



LA TIERRA, NUESTRO HOGAR EN EL COSMOS



JAVIER BUSSONS GORDO
Departamento de Física
Universidad de Murcia

1. DE LA MITOLOGÍA A LA CIENCIA

ELEMENTOS COMUNES A LAS COSMOGONÍAS ANTIGUAS

- la Tierra (territorio o ciudad dominante) como centro del universo
- el papel de su pueblo es muy importante
- se ignora la causa de los fenómenos naturales (caprichos de los dioses)
- caos (vacío, abismo) precede al acto de creación
- agua (también fuego, aire) como elemento básico
- escisión o división de un todo en dos partes
- división social

- **TEOGONÍA** de Hesíodo (s VIII a.e.)
“En el principio había un vacío informe llamado caos. De esta oscuridad emergió Nyx, el pájaro negro (diosa de la noche), que puso un huevo dorado del que nació Eros (dios del amor). La cáscara del huevo se rompió en dos: una parte se elevó, convirtiéndose en el cielo, al que Eros llamó Urano; la otra formó la Tierra, llamada Gaia”.



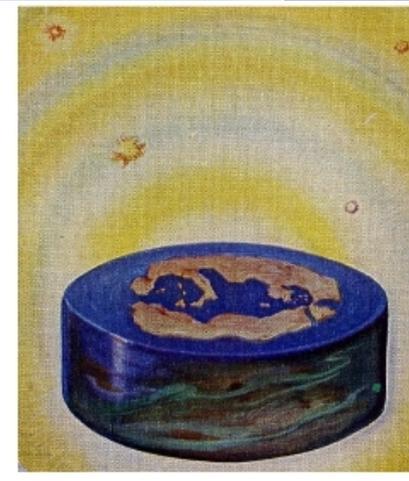
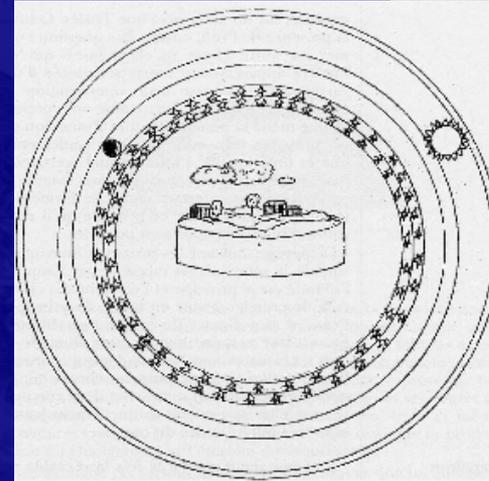
COSMOGONÍAS GRIEGAS

Tales: la Tierra es un disco que flota sobre aguas primordiales

Anaximandro: los astros son aperturas en ruedas llenas de fuego y el Sol es el más lejano

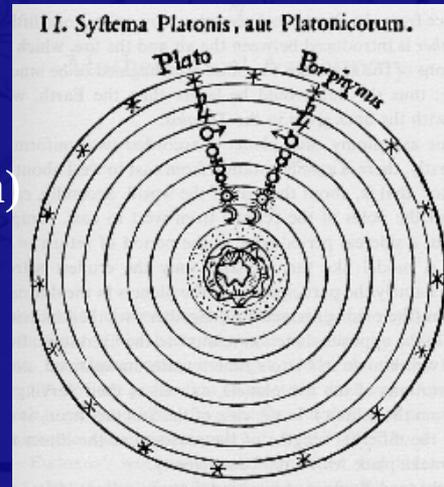
Anaxímenes: la Tierra flota en el aire y los astros se mueven alrededor de ella; el Sol y la Luna son fuego

Heráclito: astros en tazas que, al darse la vuelta, los ocultan



Pitagóricos (s VI a ne): universo geométrico (esferas, fuego invisible de Hestia; siete planetas (L, S, V, Me, Ma, J, Sa))

Platónicos (s V a ne): movtos circulares uniformes; **esferas** (Tierra, agua, aire, éter, fuego, planetas, estrellas fijas)



ASTRONOMÍA GRIEGA

Desarrollo de la geometría (**Euclides**)

Aristarco de Samos

distancia al Sol en distancias lunares

Eratóstenes de Cirene

- tamaño de la Tierra y oblicuidad de la eclíptica

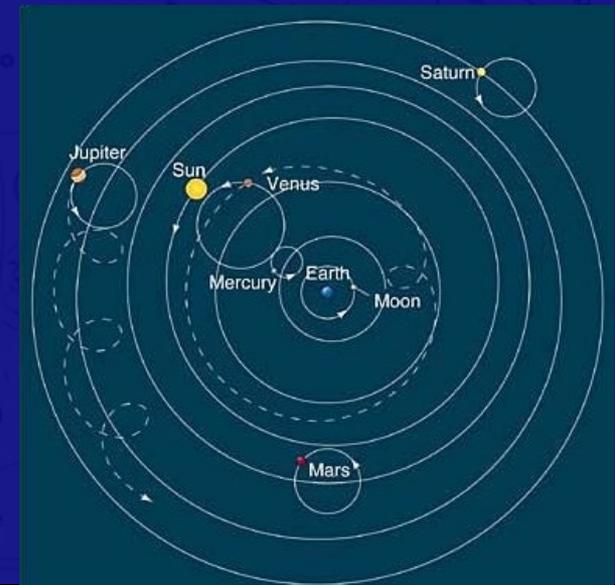
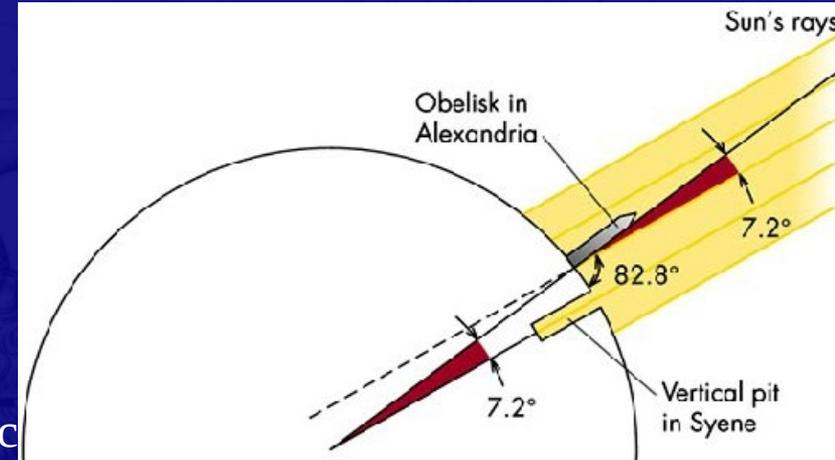
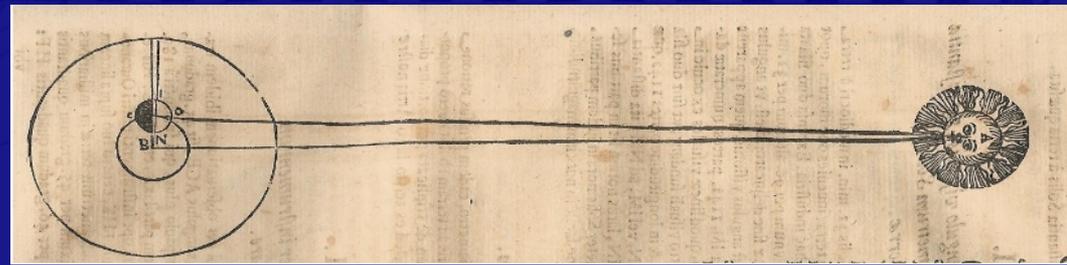
Hiparco de Nicea

- adoptó astro babil. y num. sexagesimal
- círculo de 360° , mes lunar de 29,530594 días
- períodos orbitales y sus razones
- cálculo aritmético de efemérides, ciencia predictiva

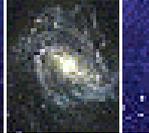
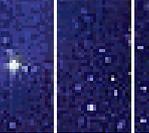
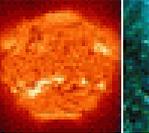
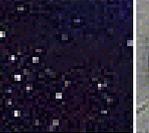
Trabajos: eclipses lunares desde s VIII a.e., posiciones planetarias desde babil., trigonometría, modelo excéntrico de Luna y Sol, distancia a la Luna (60 Rt) y al Sol (590 Rt), predicción de eclipses de sol y luna, oblicuidad de la eclíptica, catálogo de 800 estrellas (posición y magnitud), duración del año trópico (365,247 d) y de las estaciones, descubrimiento de la precesión de los equinoccios

Claudio Ptolomeo

Astronomía (y astrología) compendiada en Almagesto



EL CALENDARIO CÓSMICO

January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November
										

New Year's Day: The Big Bang

Milly Way forms

Sun and planets form

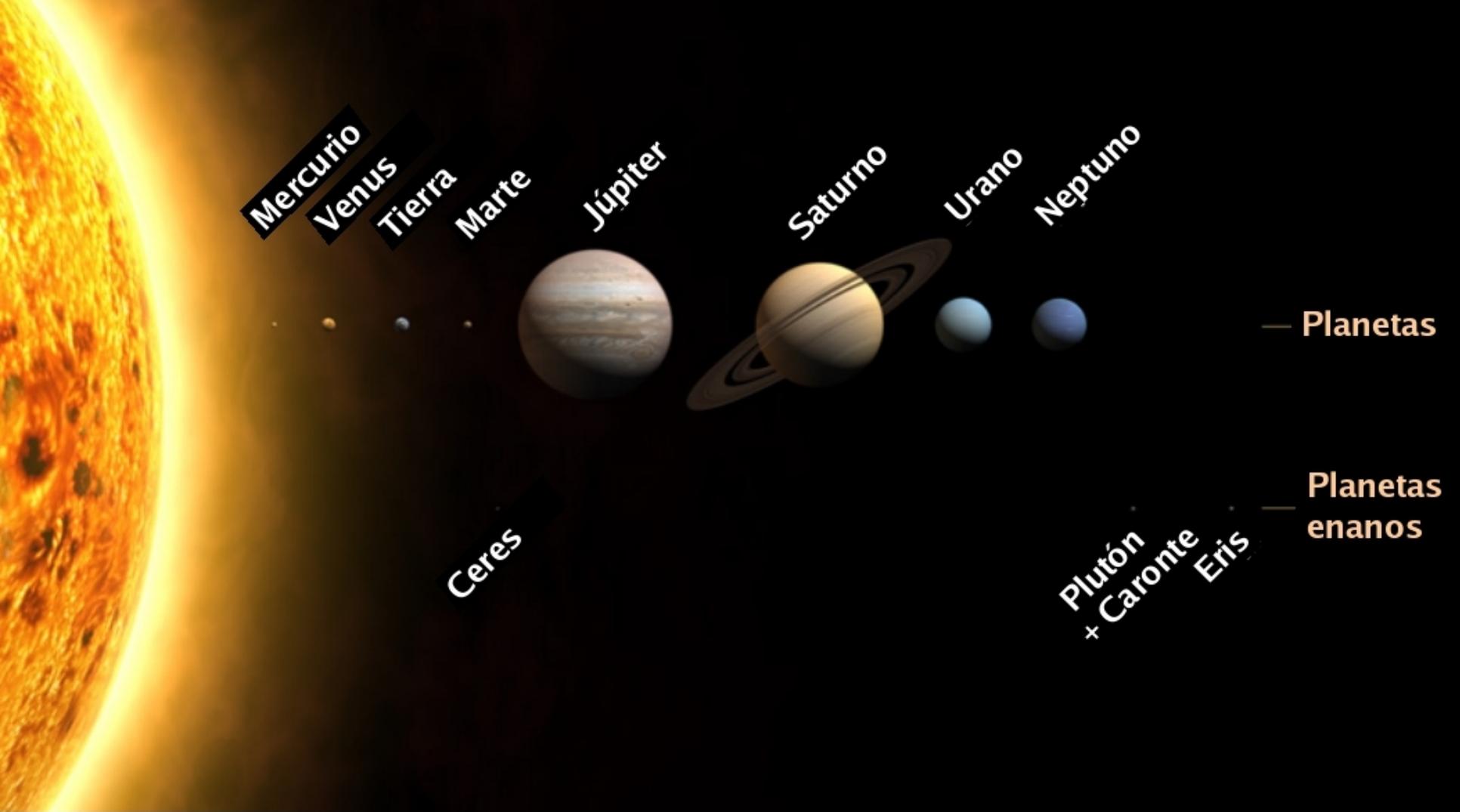
Oldest known life (single celled).

First multi-cellular organisms

sexo

December

1 O2 en atm	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15 Cambrian Explosion (burst of new life forms)	16	17 Emergence of first vertebrates	18 Early land plants	19	20 First four-limbed animals	21 Variety of insects begin to flourish
22	23	24 First dinosaurs appear	25 First mammalian ancestors appear	26	27 First known birds	28
29 Dinosaurs wiped out by asteroid or comet	30	31 10:15am Apes appear 9:24pm First human ancestors to walk upright 10:48pm Homo erectus appears 11:54pm Anatomically modern humans appear 11:59:45pm Invention of writing 11:59:50pm Pyramids built in Egypt 1 second before midnight: Voyage of Christopher Columbus				

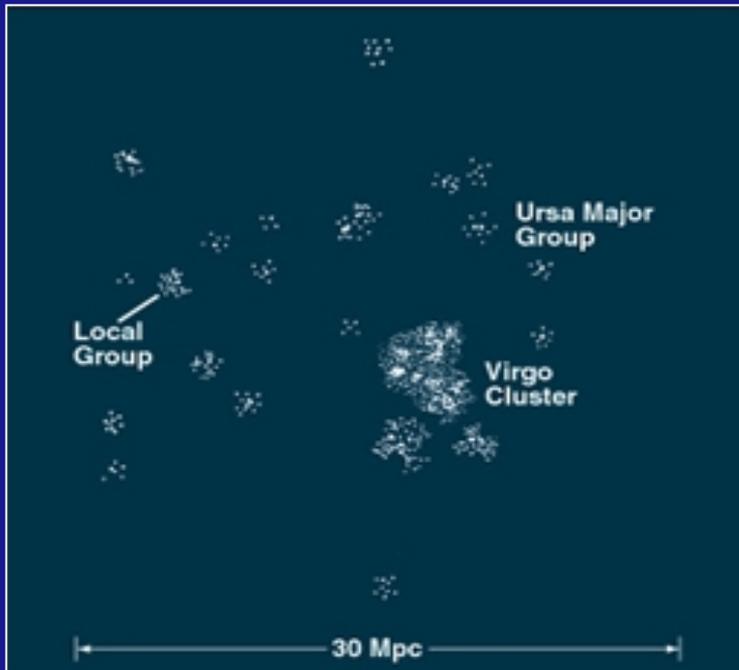
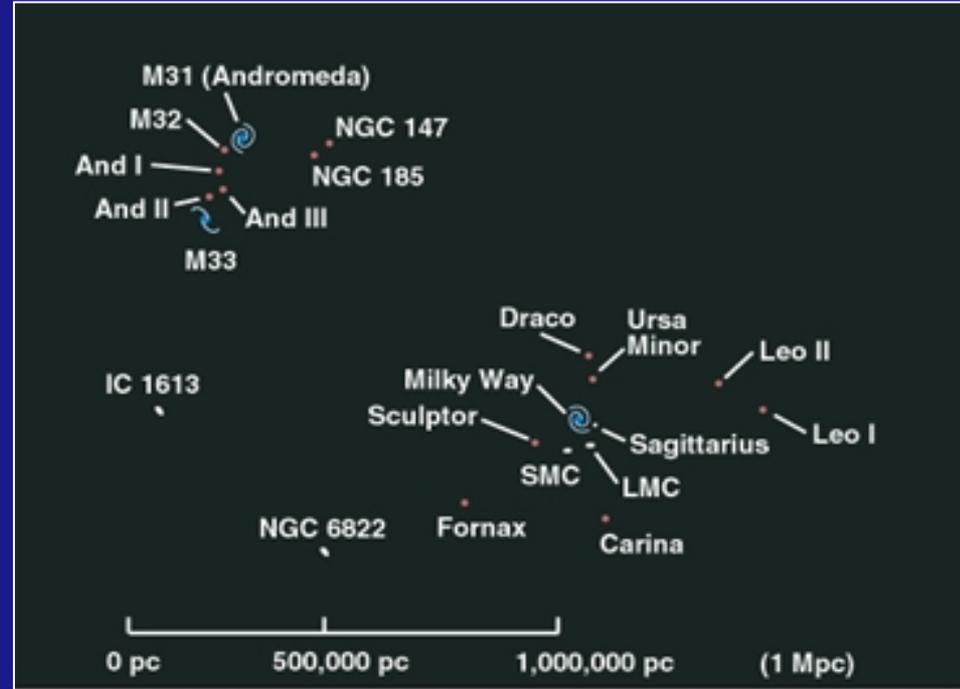


3. ESPACIO: NUESTRO LUGAR EN EL COSMOS

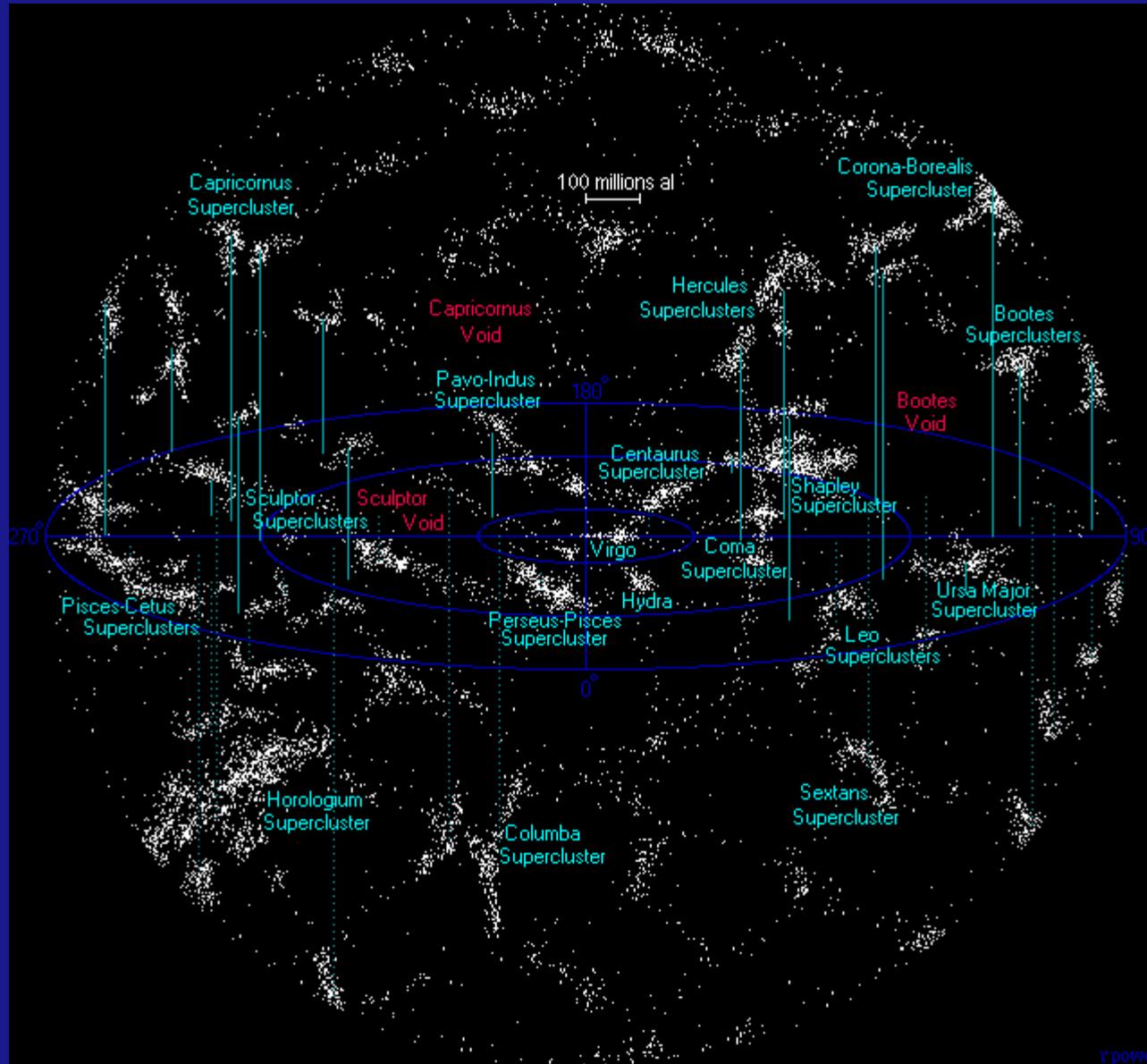
GRUPO LOCAL DE GALAXIAS

Nuestra dirección en el Universo:

- Universidad de Murcia
- Región de Murcia, España, Europa
- Planeta Tierra
- Sistema Solar
- Galaxia “Vía Láctea”
- Grupo (o cúmulo) Local (de galaxias)
- Supercúmulo Local (de Virgo)



SUPERCÚMULO LOCAL DE GALAXIAS



[Videos: grupo local y Monty Python]

4. LA FORMACIÓN DE LA TIERRA

- Nuestra galaxia (**Vía Láctea**) se formó dentro de estructuras superiores (supercúmulos, cúmulos y grupos de galaxias) a partir de inhomogeneidades en la distribución de materia existente cientos de millones de años tras el Big Bang.
- El **Sistema Solar** se formó a partir de una nebulosa enriquecida dentro de nuestra galaxia (el Sol es estrella de segunda generación) hace más de 4500 millones de años:
 - Giro+colisiones=achatamiento con proto-Sol en centro
 - Agregación de gas+polvo en planetesimales que crecen
 - Interior (caliente): planetas rocosos que no pueden retener gas
 - Exterior (frío): planetas gaseosos y masivos
 - Cuando Sol se enciende, limpia restos de gas en planetas interiores
- La **Tierra** sufre muchos impactos de asteroides en primeras fases. Su paulatino enfriamiento y consiguiente decantación de materiales determinan su estructura interna: núcleo, manto, corteza
- Formación de la **Luna** (hipótesis)

[Video: nebulosa protosolar]

Características orbitales

Semieje mayor (a)	149 597 887.5 km
Semieje menor (b)	149 576 999.826 km
Perihelio	0,983 UA
Afelio	1,017 UA
Excentricidad (e)	0,0167
Periodo orbital	365,2564 días
Máxima velocidad orbital	30,287 km/s
Velocidad angular de la Tierra	$7,27 \times 10^{-5}$ rad/s
Satélite	1 (Luna)

Características físicas

Diámetro ecuatorial	12.756,28 km						
Diámetro polar	12.713,50 km						
Diámetro medio	12.742,00 km						
Superficie	510.065.284,702 km ²						
Volumen	$1,0832073 \times 10^{12}$ km ³						
Masa	$5,974 \times 10^{24}$ kg						
Densidad media	5,515 g/cm ³						
Gravedad superficial	9,78 m/s ²						
Velocidad de escape	11,186 km/s						
Periodo de rotación	23,9345 horas						
Inclinación axial	23,45 °						
Albedo	31-32%						
Temperatura superficial	<table><thead><tr><th>min</th><th>media</th><th>max</th></tr></thead><tbody><tr><td>182 K</td><td>282 K</td><td>333 K</td></tr></tbody></table>	min	media	max	182 K	282 K	333 K
min	media	max					
182 K	282 K	333 K					
Presión atmosférica	101.325 Pa						

PARÁMETROS RESULTANTES

Distinta duración de las estaciones

Definición de año (calendarios solares y lunares)

Aesfericidad: par de fuerzas solar produce precesión

Gravedad: retención de atmósfera, agua líquida

Definición de día y horario civil

Estaciones, latitud y clima

Balance radiativo y efecto invernadero

COMPARACIÓN CON OTROS PLANETAS

Planetas	Radio ecuatorial	Distancia al Sol (km.)	Lunas	Periodo de Rotación	Órbita	Inclinación del eje	Inclinación orbital
Mercurio	2.440 km.	57.910.000	0	58,6 días	87,97 días	0,00 °	7,00 °
Venus	6.052 km.	108.200.000	0	-243 días	224,7 días	177,36 °	3,39 °
La Tierra	6.378 km.	149.600.000	1	23,93 horas	365,256 días	23,45 °	0,00 °
Marte	3.397 km.	227.940.000	2	24,62 horas	686,98 días	25,19 °	1,85 °
Júpiter	71.492 km.	778.330.000	16	9,84 horas	11,86 años	3,13 °	1,31 °
Saturno	60.268 km.	1.429.400.000	18 *	10,23 horas	29,46 años	25,33 °	2,49 °
Urano	25.559 km.	2.870.990.000	15	17,9 horas	84,01 años	97,86 °	0,77 °
Neptuno	24.746 km.	4.504.300.000	8	16,11 horas	164,8 años	28,31 °	1,77 °
Plutón	1.160 km.	5.913.520.000	1	-6,39 días	248,54 años	122,72 °	17,15 °

Zona habitable: hace 3800 M años Marte estaba dentro

Datos físicos

Planeta	Tamaño					
	radio ecuatorial en R_{\oplus}	diámetro ecuatorial en km	diámetro polar en km	achatamiento, f	tamaño angular a 1 UA	volumen Tierra=1 ($\approx 10^{12} \text{ km}^3$)
Mercurio	0,383	4879,4	= ecuatorial	~ 0	6''73	0,0562
Venus	0,949	12 103,6	= ecuatorial	~ 0	16''69	0,8571
Tierra	1,000	12 756,3	12 713,5	0,003 3528	17''59	1,0000
Marte	0,532	6 792,4	6 752,4	0,005 8860	9''37	0,1506
Júpiter	11,209	142 984	133 708	0,064 8744	197''15	1321
Saturno	9,449	120 536	108 728	0,097 9624	166''19	764
Urano	4,007	51 118	49 946	0,022 9273	70''48	63
Neptuno	3,883	49 528	48 682	0,0171	68''29	58

El achatamiento se define como: $f = 1 - D_{\text{polar}}/D_{\text{ecuatorial}}$.

Planeta	Masa			
	masa, M_p (M_{\oplus})	densidad media (g cm^{-3})	gravedad superficial, ecu. (m s^{-2})	constante gravit., GM_p ($10^{15} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$)
Mercurio	0,0553	5,43	3,70	0,022 032
Venus	0,8150	5,24	8,87	0,324 857
Tierra	1,0000	5,52	9,80	0,398 600
Marte	0,1074	3,93	3,71	0,042 828
Júpiter	317,83	1,33	23,12	126,686
Saturno	95,16	0,69	8,96	37,931
Urano	14,54	1,27	8,69	5,794 559
Neptuno	17,15	1,64	11,00	6,835

Planeta	Parámetros dinámicos			
	momento de inercia ($UM_p R_p^2$)	J_2 (10^{-6})	velocidad de escape ecuatorial (km s^{-1})	aceleración centrífuga ecuatorial (m s^{-2})
Mercurio	0,33	60	4,3	$9,50 \cdot 10^{-8}$
Venus	0,33	4,458	10,36	$1,37 \cdot 10^{-8}$
Tierra	0,3308	1082,63	11,186	$8,59 \cdot 10^{-4}$
Marte	0,366	1960,45	5,03	$4,32 \cdot 10^{-4}$
Júpiter	0,254	14,736	59,5	$560,00 \cdot 10^{-4}$
Saturno	0,210	16,298	35,5	$409,54 \cdot 10^{-4}$
Urano	0,225	3343,43	21,3	$66,35 \cdot 10^{-4}$
Neptuno		3411	23,5	$73,62 \cdot 10^{-4}$

J_2 es el achatamiento dinámico del planeta, R_p y M_p son el radio ecuatorial y la masa del planeta respectivamente.

Atmósfera

Planeta	temperatura				presión (atm)	gases más abundantes (> 1%)
	superficial ($^{\circ}\text{C}$)	nubes ($^{\circ}\text{C}$)	equil. ($^{\circ}\text{K}$)	efectiva ($^{\circ}\text{K}$)		
Mercurio	-170 a 350		634	442,5	$\sim 10^{-15}$	$\text{O}_2, \text{Na}, \text{H}_2, \text{He}$
Venus	460	-33	464	231,7	92	CO_2, N_2
Tierra	15		394	254,3	1	N_2, O_2
Marte	-55		319	210,1	0,007	$\text{CO}_2, \text{N}_2, \text{Ar}$
Júpiter		-144	173	110,0		H_2, He
Saturno		-176	128	81,1		H_2, He
Urano		-214	90	58,2		$\text{H}_2, \text{He}, \text{CH}_4$
Neptuno		-214	72	46,6		$\text{H}_2, \text{He}, \text{CH}_4$

Temperatura de equilibrio es la máxima que puede alcanzar un cuerpo negro situado donde el planeta y debida exclusivamente a la radiación solar.

Temperatura efectiva es la que describe la emisión del planeta si radiara según la ley de Stefan-Boltzmann de un cuerpo negro.

Magnetosfera

Planeta	campo de fuerza del dipolo (gauss)	inclinación del dipolo	momento dipolar (Tierra=1)	Magnetopausa en dirección al Sol (R_p)
Venus	< 0,00003		< 0,0004	
Tierra	0,305	$10^{\circ}8$	1	10
Marte	< 0,0003		< 0,0002	
Júpiter	4,28	$9^{\circ}6$	20 000	80
Saturno	0,22	< 1°	600	20
Urano	0,23	$58^{\circ}6$	50	20
Neptuno	0,14	47°	25	25

R_p el radio ecuatorial del planeta.

El momento dipolar de la Tierra es: $7,84 \cdot 10^{15}$ teslas- m^3 .

Descubrimiento de planetas

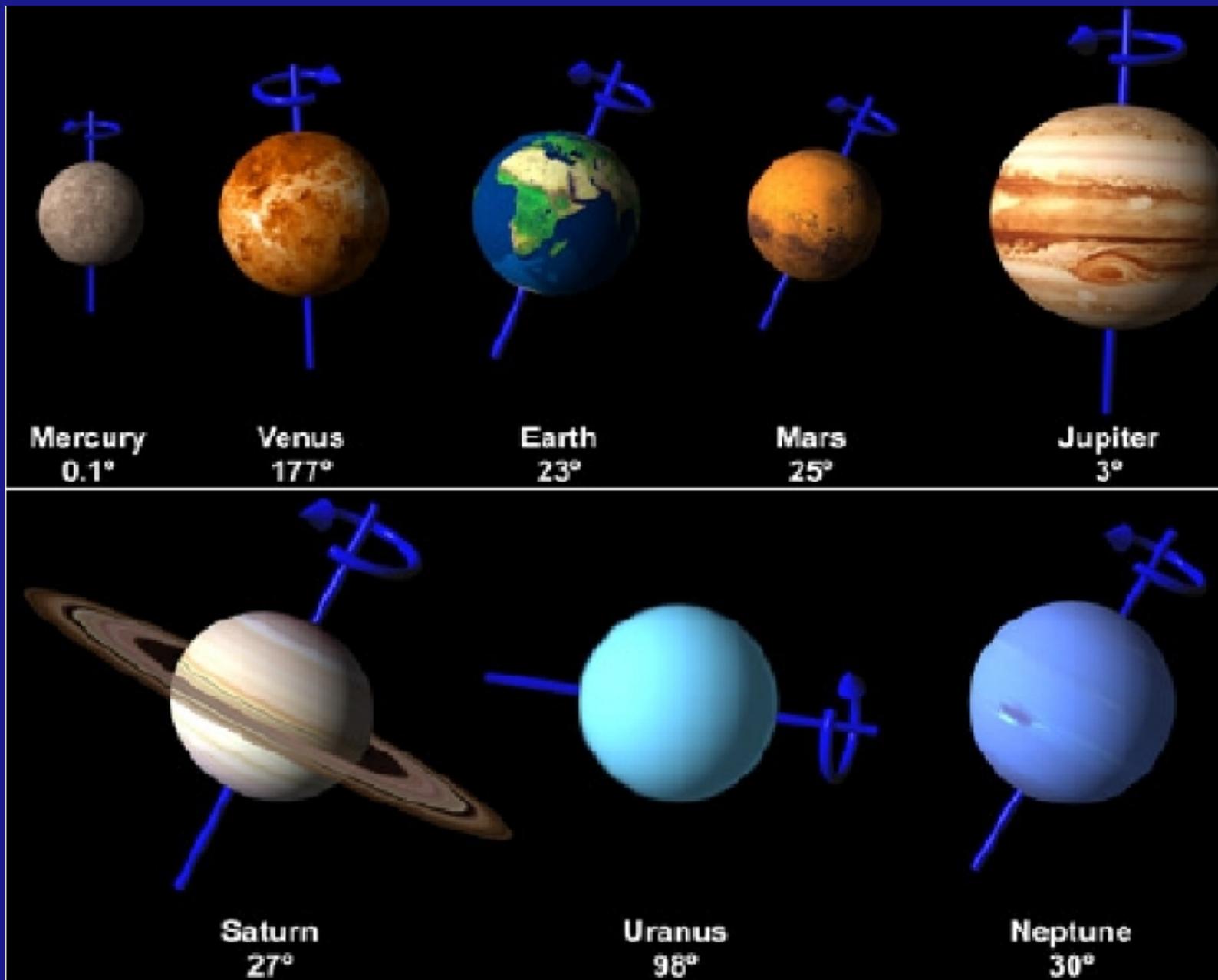
Urano: 13 de marzo de 1781, por Friedrich Wilhelm [(Sir) William] Herschel (1738-1822). Primer planeta descubierto en tiempos históricos y el primero descubierto con un telescopio (de 6,2 pulgadas de apertura y 227 aumentos).

Neptuno: 23 de setiembre de 1846, por Johann Gottlieb Galle (1812-1910), acompañado por su asistente Heinrich L. d'Arrest, con un refractor de 9 pulgadas de apertura. Descubrimiento basado en una predicción analítica (18 de setiembre) de Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811-1877). Una predicción anterior (setiembre de 1845) de John Couch Adams (1819-1892) pasó desapercibida. El día 10 de octubre William Lassell descubrió el satélite Tritón con un telescopio de 24 pulgadas de apertura.

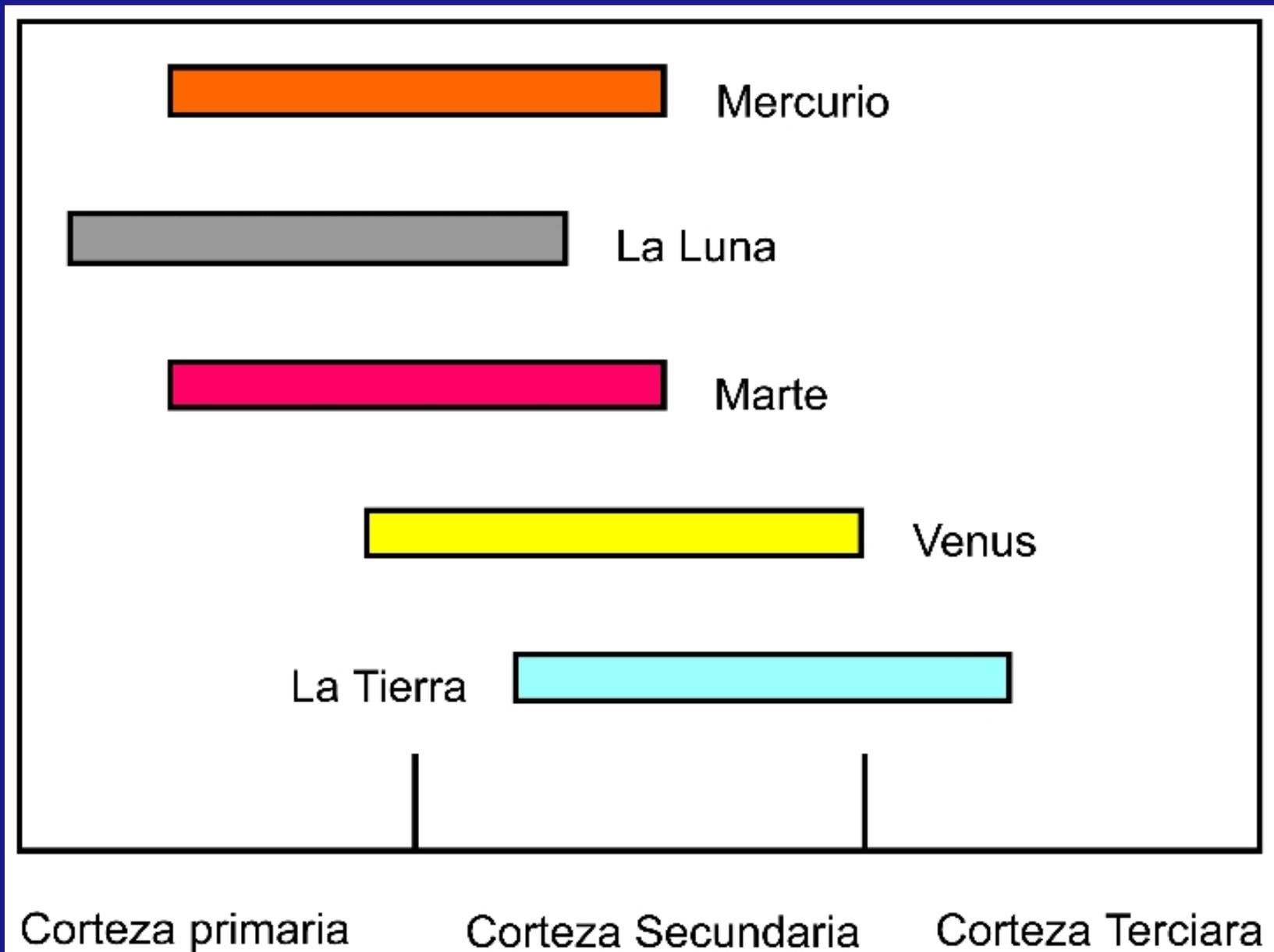
COMPARACIÓN: TAMAÑOS



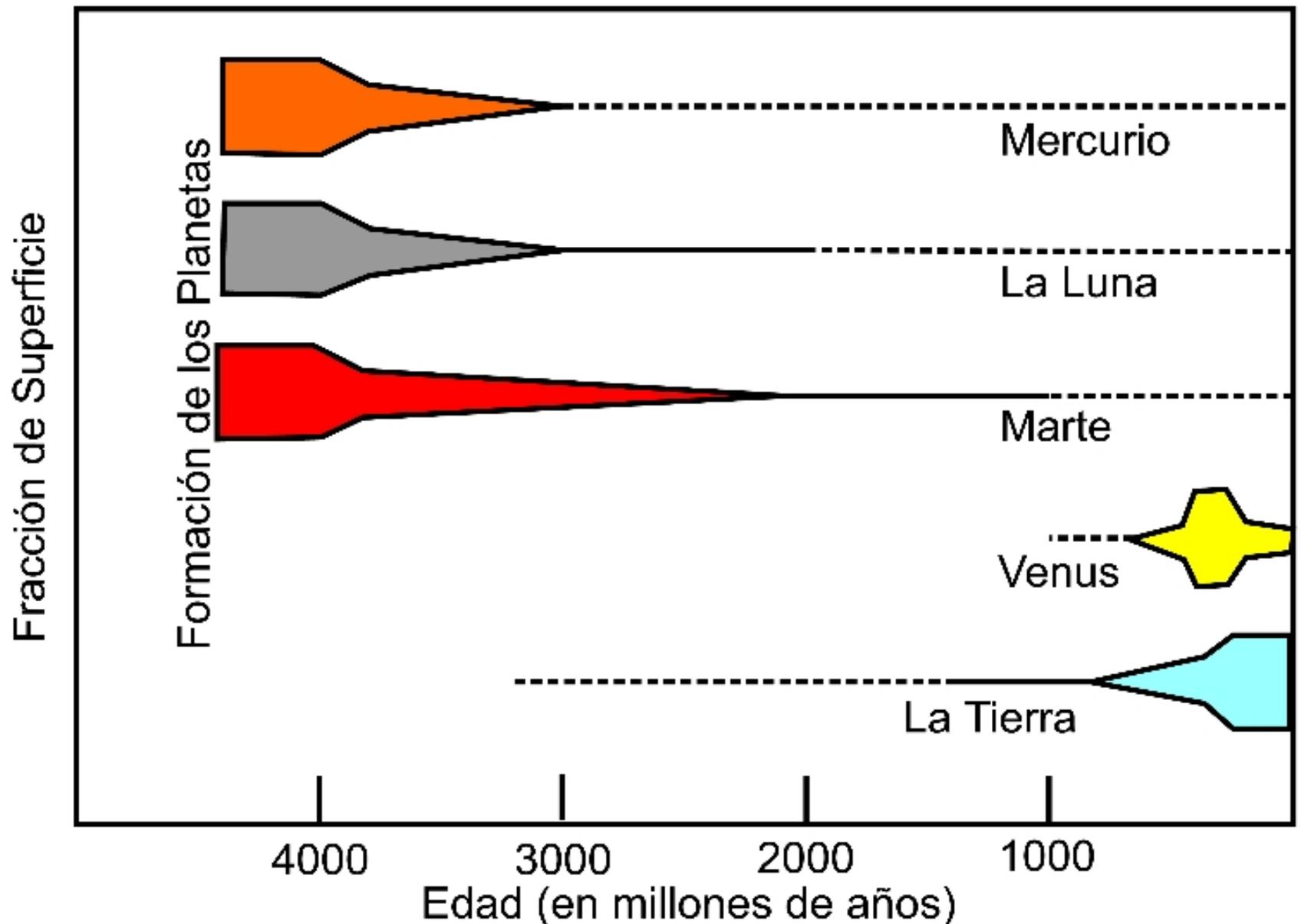
COMPARACIÓN: EJES DE ROTACIÓN



COMPARACIÓN: CORTEZAS



COMPARACIÓN: CORTEZAS



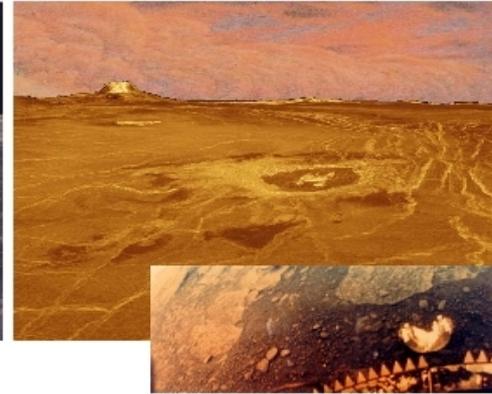
Comparación del origen y edad de las rocas de la superficie de los Planetas de tipo Terrestre.

COMPARACIÓN: HABITABILIDAD, PAISAJES

La Luna (Mercurio)



Venus



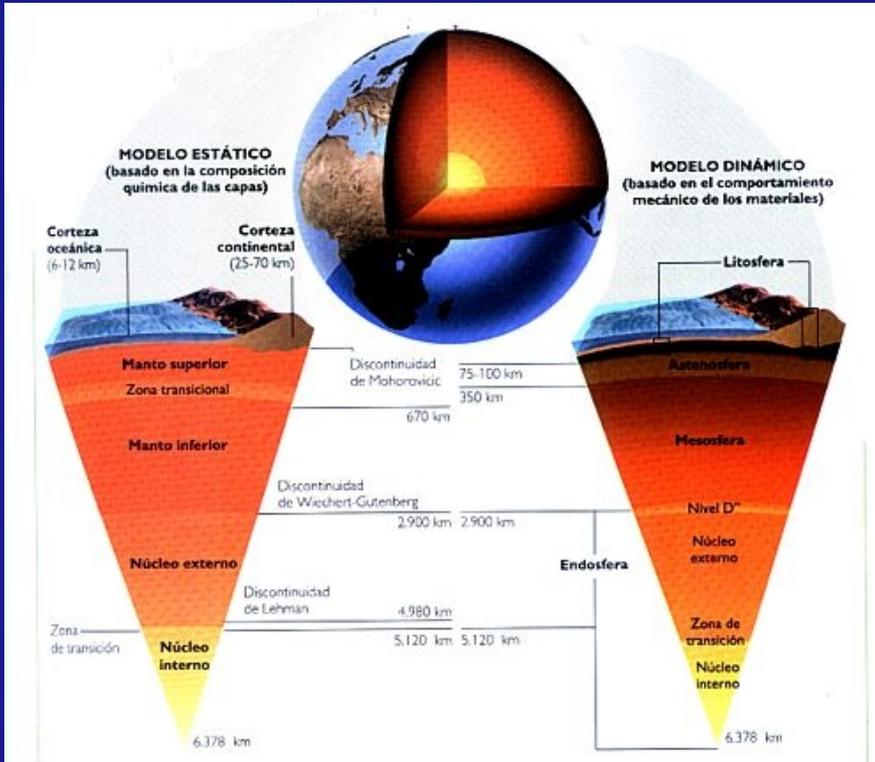
La Tierra



Marte

Vistas de paisajes de los distintos Planetas de tipo Terreste, donde se aprecia la variedad de sus atmósferas. Arriba a la izquierda, la práctica ausencia de atmósfera en La Luna (como en Mercurio) hace que el cielo sea negro incluso de día y que las nubes jamás oculten el La Tierra. Por el contrario, en Venus (a la derecha) las abundantes nubes de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de su relativamente densa atmósfera impiden que la luz solar llegue directamente a la superficie. Abajo: en la Tierra (a la izquierda) abundan las nubes de vapor de agua, mientras que en Marte (a la derecha) no son infrecuentes las intensas tormentas de polvo.

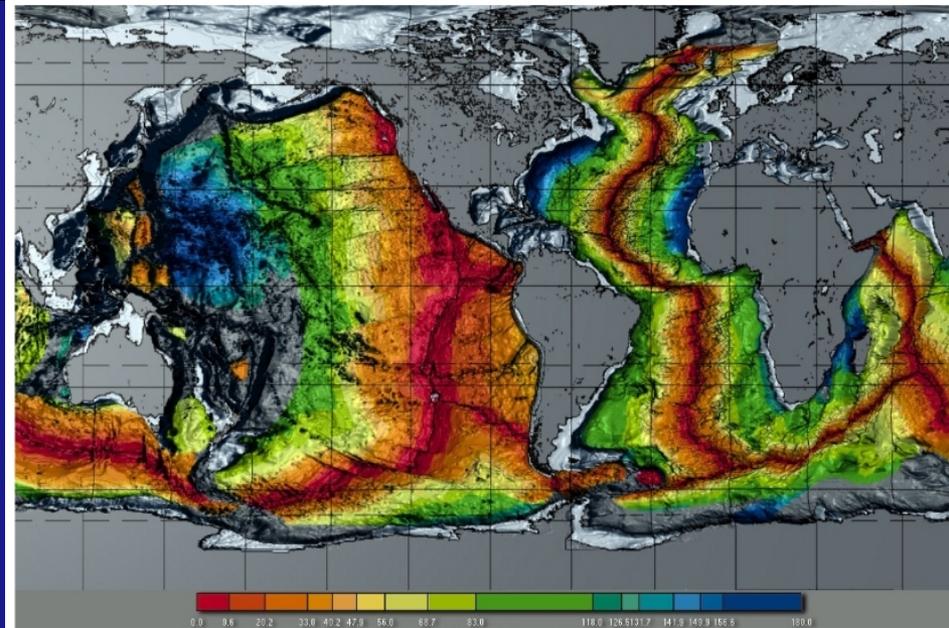
ESTRUCTURA INTERNA



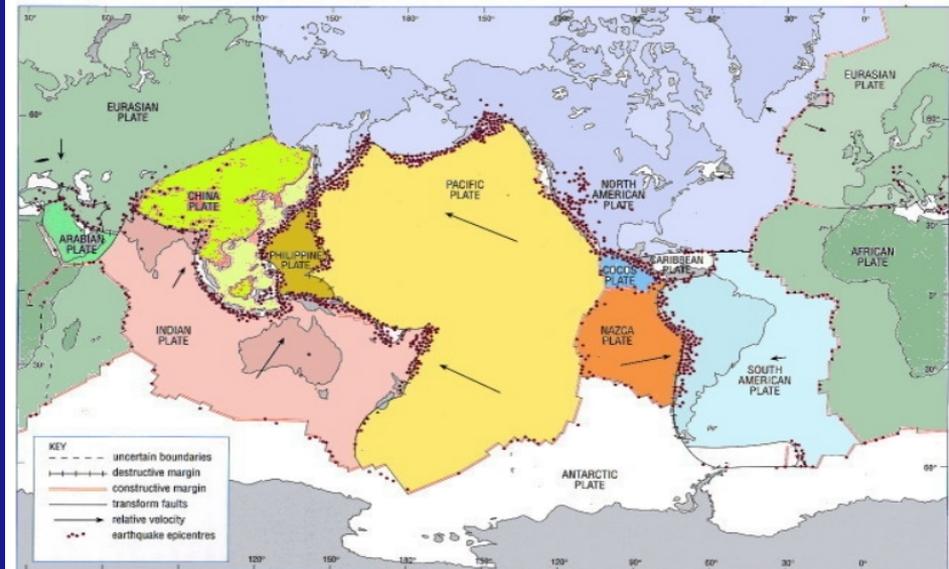
- Núcleo: origina campo magnético intenso

- Manto: convección origina tectónica y vulcanismo

- Corteza: joven, con erosión y orogénesis



Edad (en millones de años) del fondo marino. Se puede apreciar cómo las rocas más jóvenes se sitúan en las proximidades de las dorsales oceánicas, las líneas por las que aflora continuamente nuevo material basáltico (corteza secundaria).



Mapa de las distintas placas tectónicas que componen la corteza terrestre, y de sus movimientos relativos. Puede verse cómo las placas se separan en las dorsales oceánicas, y colisionan en las zonas de subducción dando origen a cordilleras jóvenes. El vulcanismo y actividad sísmica terrestre se concentran a lo largo de la unión de las diferentes placas.

ATMÓSFERA

Origen: impactos de cometas (50% del agua) y liberación de volátiles interiores

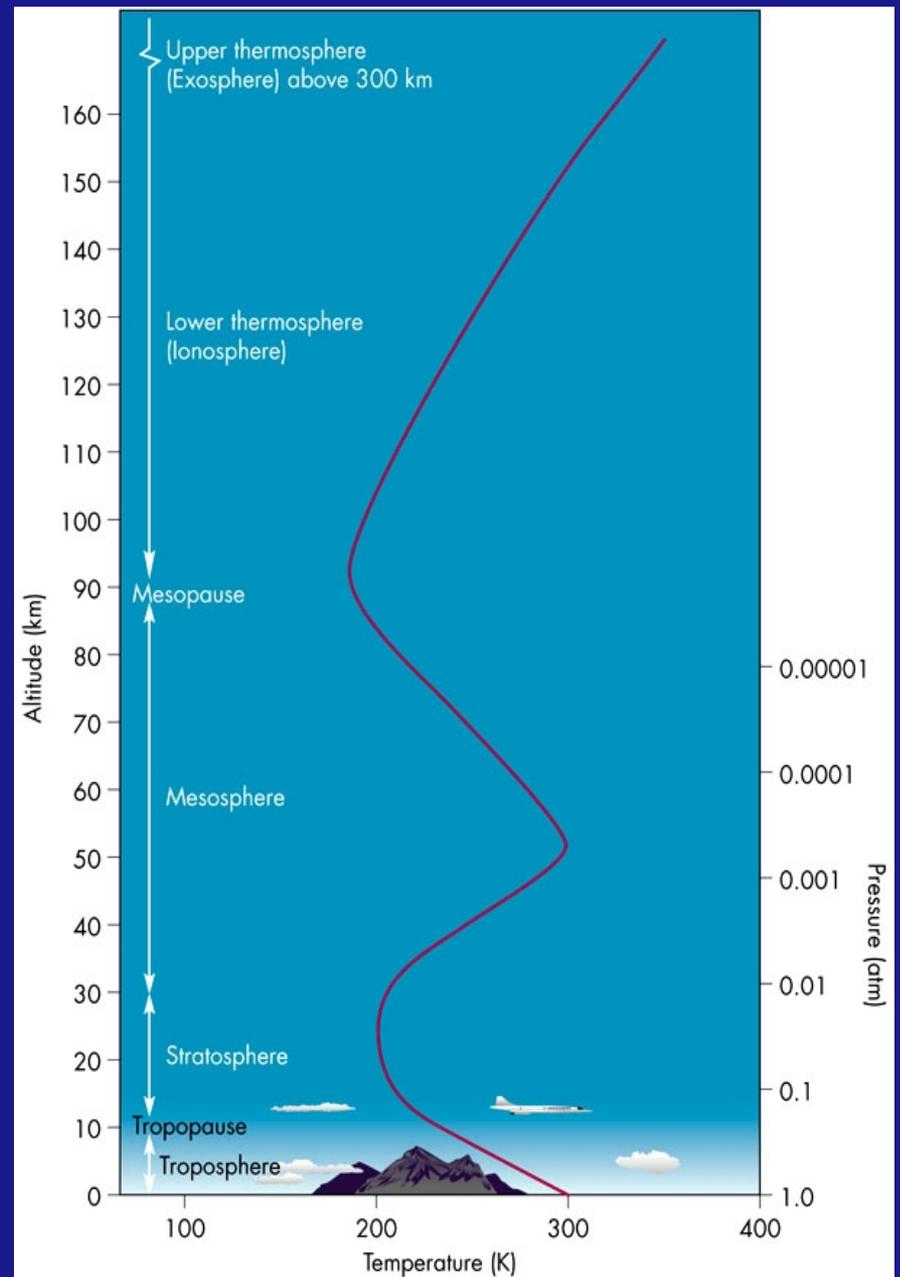
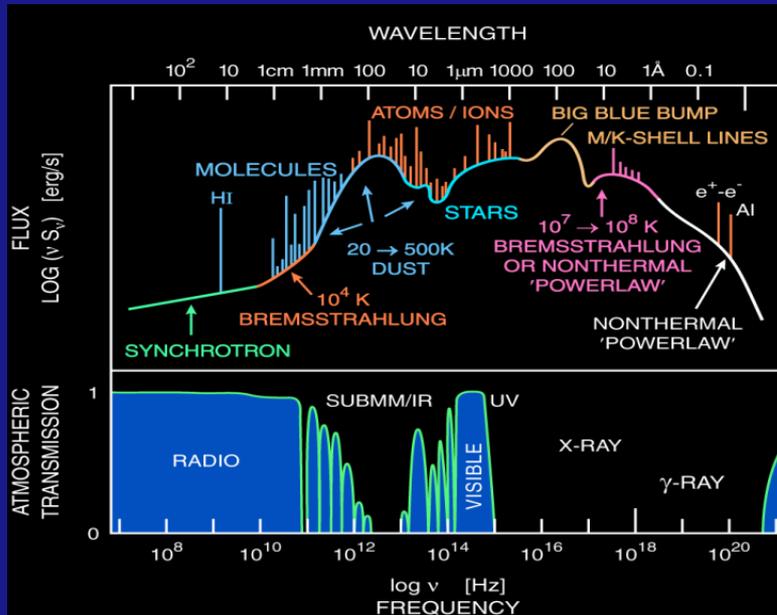
Retención: escapan los más ligeros

Similitud con Venus excepto: O₂ y O₃ (actividad biológica), H₂O, CO₂ (se disuelve en plantas y océanos).

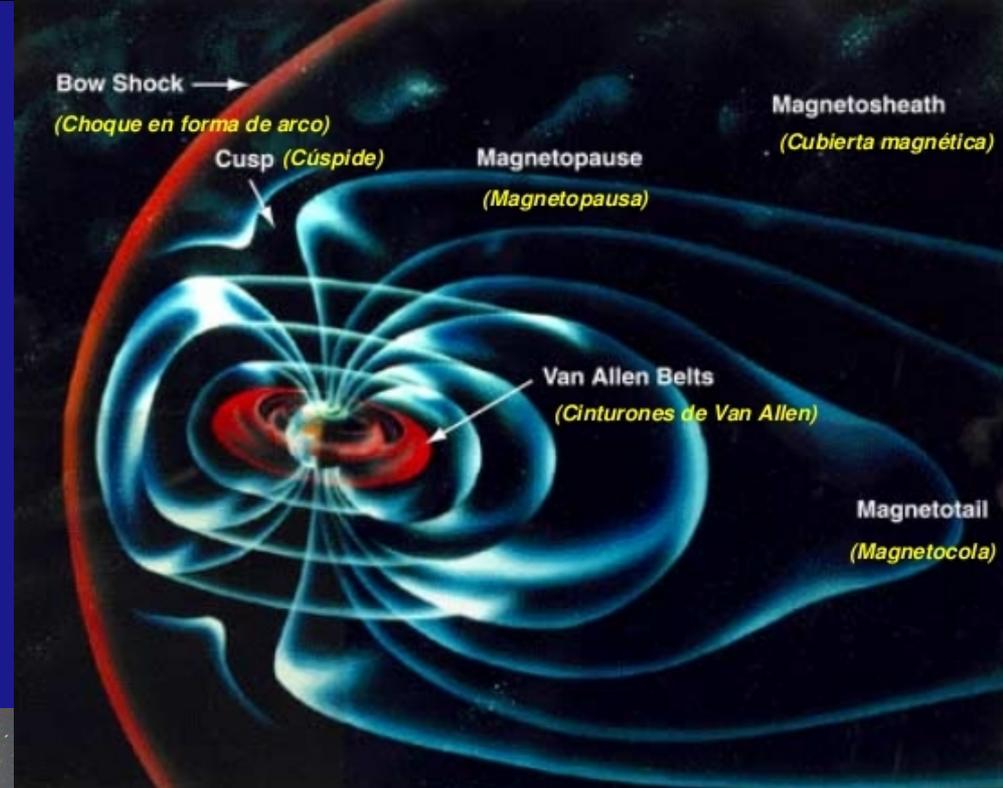
Invernadero: 300 – 750K Venus
255 – 285K Tierra

Responsable del **color del cielo**

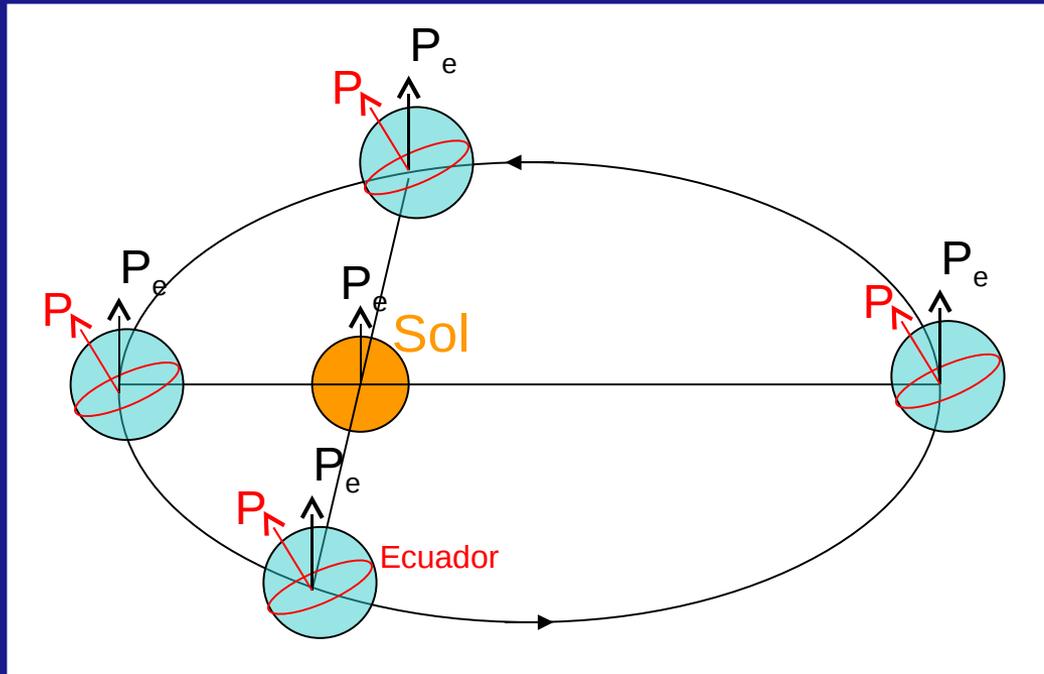
Filtro de radiaciones y partículas



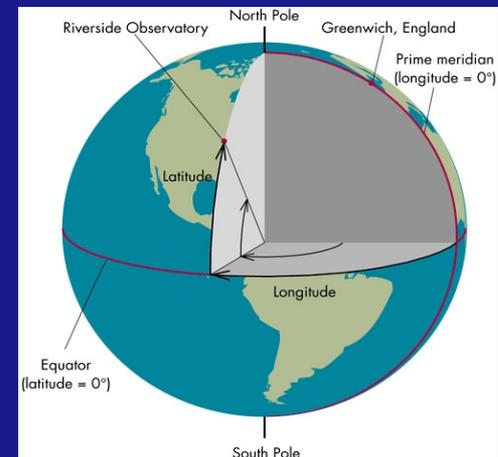
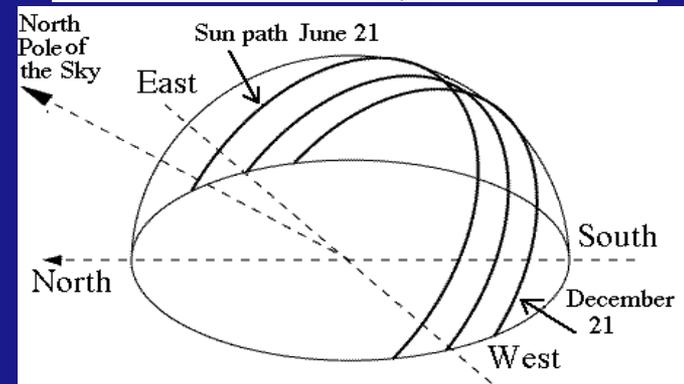
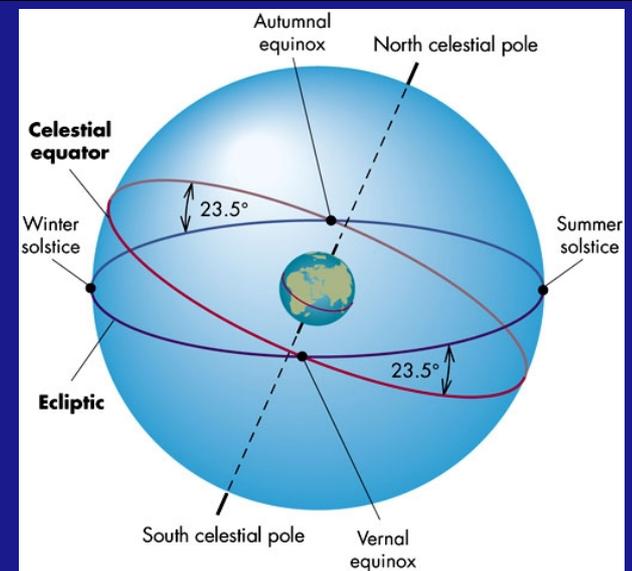
MAGNETOSFERA



5. FENÓMENOS DE ORIGEN ASTRONÓMICO: CONEXIÓN TIERRA - SOL



Día y noche
Movimiento anual (definición de año)
Estaciones (duración distinta)
Precesión de los equinoccios (Tierra no esférica)
Círculos polares y trópicos
Línea de cambio de fecha
Eclipses



PRECESIÓN DE LOS EQUINOCIOS

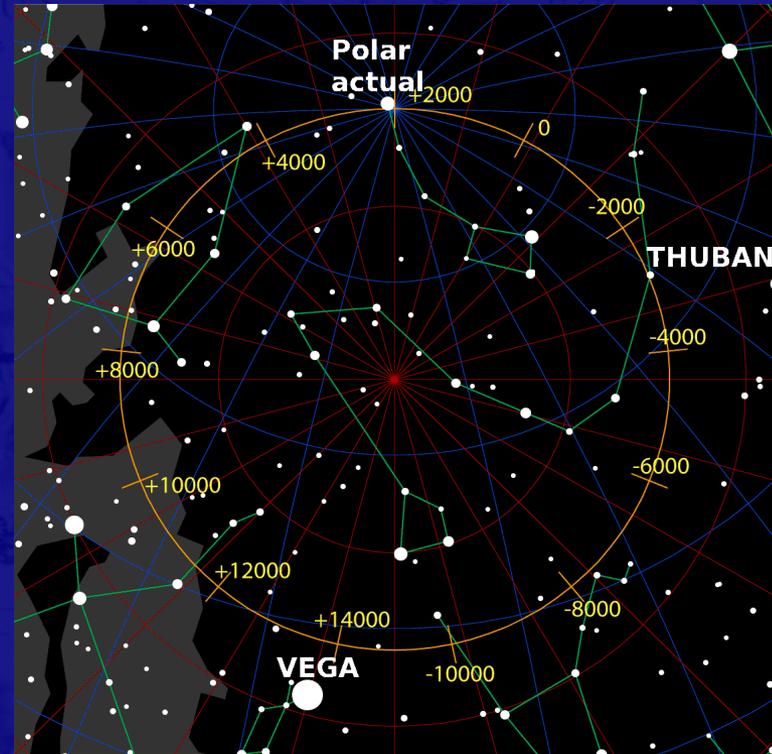
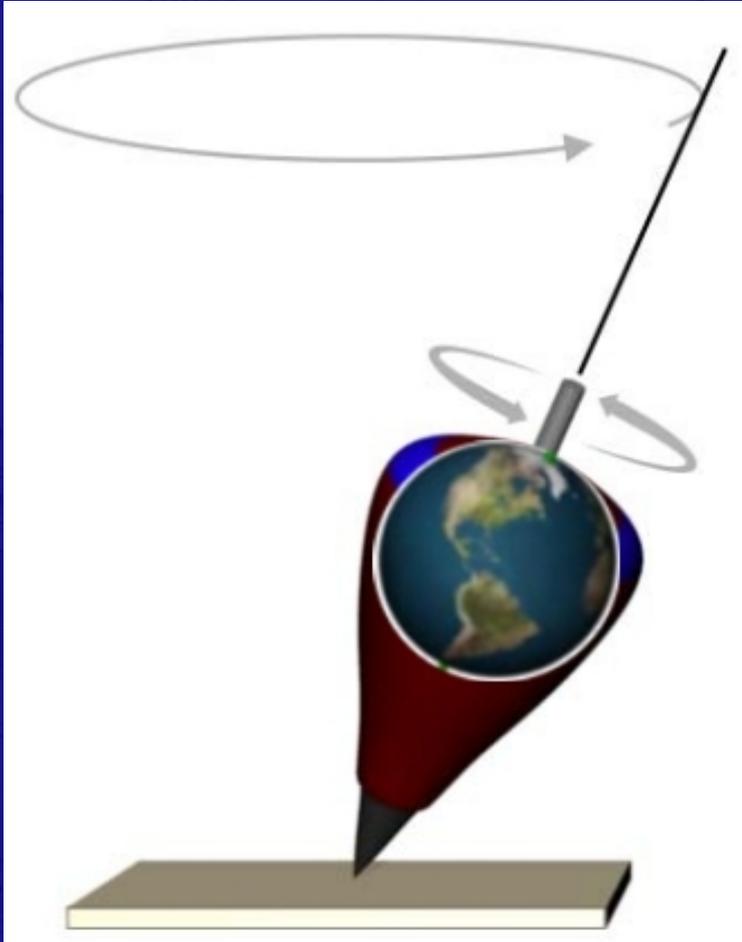


Fig. CC.

CONEXIÓN TIERRA - LUNA

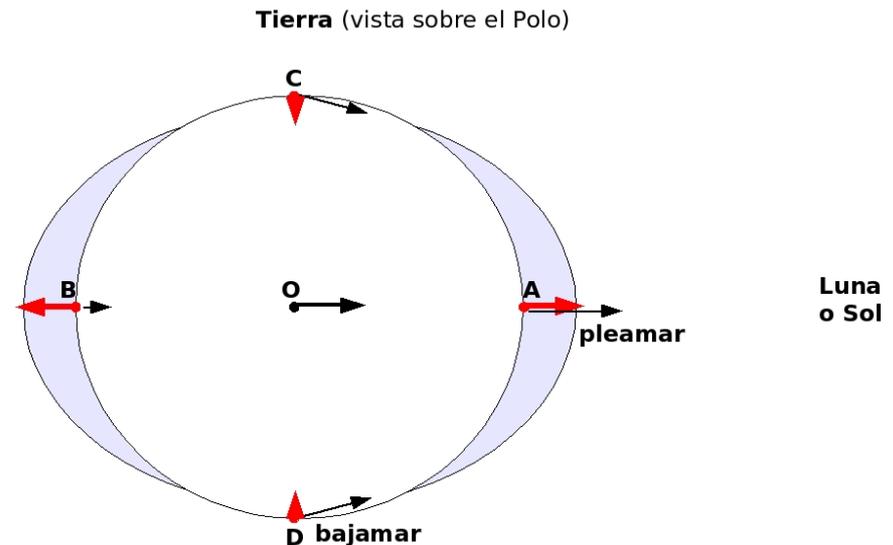
Formación luna:

- co-acreción (Luna tendría Fe)
- escisión durante formación (órbitas serían coplanarias, no hay L suficiente)
- captura (órbitas serían más excéntricas y menos coplanarias, isótopos O demasiado parecidos)
- impacto lateral (en corteza y manto, atm lunar escapó en impacto)

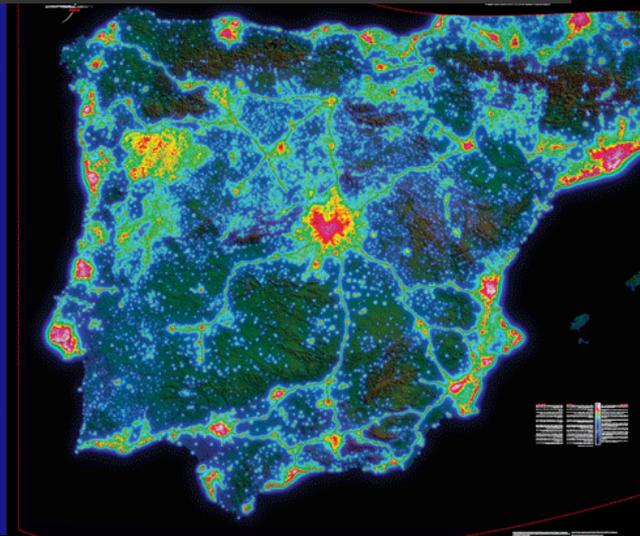
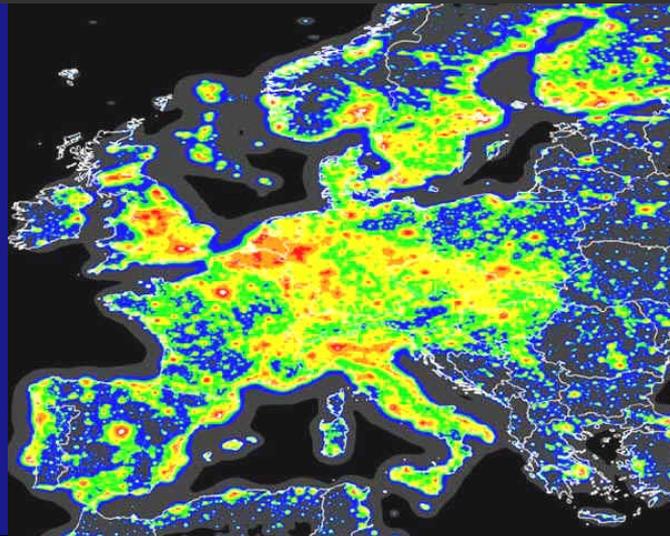
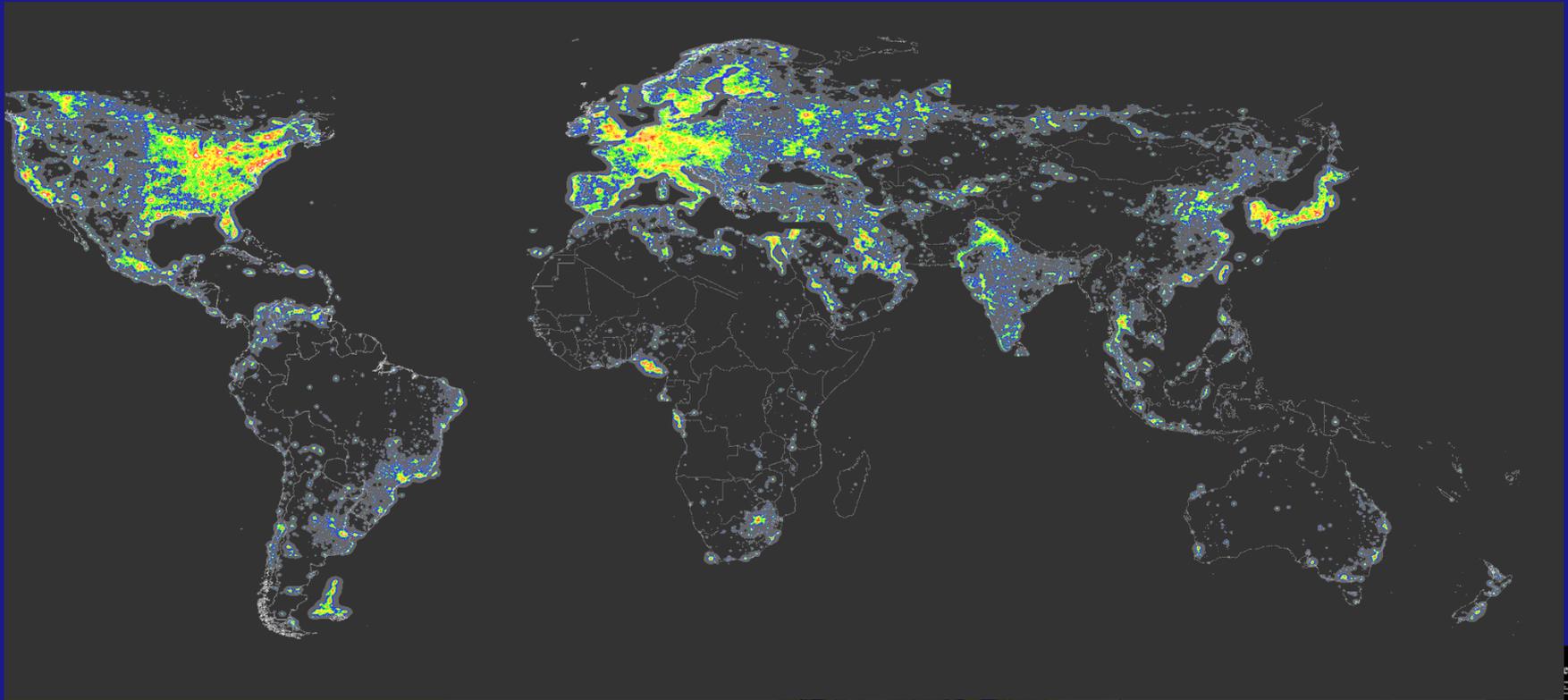
Mareas:

- frenan rotación terrestre (días más largo)
- han frenado la lunar (misma cara)
- Luna se aleja 3cm/año (dejará de haber eclipses totales)

Definición de mes (fases)

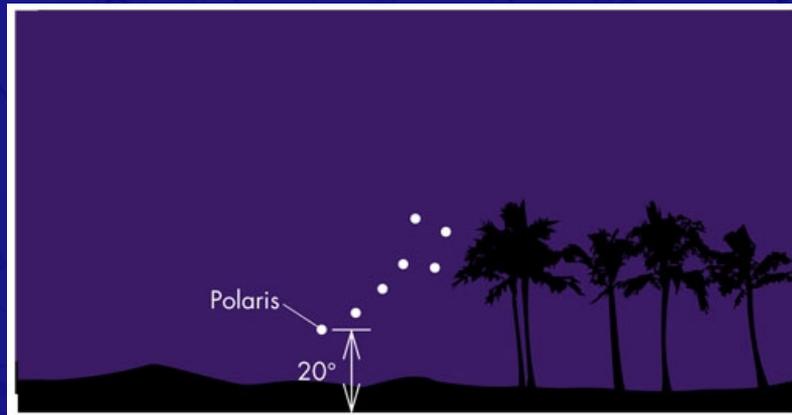
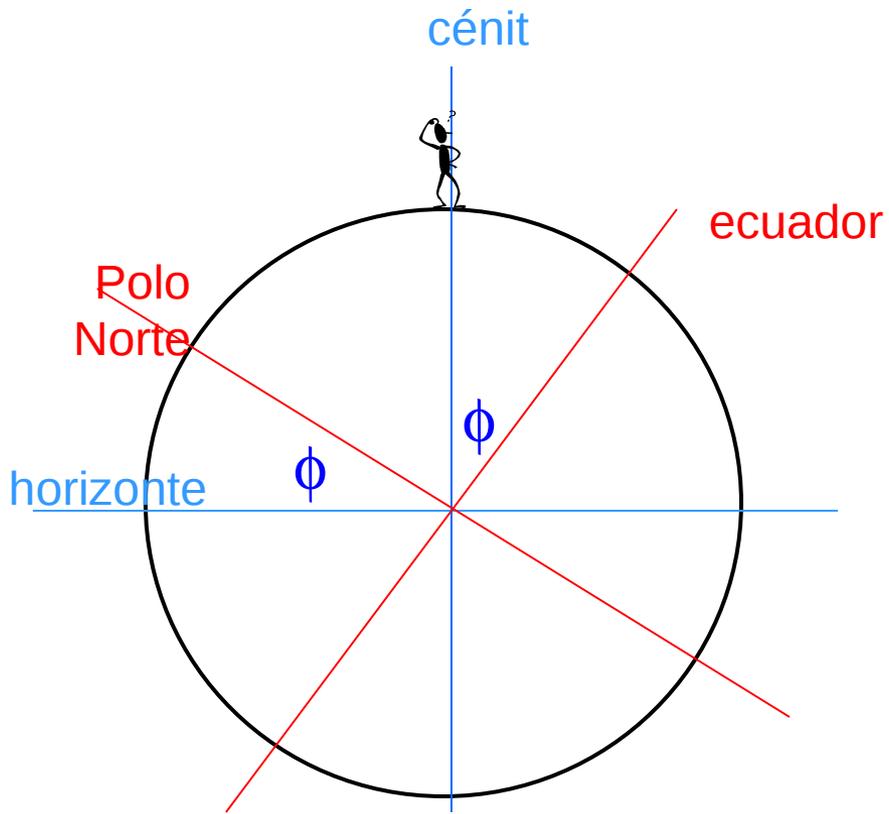


CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

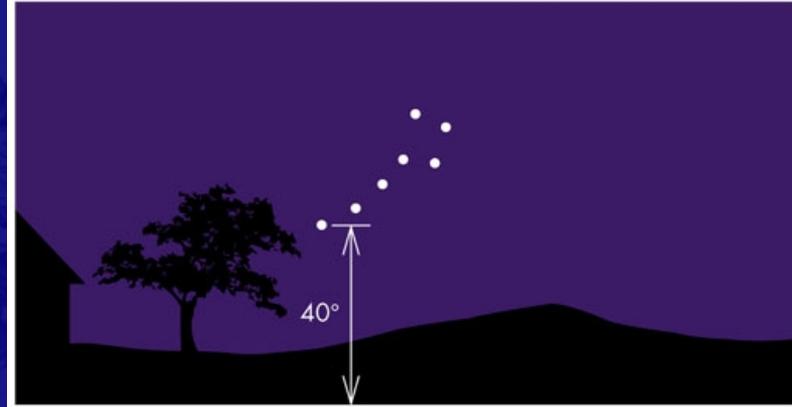


PERSPECTIVAS DIFERENTES

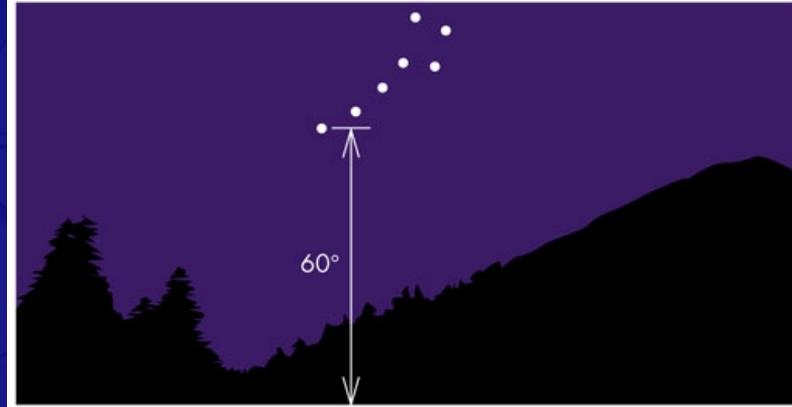
Perfeus



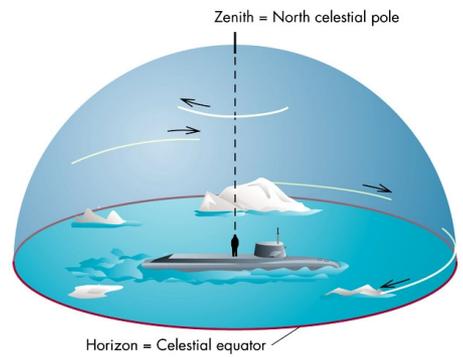
20° N Latitude



40° N Latitude



60° N Latitude



Ecua
dor

These stars
never set
below the
horizon.

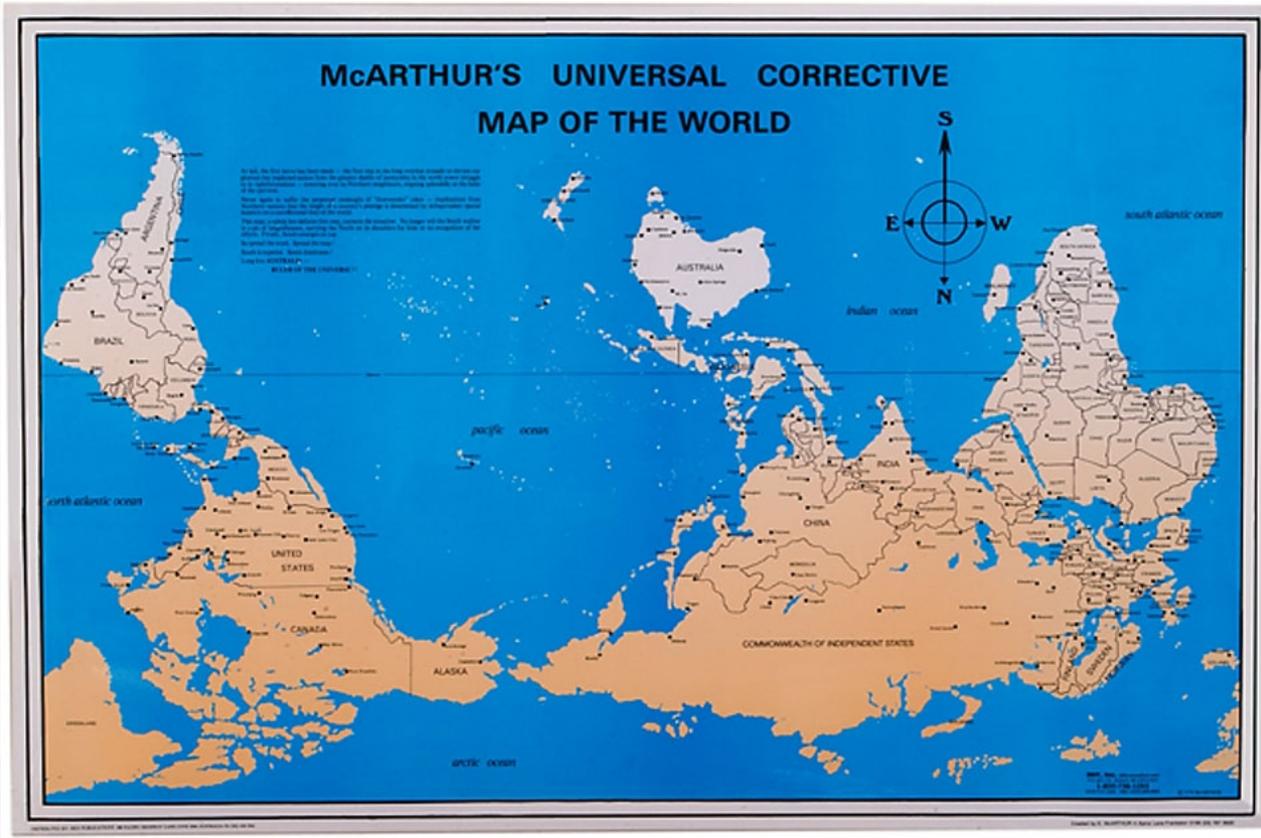
Horizon

North

South

These stars
never rise
above the
horizon.

PERSPECTIVAS DIFERENTES



[Stellarium?]

RESUMEN

3. De la mitología a la ciencia: evolución de la concepción de la Tierra y de su creación. Hitos: Jonia, invención del telescopio, conquista del espacio.
4. Nuestro lugar en el tiempo: el calendario cósmico nos recuerda que somos unos recién llegados ... , eso sí, marcados por toda la historia desde el Big Bang.
5. Nuestro lugar en el espacio: vivimos cerca de una estrella vulgar en una galaxia cualquiera.
6. El momento y el lugar en los que se formó la Tierra han determinado su pasado, presente y futuro.
8. La lista de fenómenos terrestres con tintes astronómicos es interminable, desde lo más cotidiano a lo más exótico: la medición del tiempo, las estaciones, las mareas, el color del cielo, lo que comemos y respiramos, las auroras boreales e incluso nuestra percepción de la vida según la zona del planeta en el que se ha desarrollado nuestra civilización.
9. El mismo origen de la vida y su evolución están marcados por el devenir de la Tierra en el Cosmos. Los seres vivos terrestres tenemos todos un origen común: somos polvo de estrellas capaz, gracias a la química del carbono, de reproducirse y mejorarse. Y la Tierra, Gaia, es un sólo organismo con un destino también común. Los humanos somos la forma que tiene el Universo de estudiarse a sí mismo.

MUCHAS GRACIAS