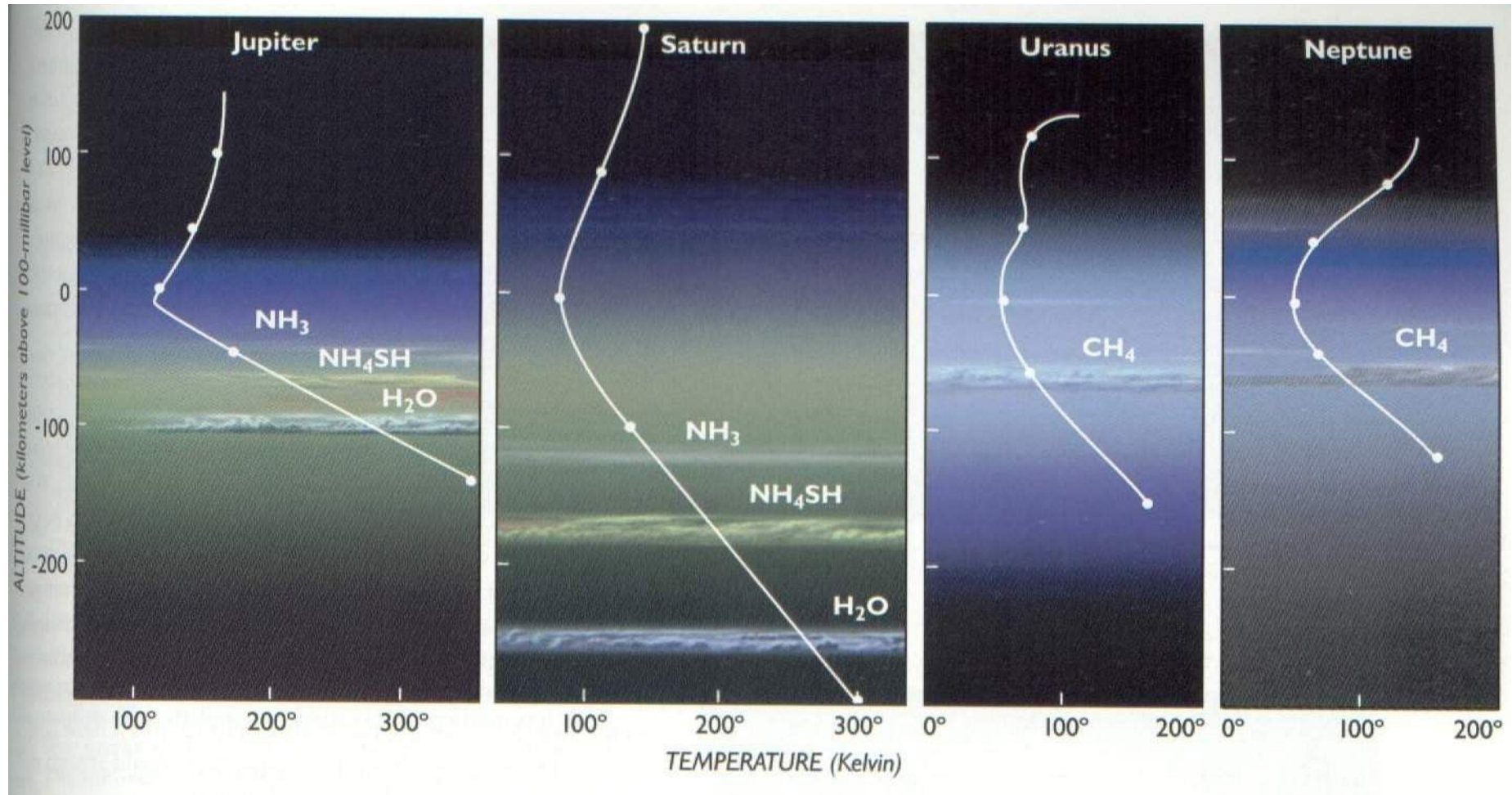
Reciclado de gases entre la atmósfera y la corteza



Atmósferas de Venus y Marte: perfiles de temperaturas y presiones

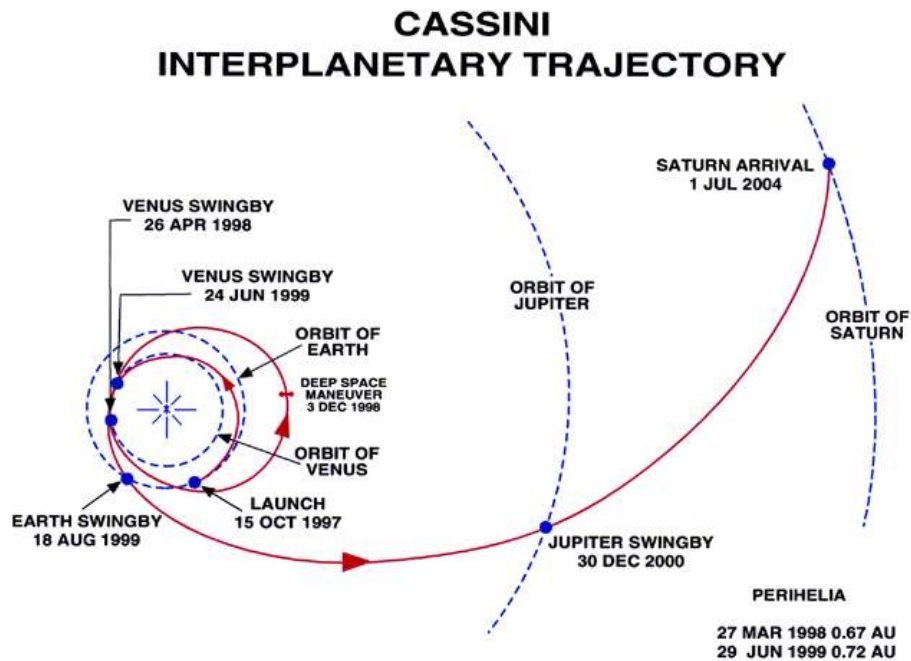


Perfiles de temperaturas de los planetas jovianos

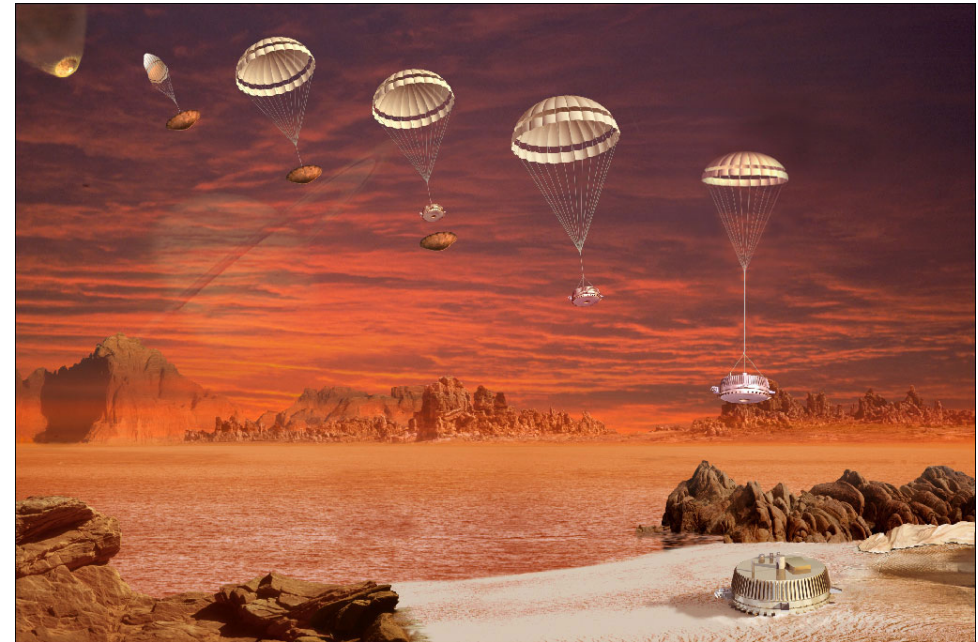


Titán: La misión Cassini-Huygens

- * Composición de la atmósfera (tropósfera): N_2 (95%), CH_4 (4,9%), trazas de otros hidrocarburos, p.ej. etano, propano, acetileno, y otros gases como el cianuro de hidrógeno (HCN), cianoacetileno, etc.
- * Presión superficial: 1,45 atm.

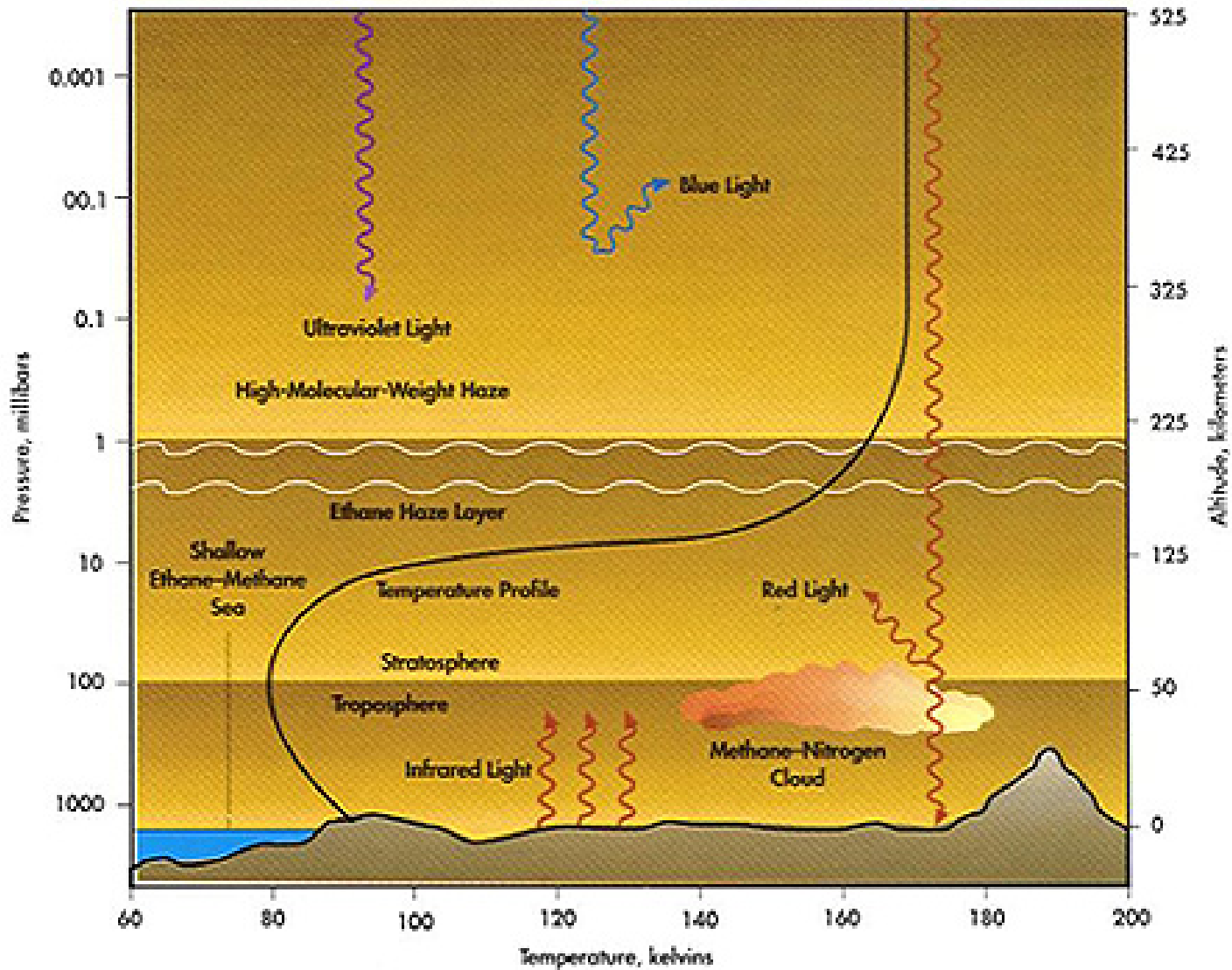


Trayectoria de la nave Cassini-Huygens.

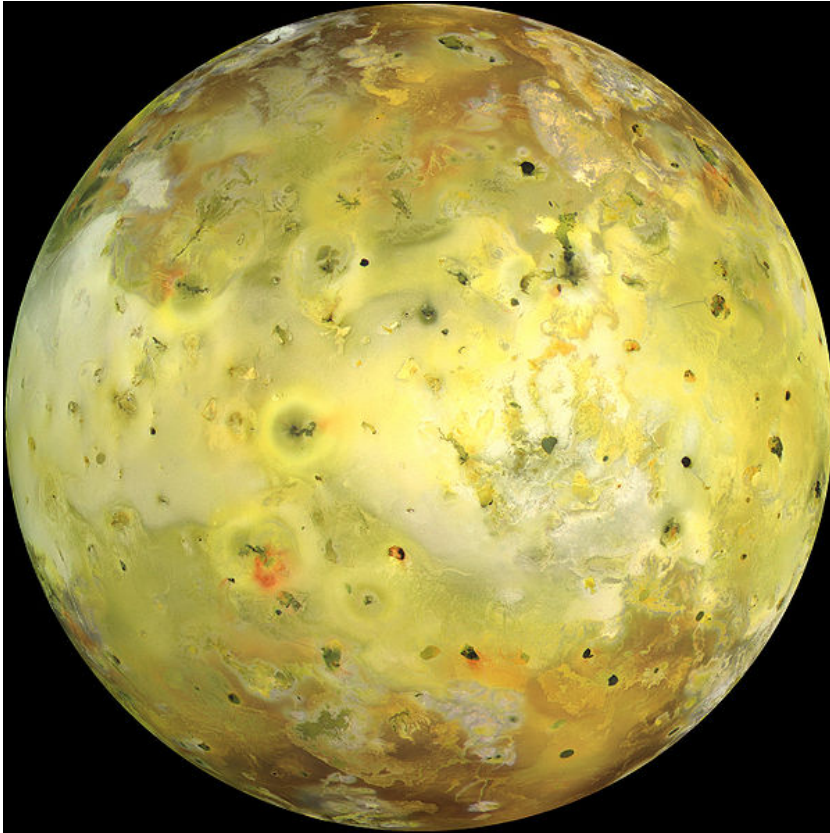


Maniobra de descenso del módulo Huygens en la superficie de Titán.

La atmósfera de Titán: perfil de temperaturas y presiones



Cuerpos con atmósferas tenues: Casos de Io, Tritón y Plutón



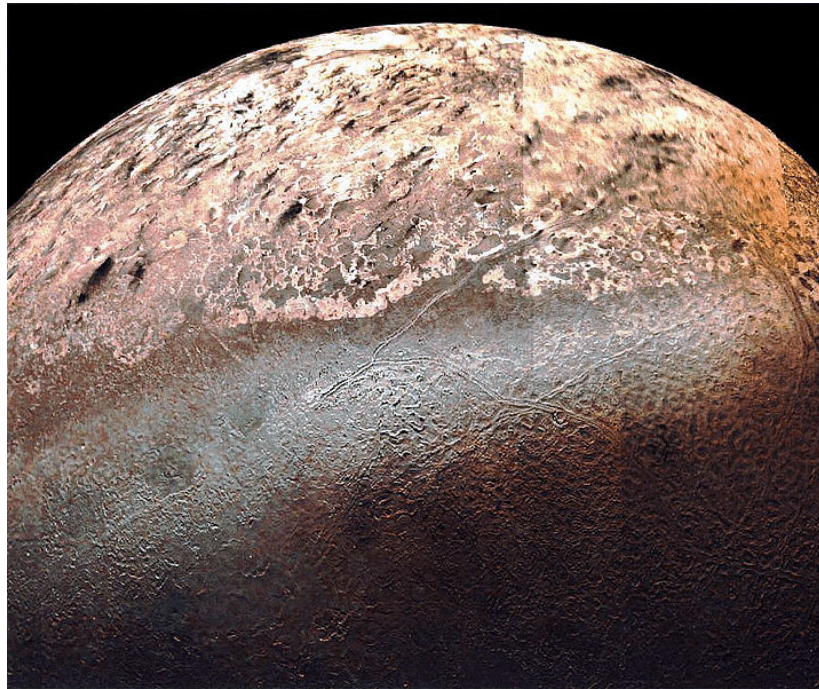
Superficie de Io reciclada.
Se observa el volcán activo
Prometeo (disco oscuro a la
izquierda del centro).

Composición:
dióxido de azufre (SO_2),
monóxido de azufre (SO),
cloruro de sodio (NaCl)

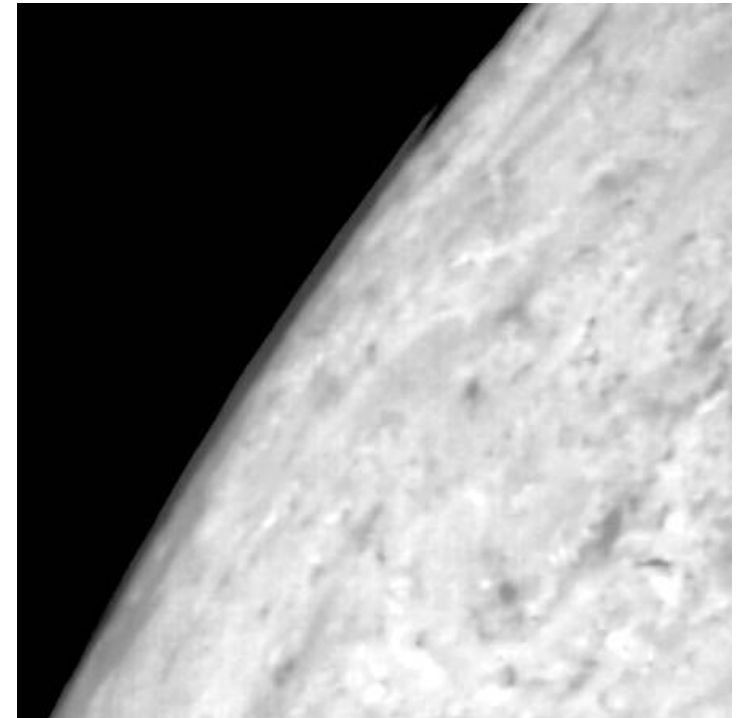
Presión superficial:
 $0,3 - 3 \times 10^{-9}$ atm., hasta
 40×10^{-9} atm. cerca de
plumas volcánicas.

La tenue atmósfera de Tritón

- * Composición: nitrógeno (N_2), trazas de metano (CH_4)
- * Presión superficial: $1,4 \times 10^{-5}$ atm.
- * Tritón es geológicamente activo: muestra geysers potenciados por la débil radiación solar que vaporiza el nitrógeno sólido del subsuelo.



Zona polar de Tritón mostrando una escarcha de nitrógeno congelado altamente reflector. (albedo = 0,76). Radio = 1353 km



Nubes tenues asoman sobre el horizonte de Tritón.

El caso de Plutón

- * Composición: nitrógeno (N_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO).
- * Presión superficial: $6,5 - 24 \times 10^{-6}$ atm.



El alto albedo de Plutón (0,49-0,66) también sugiere una atmósfera tenue que condensa formando una escarcha altamente reflectora.

EJERCICIO 12

Consideremos la distribución vertical de las densidades de dos gases de la atmósfera terrestre: CO_2 con una masa molecular $\mu_{\text{CO}_2} = 44 \times 1,67 \times 10^{-24}$ g y H_2O con una masa molecular $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \times 1,67 \times 10^{-24}$ g. Calcule cómo caen sus densidades a alturas de 10 km y 20 km, y de aquí deduzca cual de los dos gases está más concentrado hacia la superficie.

Datos: asumimos una temperatura uniforme $T = 270$ K, $g = 980$ cm/s², $k = 1,38 \times 10^{-16}$ erg/K