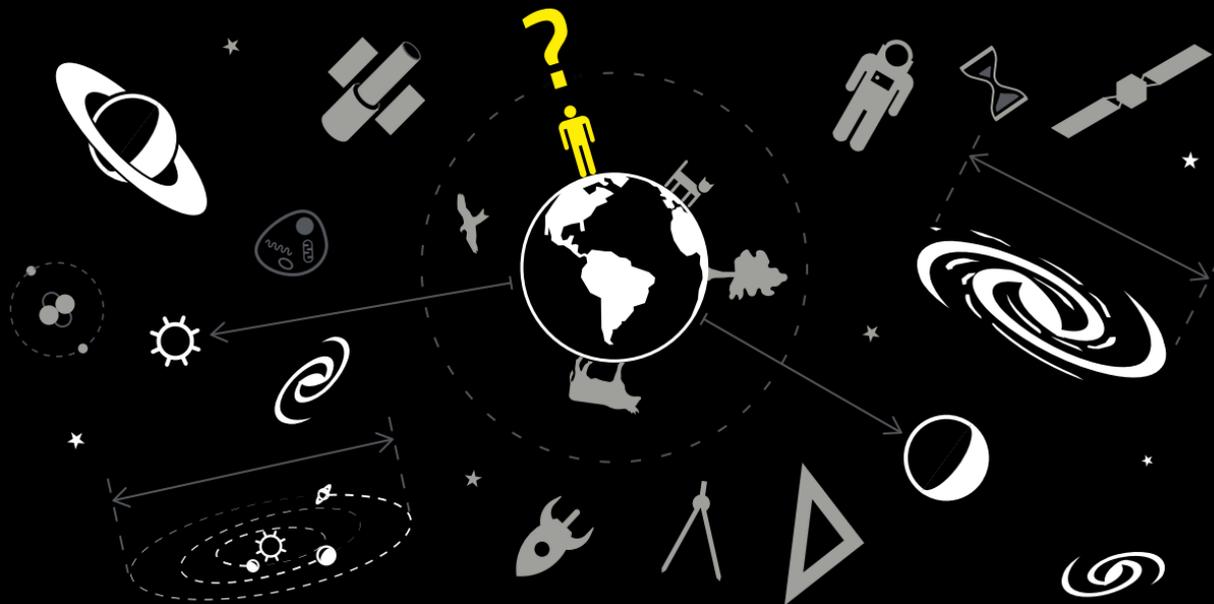


NUESTRO LUGAR EN EL COSMOS

Guía ilustrada para terrícolas

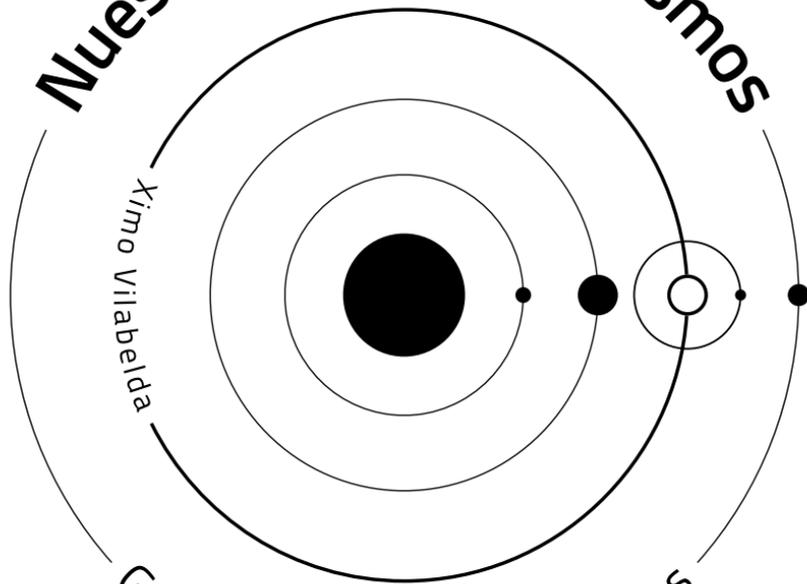


Ximo Vilabelda

Nuestro lugar en el cosmos

Guía ilustrada para terrícolas

Nuestro lugar en el cosmos



Ximo Vilabelda

Guía ilustrada para terrícolas

Título: *"Nuestro lugar en el cosmos. Guía ilustrada para terrícolas"*

Autor: Ximo Vilabelda

Ilustraciones: Ximo Vilabelda

Contribuciones de: Vittoria Volpi

Edición: Ximo Vilabelda

Primera edición: junio 2015

Quinta edición: noviembre 2016

Copyright©2015-2016 Ximo Vilabelda

www.sharethecosmos.com

info@sharethecosmos.com

Depósito legal: V1616-2015

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del autor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual.

A mi stellina [★],

Contenido

	Introducción	8
Parte I: DÓNDE ESTAMOS EN EL ESPACIO	Capítulo 1: Luna, Tierra y Sol	14
	Capítulo 2: Los planetas	37
	Capítulo 3: Planetas enanos y lunas	62
	Capítulo 4: Afuera del Sistema Solar	69
	Capítulo 5: Nuestra galaxia	76
	Capítulo 6: El universo	93
Parte II: CÓMO MEDIMOS EL TIEMPO	Capítulo 7: Día	105
	Capítulo 8: Mes	124
	Capítulo 9: Año	137
	Capítulo 10: Eclipses	154
	Capítulo 11: Años planetarios	165
	Capítulo 12: Año galáctico	172
Parte III: CÓMO MEDIMOS EL ESPACIO	Capítulo 13: Grecia clásica	182
	Capítulo 14: Del Renacimiento a hoy	191
Parte IV: DÓNDE ESTAMOS EN EL TIEMPO	Capítulo 15: ¡Big Bang!	221
	Capítulo 16: Vida	240
	Capítulo 17: Futuro	271
	Prontuario cósmico	290

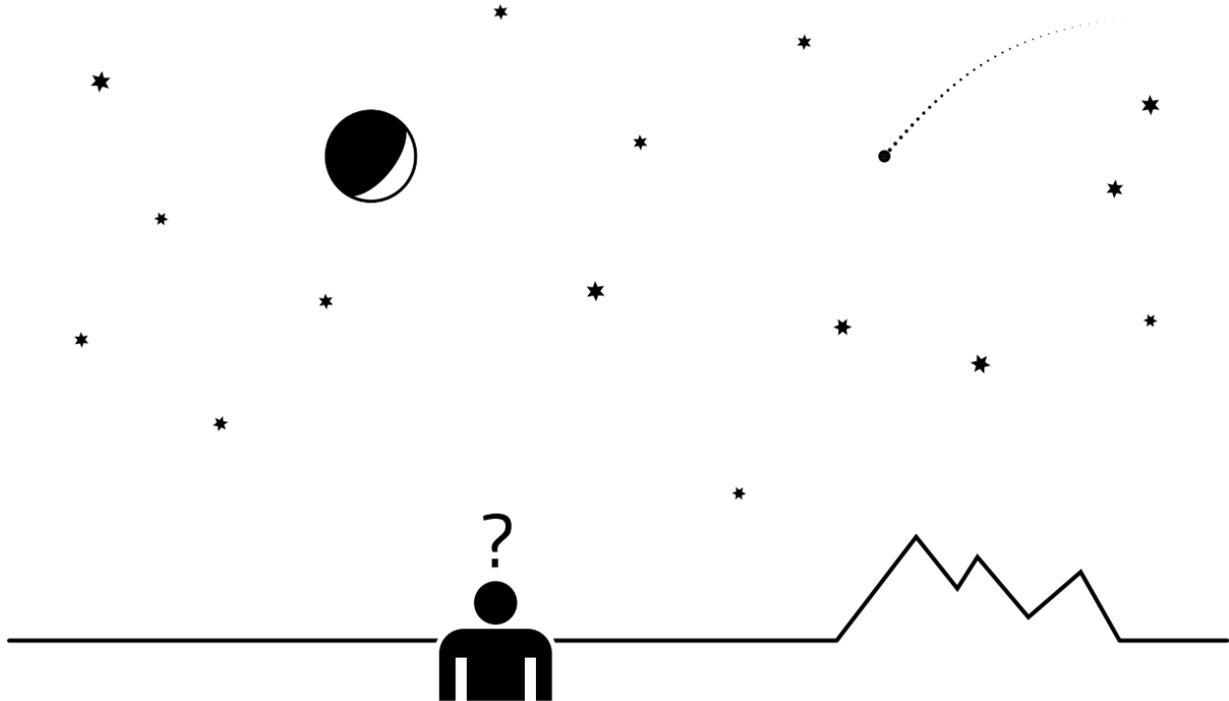
Introducción

De noche mirando al cielo todos nos hemos preguntado...

¿Qué somos? ¿Dónde estamos? ¿De dónde venimos?

Gran parte de la respuesta está en las estrellas.

El conocimiento del cosmos, es el conocimiento de nosotros mismos.

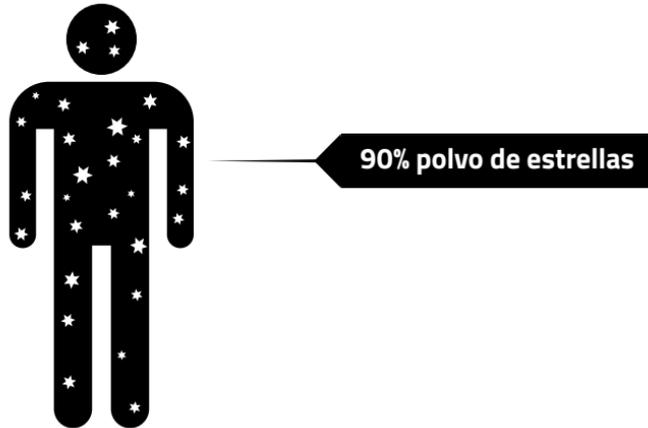


Durante milenios el ser humano ha creído ser el centro del universo. Nuestro mundo era plano. El Sol, la Luna y los planetas eran dioses. Las estrellas, una firme esfera que nos giraba en torno.



Afortunadamente el conocimiento actual del cosmos es mucho más profundo. Gracias al avance de la ciencia y la tecnología, al esfuerzo colectivo y a la curiosidad de millones de personas, hoy conocemos la escala y la naturaleza del universo con un nivel de detalle antes inalcanzable.

Uno de los logros más importantes y sorprendentes del ser humano ha sido descubrir que los átomos de los que estamos hechos se forjaron en las estrellas. Somos parte del universo, y el universo está en nosotros.



El éxito de los seres vivos se basa en la comprensión de su entorno y de su propia naturaleza. Llegar al actual nivel de conocimiento sobre el cosmos ha costado miles de años, pero hoy tenemos la enorme suerte de que entenderlo, al menos a nivel básico, es increíblemente elemental. El universo es más elegante y comprensible de lo que cabría imaginar.

Paso a paso y mediante sencillas explicaciones y dibujos, el libro expone los conceptos imprescindibles para entender nuestro lugar en el espacio, en el tiempo y en la propia naturaleza del cosmos del que somos parte.

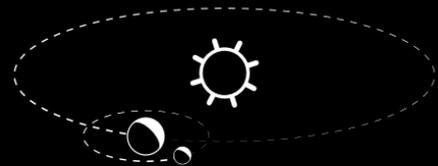


Parte I

DÓNDE ESTAMOS EN EL ESPACIO

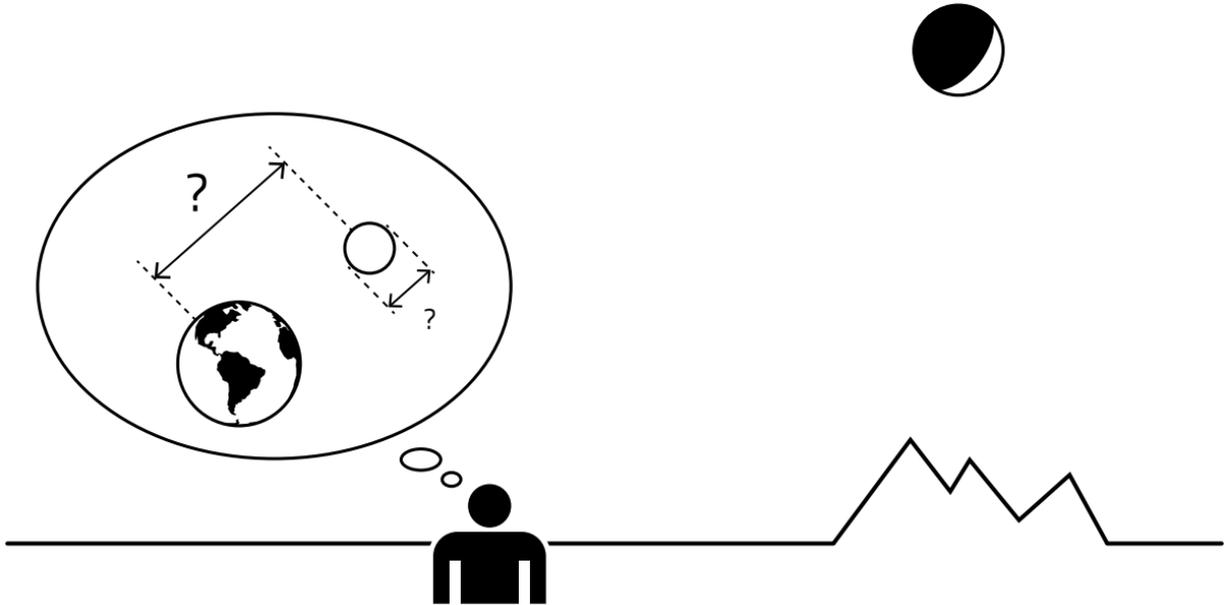
Capítulo 1

Luna, Tierra y Sol



Empecemos con nuestra preciosa compañera de viaje: la Luna.
¿Qué tamaño tiene y a qué distancia está?

Luna, Tierra y Sol
15

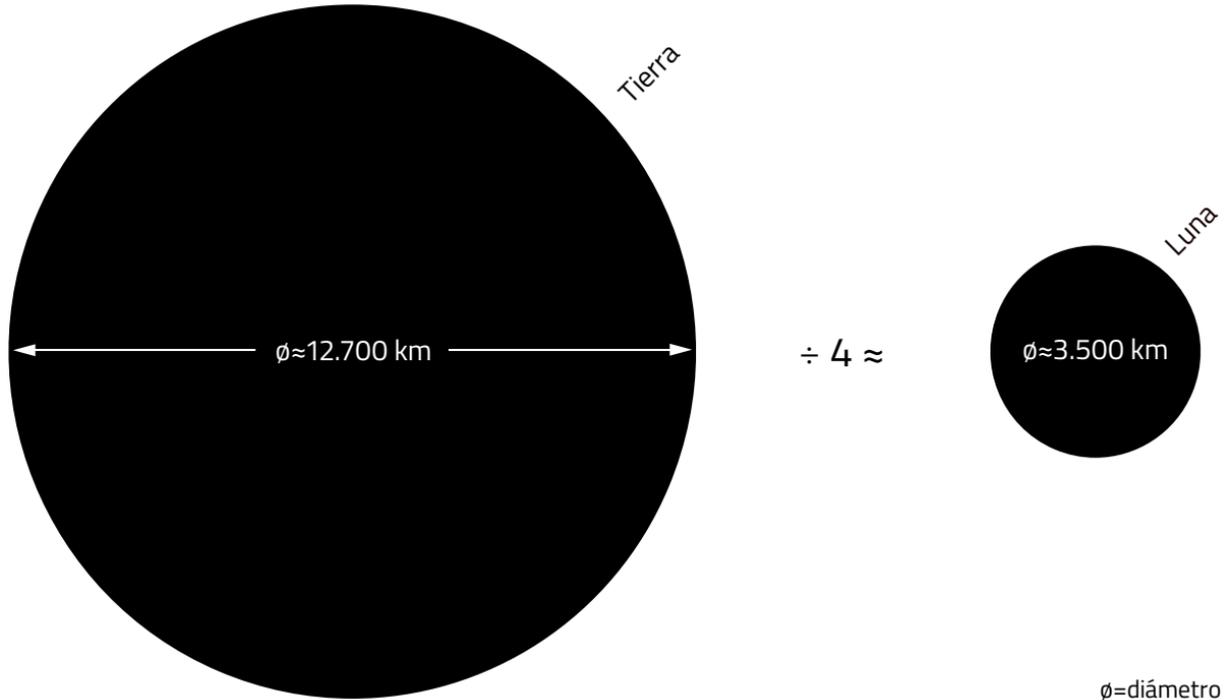


La Luna es aproximadamente 4 veces más pequeña que la Tierra.

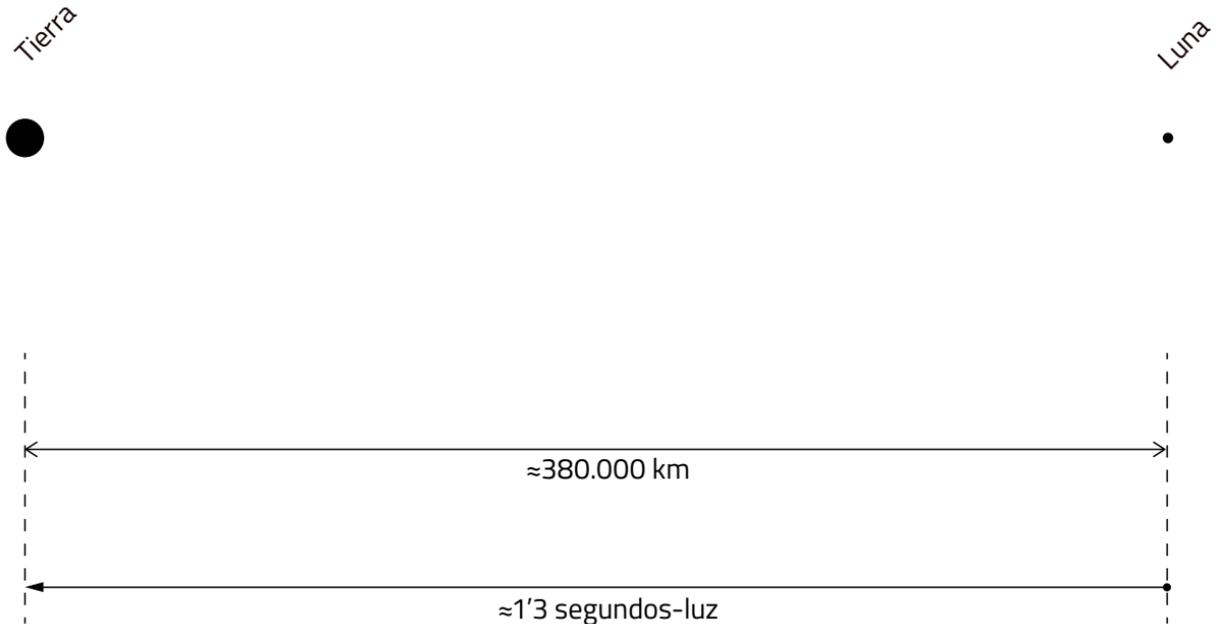
Aquí puedes comparar sus tamaños.

La Tierra está achatada por los polos, pero sólo 21 km por cada uno.

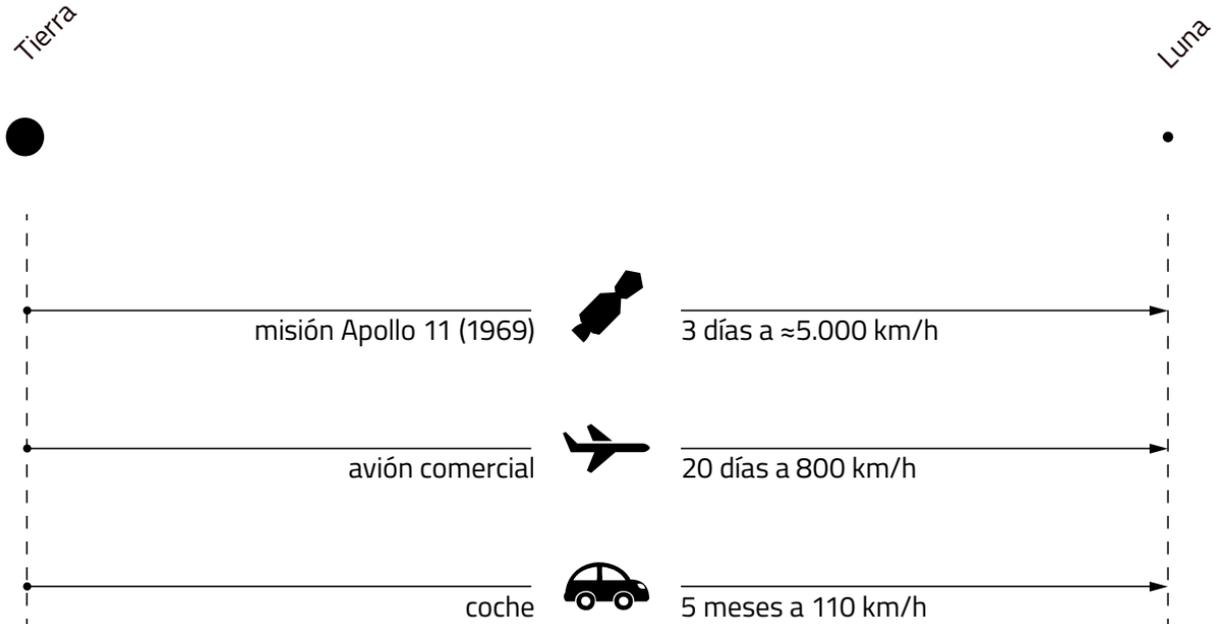
Es inapreciable. ¡La Tierra es más esférica que una bola de billar!



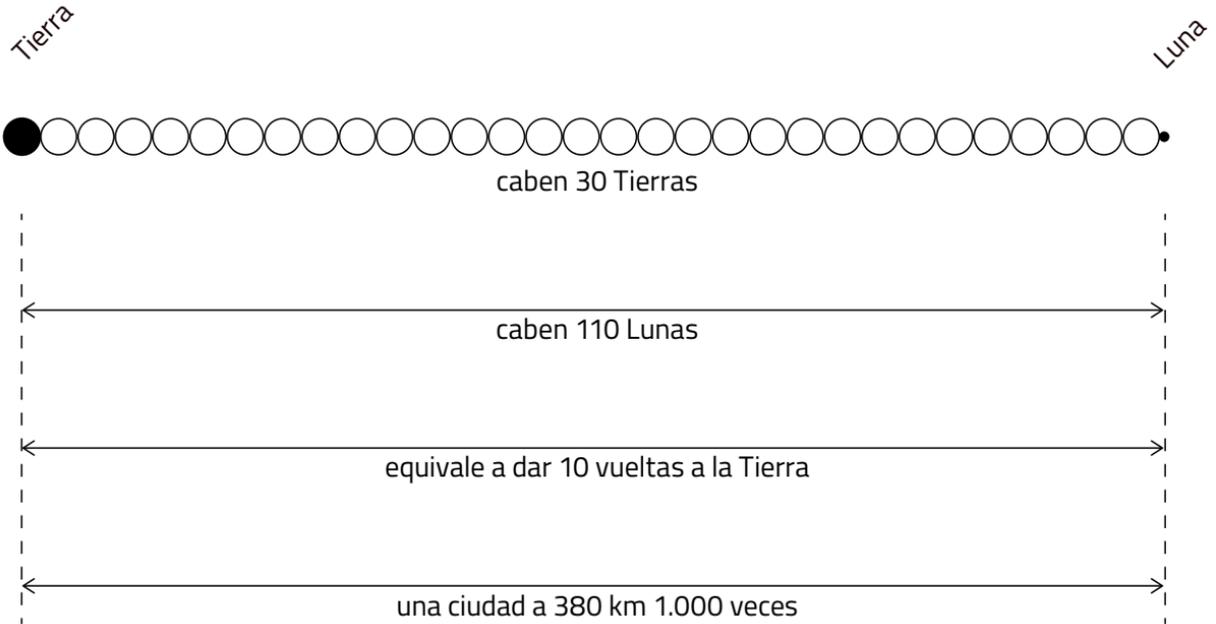
¿A qué distancia se encuentra la Luna? Se encuentra mucho más lejos de lo que aparenta y de lo que intuitivamente dibujaríamos en un papel en blanco. Este es el tamaño y la distancia real Tierra-Luna a escala. El Sol ilumina la Luna, y la luz reflejada, a casi 300.000 km/s, emplea 1'3 segundos en recorrer los 380.000 km que nos separan.



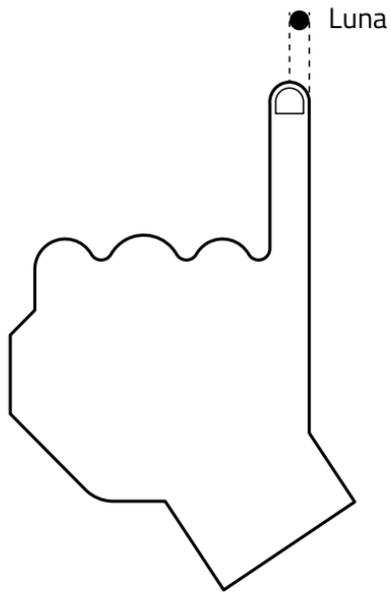
¿Cuánto se tarda en llegar a la Luna? En 1969 la nave espacial tripulada de la misión Apollo 11 empleó unos 3 días en salvar la distancia. Si existiese aire y pudiésemos ir en avión necesitaríamos unos 20 días. En coche, gracias a una utópica autopista, emplearíamos unos 5 meses.



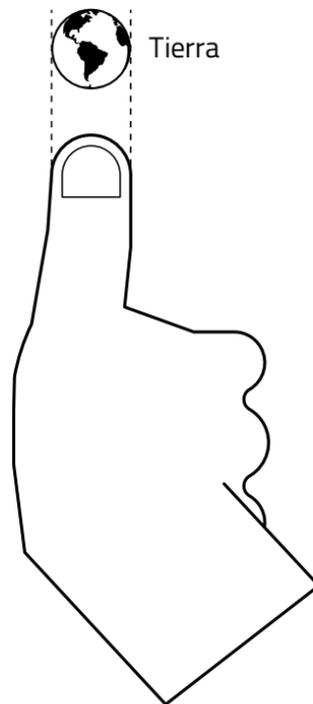
Entre la Tierra y la Luna caben 30 Tierras o 110 Lunas.
Equivale a dar 10 vueltas a la Tierra. También puedes pensar en
una ciudad que tengas a 380 km, pero 1.000 veces más lejos.



La Luna vista desde la Tierra
ocupa medio meñique.



La Tierra vista desde la Luna
ocuparía un pulgar.

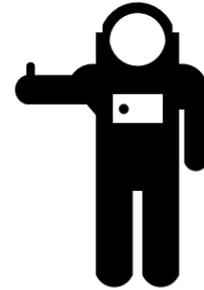


El primer hombre en pisar la Luna fue Neil Armstrong en 1969, durante la misión Apollo 11. En total han alunizado 6 misiones tripuladas y 12 personas han caminado sobre ella. Sigue siendo el lugar más lejano alcanzado por el ser humano.

“De repente me dí cuenta de que aquel diminuto guisante, hermoso y azul, era la Tierra. Levanté un dedo, cerré un ojo, y mi pulgar tapó por completo el planeta.”

Neil Armstrong
(1969)

Tierra



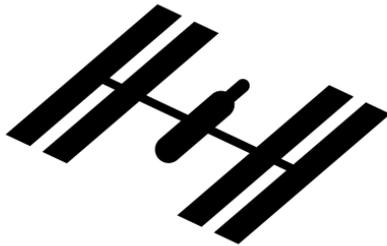
Luna



¿A dónde vuelan los astronautas actualmente?

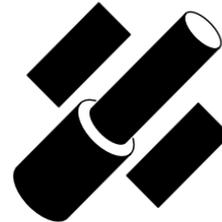
Principalmente a la Estación Espacial Internacional. Está habitada de forma ininterrumpida desde el año 2000 y da una vuelta completa a la Tierra cada 90 minutos. Los astronautas también han visitado el telescopio espacial Hubble para tareas de mantenimiento.

Estación Espacial Internacional (ISS)



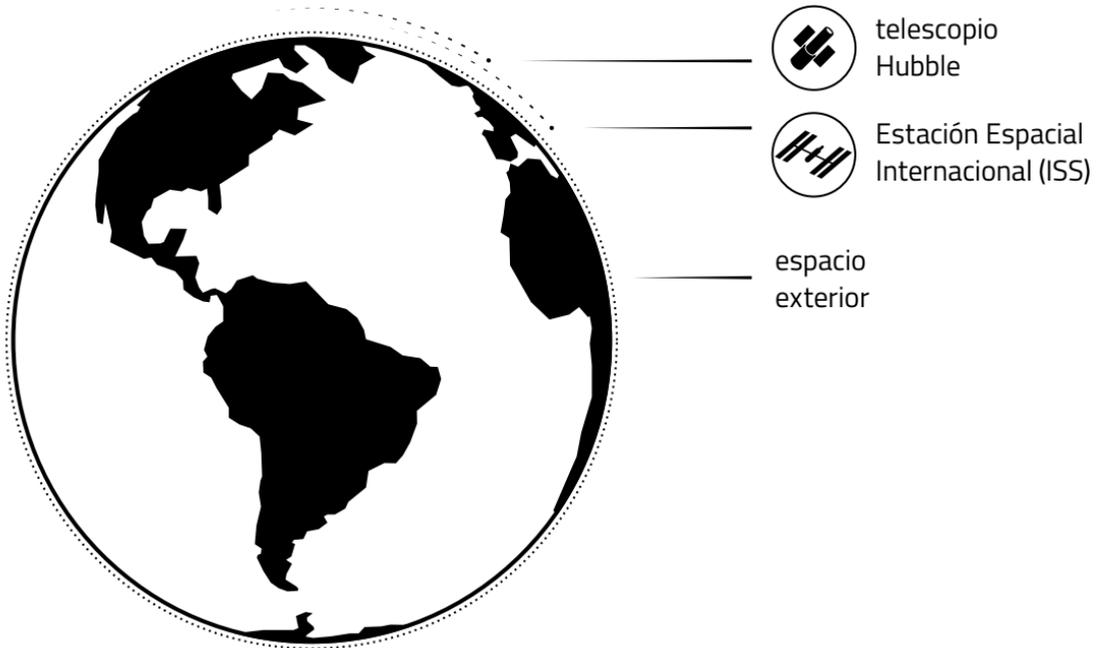
activa desde el año 2000
laboratorio orbital
dimensiones $\approx 100 \times 70$ m
capacidad 6 personas a bordo
velocidad ≈ 27.000 km/h

telescopio espacial Hubble



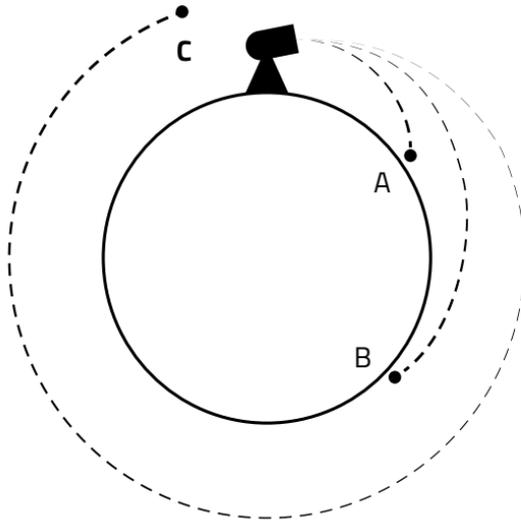
lanzamiento en 1990
satélite artificial
longitud 13'2 m
telescopio $\varnothing 2'5$ m
velocidad ≈ 27.000 km/h

¿A qué distancia están? Respecto la superficie terrestre, el Hubble nos orbita a 600 km de altura y la ISS a tan solo 400 km. ¡Vistos en este dibujo a escala real sorprende lo cerca que están! El espacio exterior empieza a 100 km de altura de nuestras cabezas. La atmósfera es realmente delgada comparada con el diámetro terrestre.

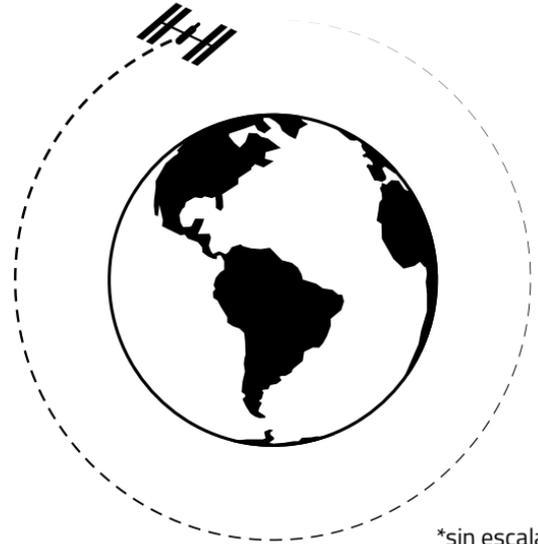


La Estación Espacial Internacional (ISS) orbita la Tierra en "caída libre".
Como en el experimento de una bala disparada por un cañón que imaginó
Newton hace más de tres siglos, la ISS está siempre cayendo hacia la
Tierra sin que impacte contra el suelo.

experimento mental
de **Newton**



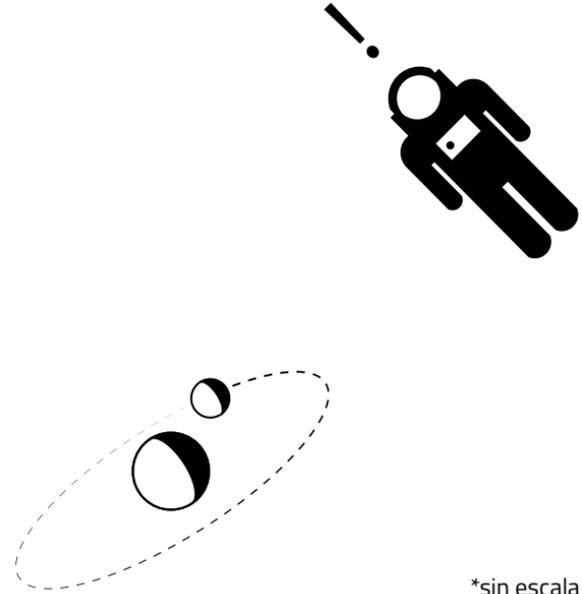
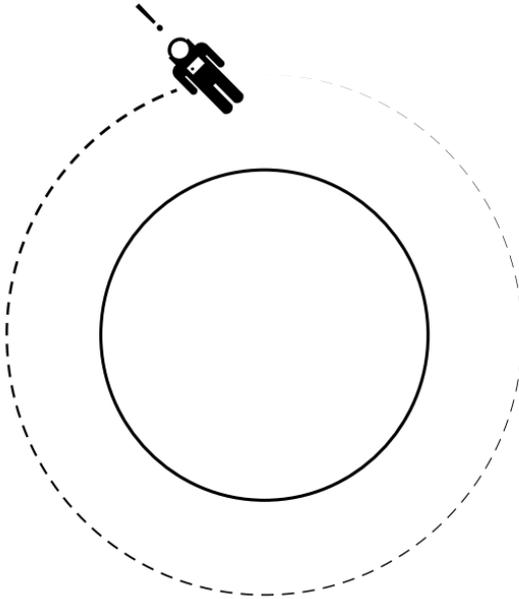
**Estación Espacial Internacional
(ISS)**



*sin escala

La sensación de "gravedad cero" es la misma tanto orbitando un cuerpo celeste en "caída libre" como "flotando" en medio del espacio.

sensación de "gravedad cero"

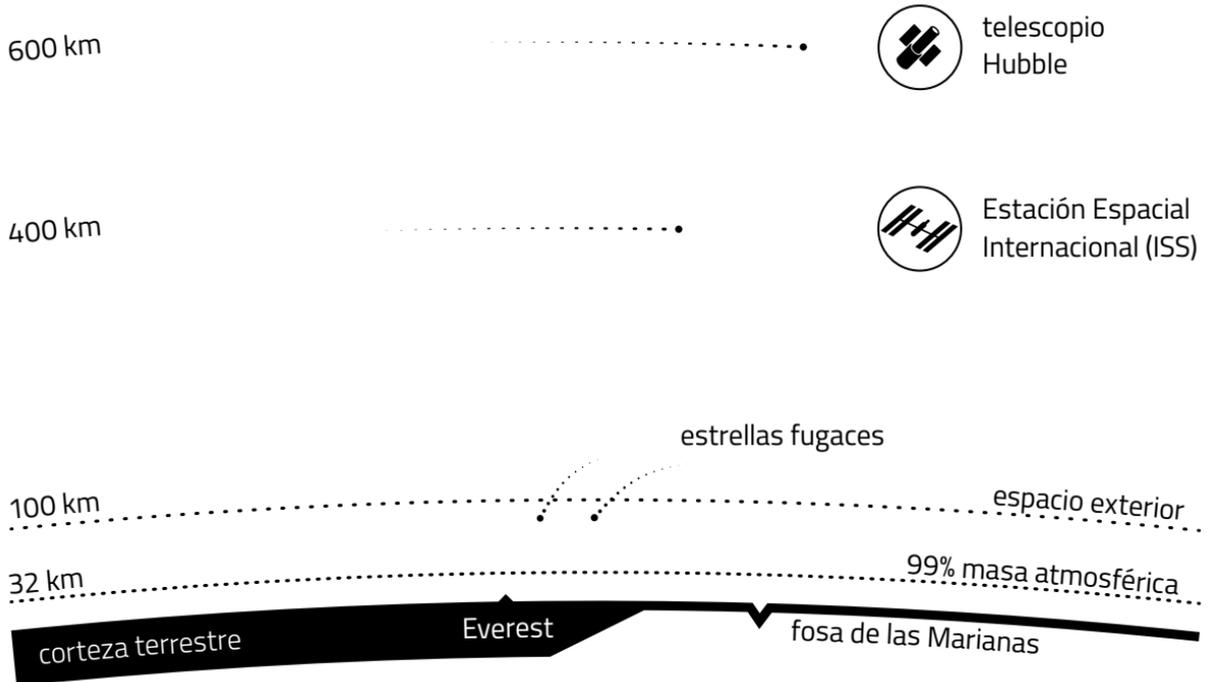


*sin escala

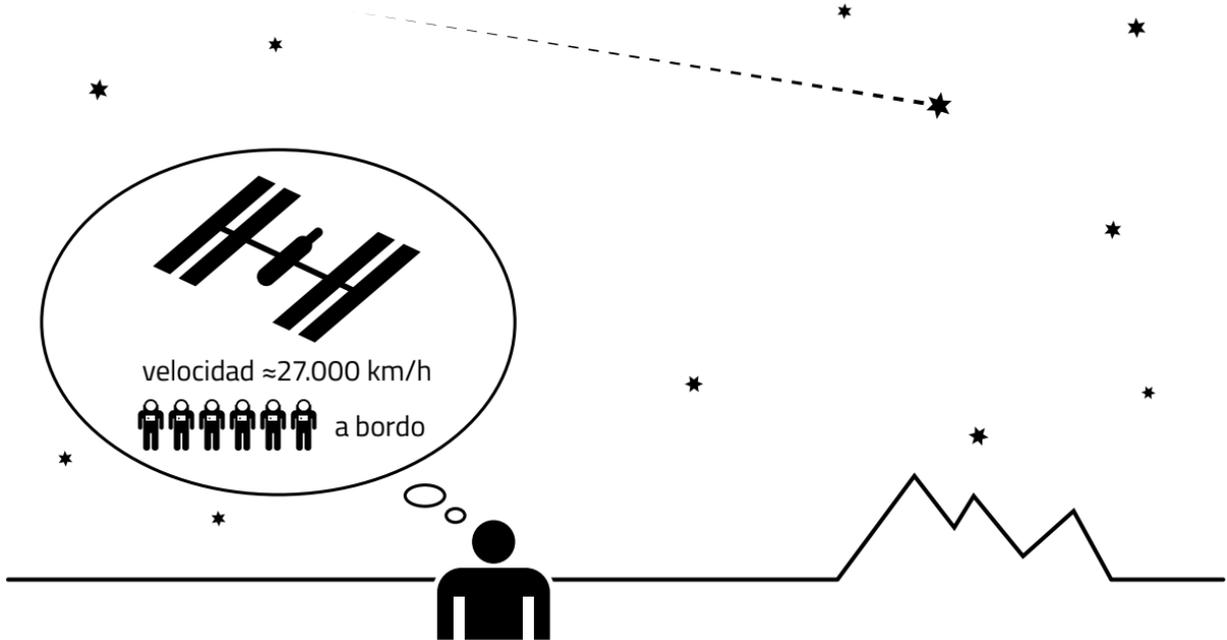
La atmósfera terrestre es extraordinariamente fina (y delicada).

¡Las estrellas fugaces se producen a tan solo unos 100 km de altura!

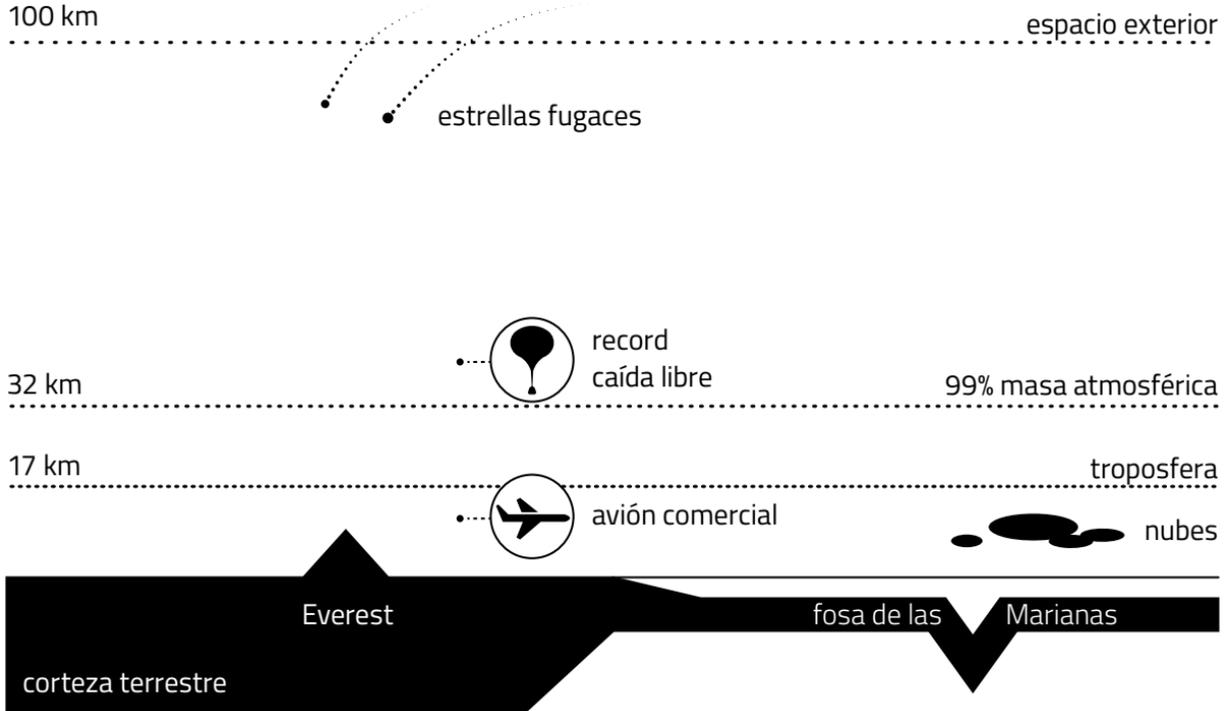
A partir de esta altura se considera que empieza el espacio exterior y el 99% de la masa atmosférica se halla más bajo todavía, a menos de 32 km.



La ISS llega a ser más brillante que cualquier estrella debido al reflejo de la luz solar sobre sus paneles, especialmente al amanecer y al atardecer. Para observarla puedes consultar fácilmente en internet el horario de pases más brillantes visibles desde tu ubicación. ¡Vale la pena!

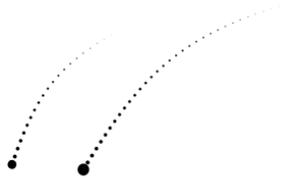


El punto más alto de la Tierra es el monte Everest, con unos 8'8 km de altura. El punto más profundo es la fosa de las Marianas, con unos 11 km.



Las estrellas fugaces, técnicamente llamadas meteoros, son del tamaño medio de un grano de arena. Al ingresar en la atmósfera terrestre a gran velocidad se desintegran dejando un rastro luminoso.

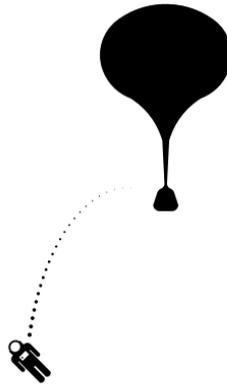
estrellas fugaces
(meteoros)



se producen
a ≈ 100 km altura

tamaño medio
un grano de arena

record caída libre



Alan Eustace
altura ≈ 41 km

velocidad máx. 1.300 km/h
año 2014

vuelo comercial

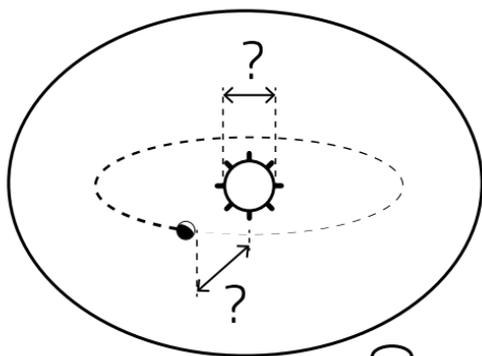
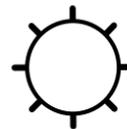


altura ≈ 11 km
(aprox. el Everest)

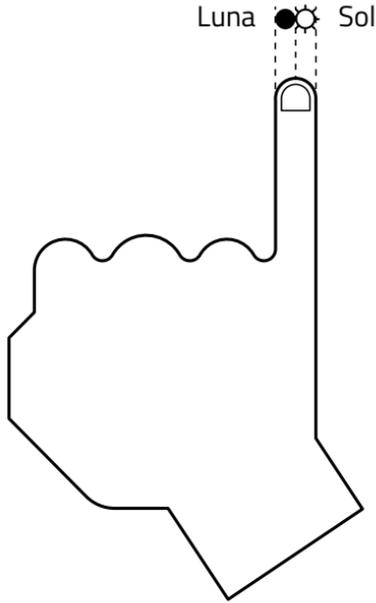
velocidad media
800 km/h

| Y el Sol... ¿Cómo es de grande? ¿Cómo está de lejos?

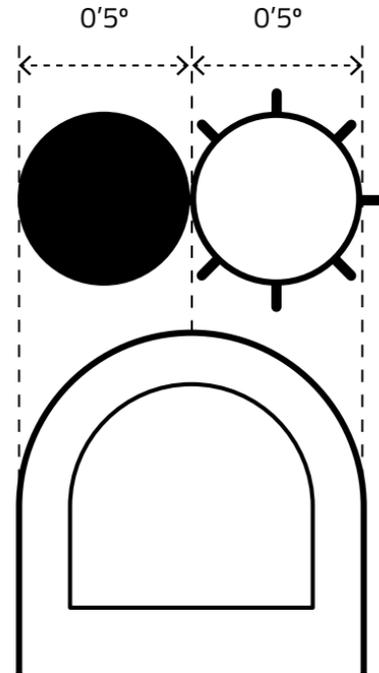
Luna, Tierra y Sol
30



Tanto el Sol como la Luna ocupan medio grado de visión.
¿Cómo es posible que tengan el mismo tamaño aparente?

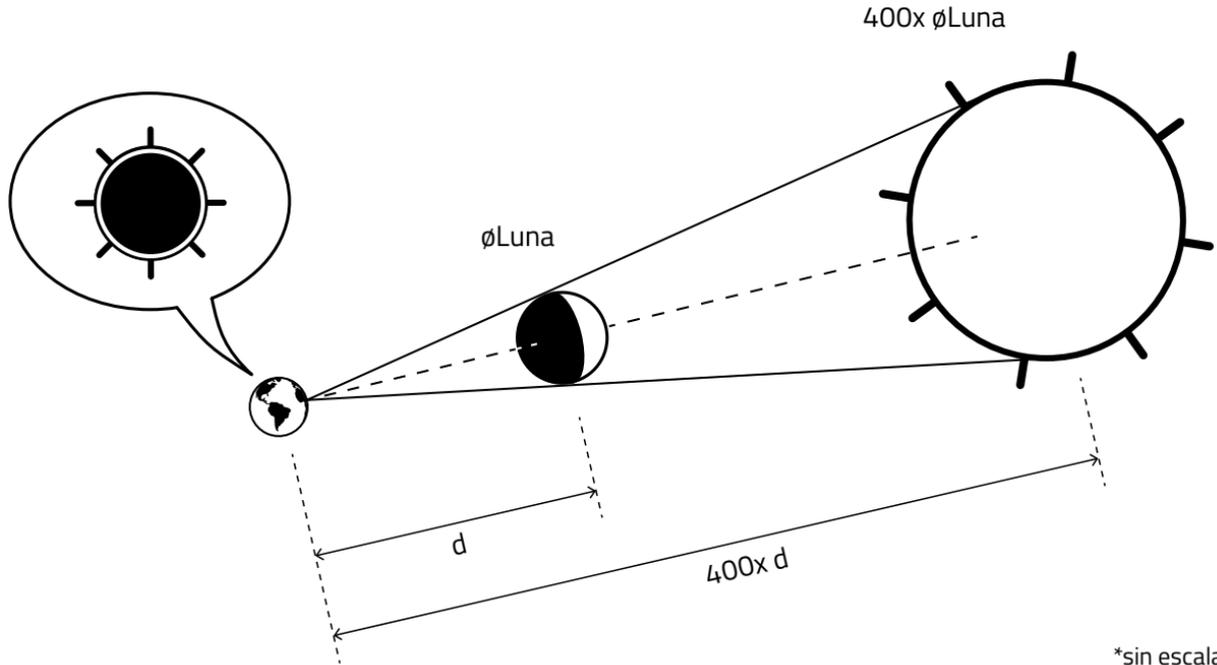


vistos desde la Tierra



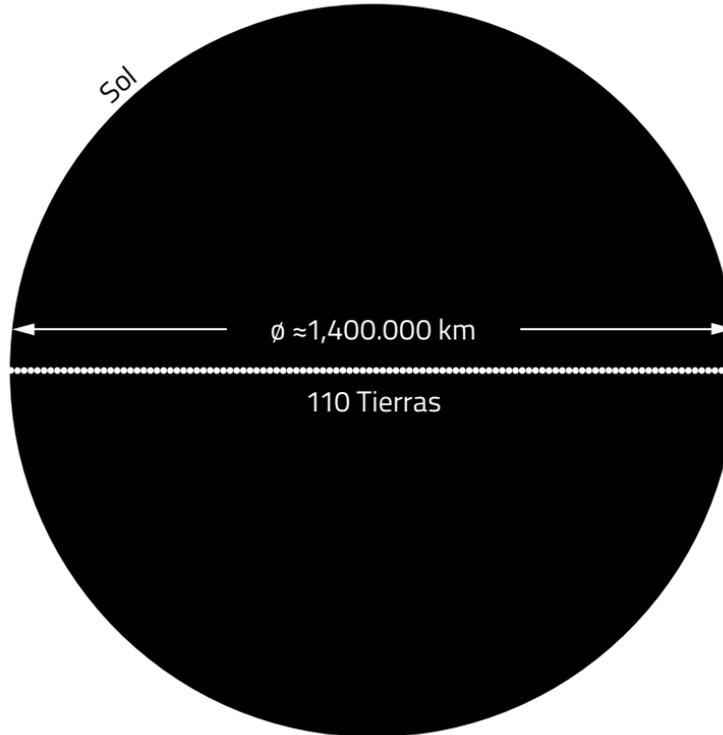
dedo meñique

El Sol es 400 veces más grande que la Luna... ¡y justamente se halla 400 veces más distante! Gracias a este hecho totalmente casual desde la Tierra podemos contemplar eclipses solares totales.

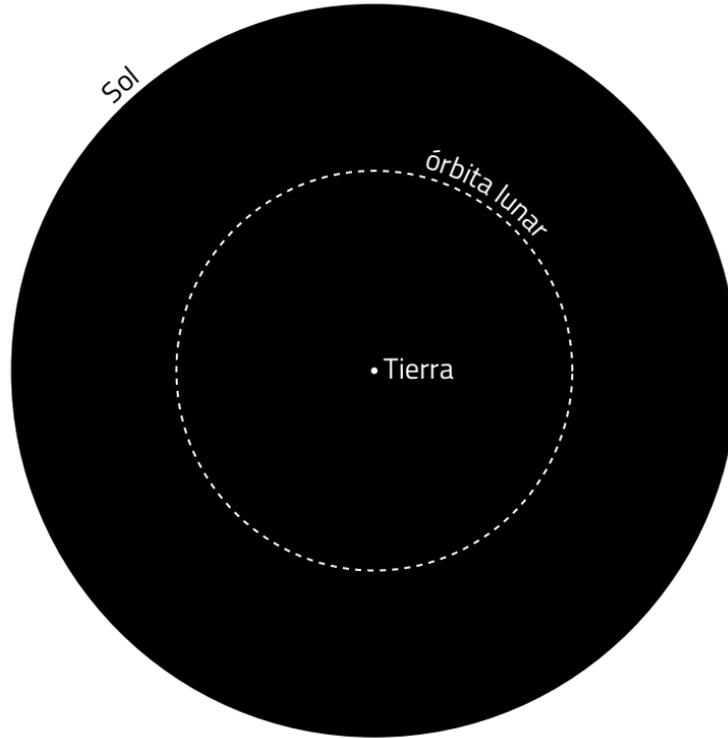


*sin escala

El diámetro del Sol es de aproximadamente 1,400.000 km.
En el Sol caben 110 Tierras alineadas una detrás de otra.



Imagina poner a la Tierra en el centro del Sol...
¡la órbita lunar apenas alcanzaría la mitad de su radio!

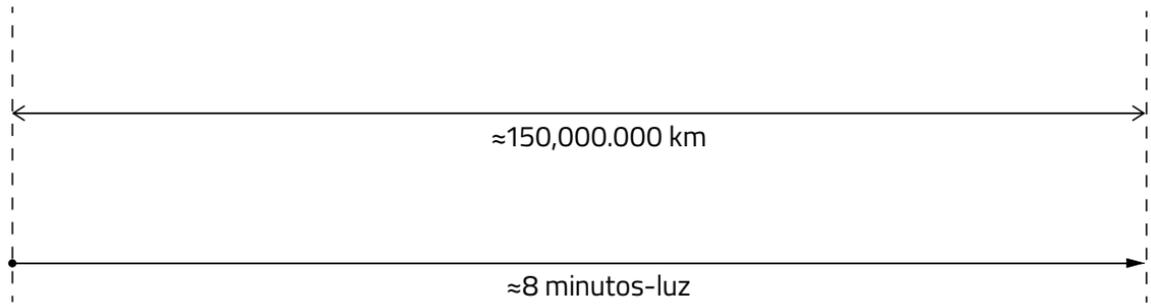


Esta es la distancia y el tamaño real a escala del Sol y la Tierra,
la cual aparece como un diminuto grano de arena...

La luz solar tarda unos 8 minutos en llegar a nosotros. ¡Por lo tanto
desde la Tierra siempre vemos el Sol como era hace 8 minutos!

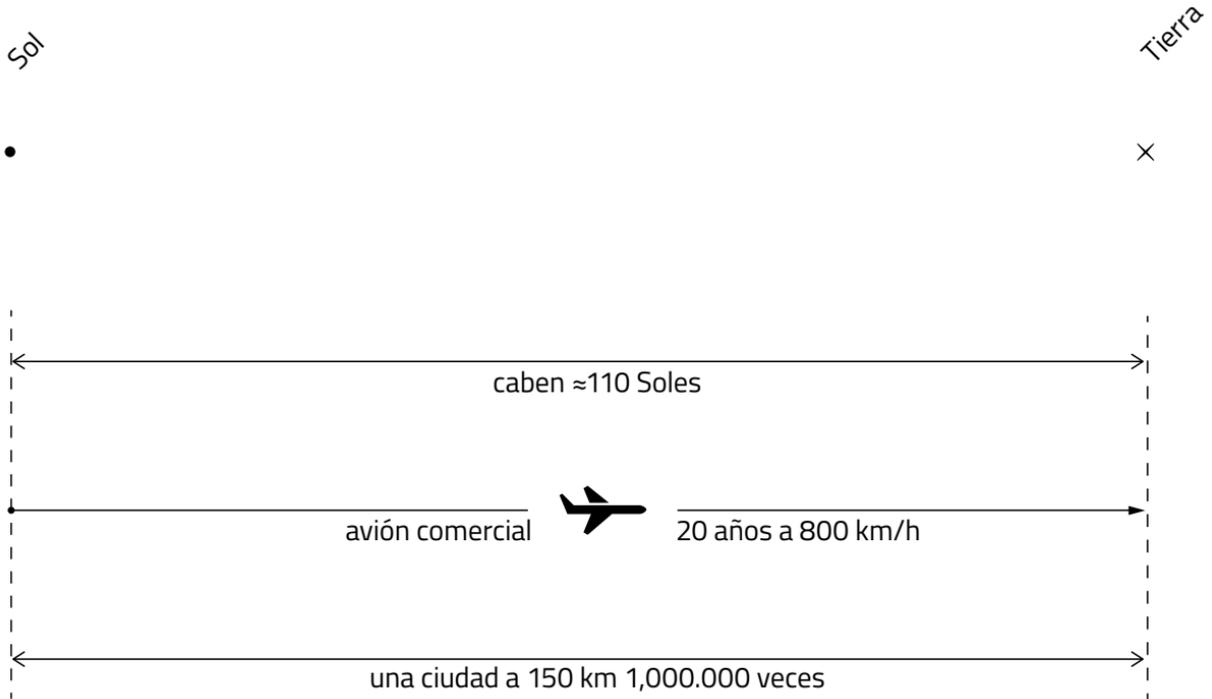
Sol

Tierra



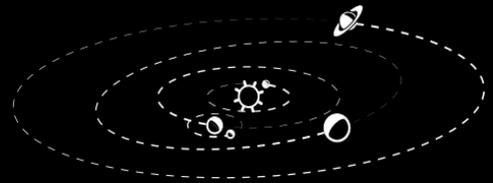
Para hacernos una idea... entre la Tierra y el Sol caben 110 Soles
alineados y un avión comercial emplearía más de 20 años en llegar.

Luna, Tierra y Sol
36



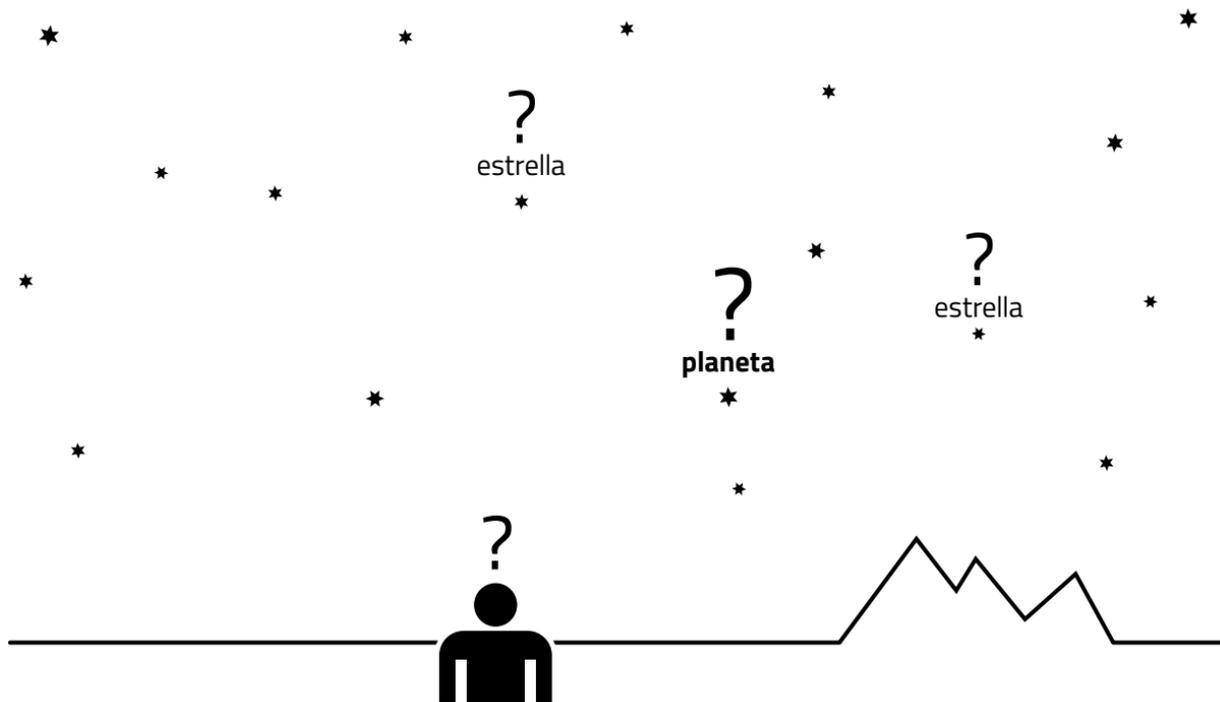
Capítulo 2

Los planetas



Algunas "estrellas" son en realidad planetas.
¿Cómo distinguirlos sin utilizar un telescopio?

Los planetas
38



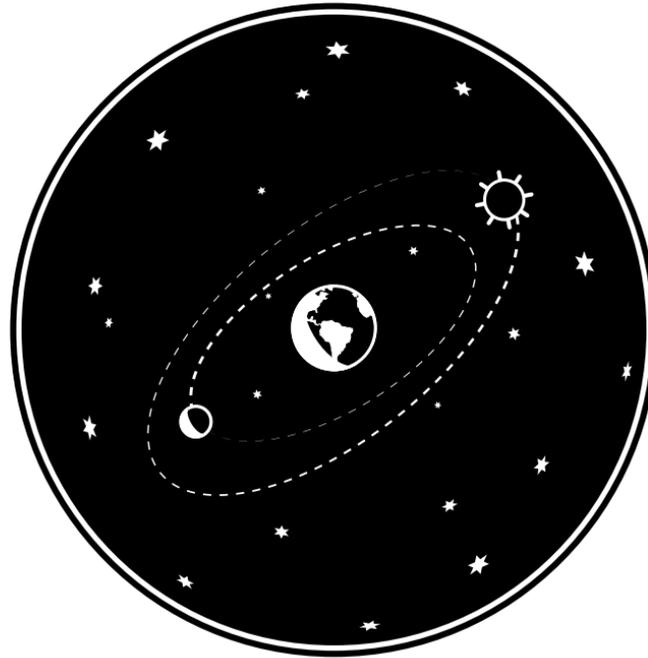
Las 4 "estrellas" más brillantes del firmamento son realmente planetas. 5 planetas del Sistema Solar son visibles a simple vista. No emiten luz propia: como la Luna reflejan la luz del Sol. ¡El Sistema Solar es lo más brillante del cielo! De hecho, al amanecer y al atardecer la primera "estrella" visible es casi siempre un planeta. Los planetas del Sistema Solar son visibles incluso desde las grandes ciudades.

Top 10 "estrellas" más brillantes del firmamento

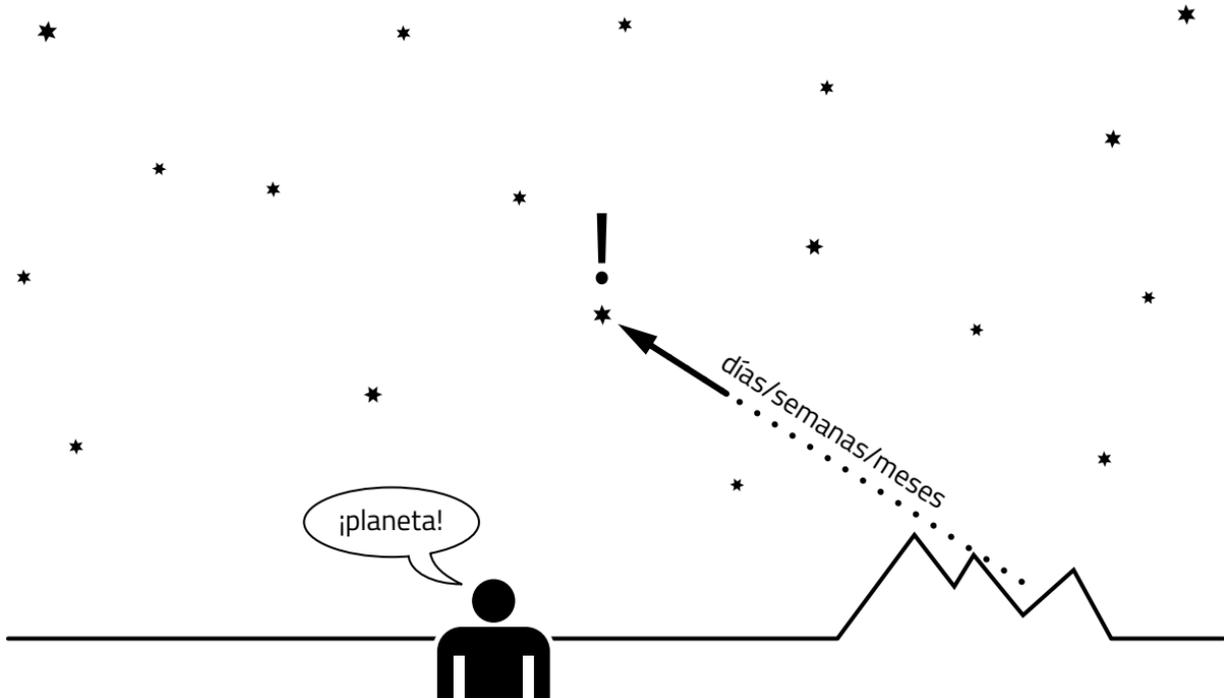
☉ 1° Venus - - - -	★ 6° Canopus ↓
☉ 2° Júpiter - - - -	☉ 7° Saturno - - - -
☉ 3° Marte - - - -	★ 8° Alpha Centauri ↓
☉ 4° Mercurio - - - -	★ 9° Arcturus ↑
★ 5° Sirius ↑	★ 10° Vega ↑

☉ planeta	- - - -	cerca del ecuador celeste
★ estrella	↑ / ↓	hemisferio celeste Norte/Sur

Las estrellas son soles distantes. Tan distantes que su movimiento es imperceptible a lo largo de los días, las semanas, los meses e incluso los años. ¡En 10.000 años de civilización la posición relativa entre ellas apenas ha variado! De ahí que al cielo se le llame firmamento: de "firme". Los antiguos pensaban que se trataba de una enorme esfera rígida.



Los planetas varían lentamente su posición respecto al fondo aparentemente fijo de estrellas a lo largo de los días, las semanas y los meses. De hecho "planeta" significa "estrella errante". Antiguamente el Sol y la Luna también eran considerados "planetas".



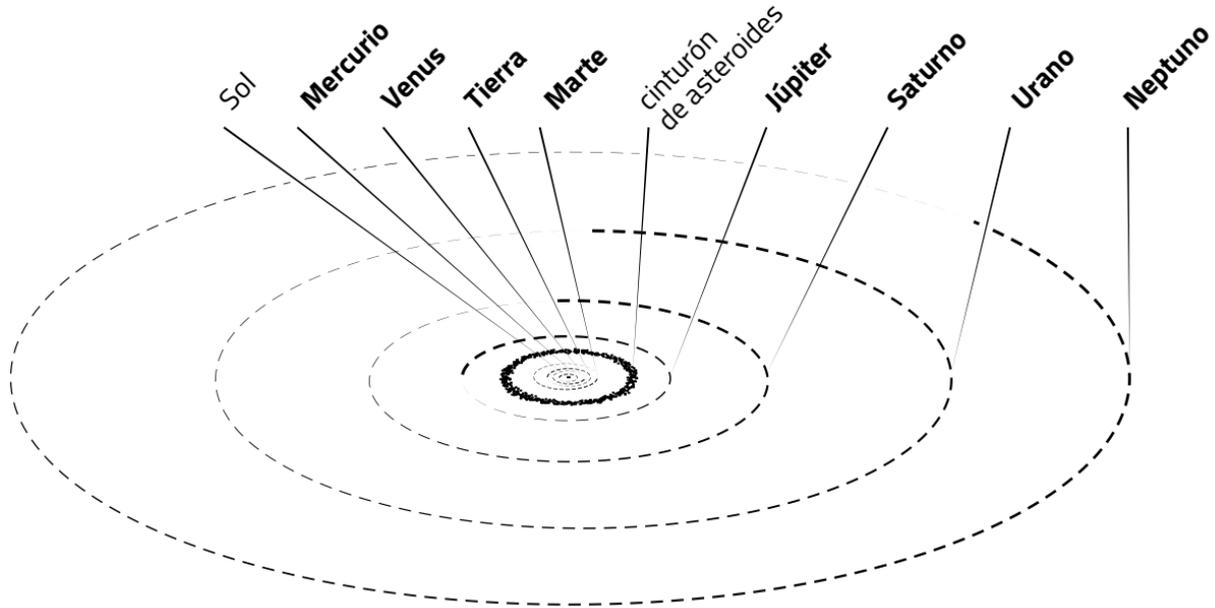
En la antigüedad, el Sol, la Luna y los 5 planetas visibles sin telescopio eran considerados dioses. Al fin y al cabo se movían libremente comparados con las estrellas, y de forma incomprensible.

En el ≈ 1000 a.C. los babilonios introdujeron la semana de 7 días: 1 día dedicado a cada uno de los 7 planetas, o dioses.

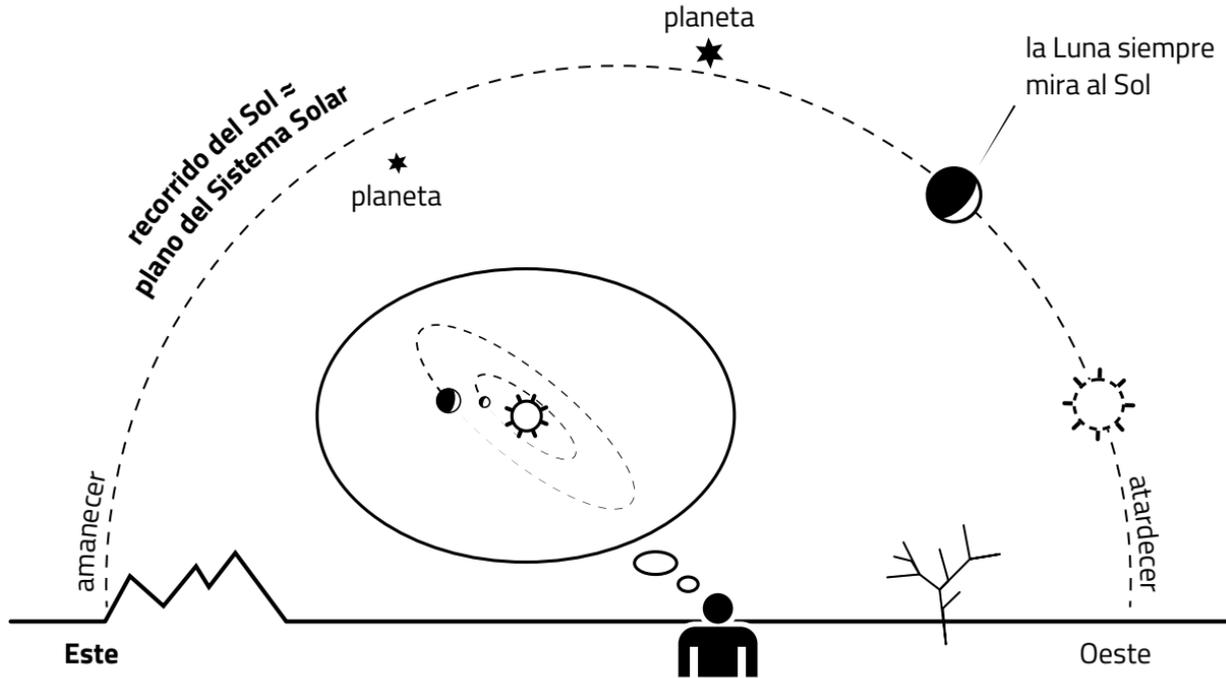
	día	dios
1°	Lunes / Monday	Luna / Moon
2°	Martes	Marte
3°	Miércoles	Mercurio
4°	Jueves	Júpiter
5°	Viernes	Venus
6°	Sábado / Saturday	Saturno / Saturn
7°	Domingo / Sunday	Sol / Sun

*(español / inglés)

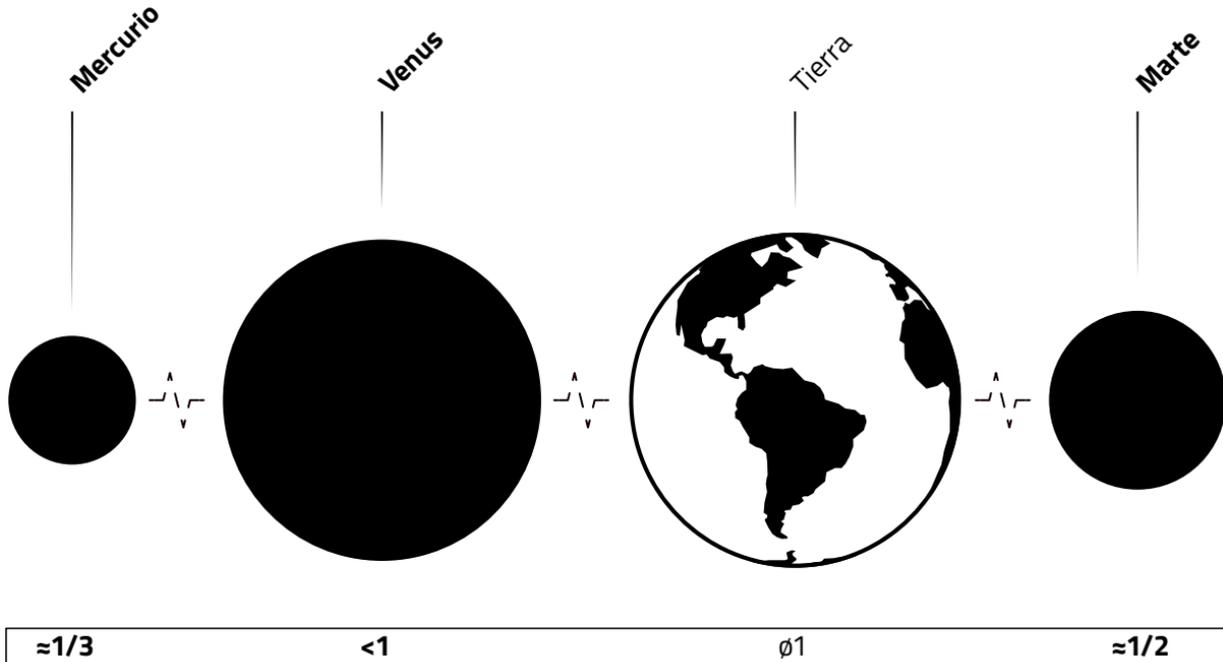
Las órbitas de los planetas del Sistema Solar son casi perfectamente circulares. En el dibujo las vemos en perspectiva. A esta escala, el Sol y los planetas son puntos imperceptibles. Todos se formaron a partir del mismo disco protoplanetario, y por eso sus órbitas son casi coplanarias. Visto desde el Norte todos los planetas giran en sentido antihorario.



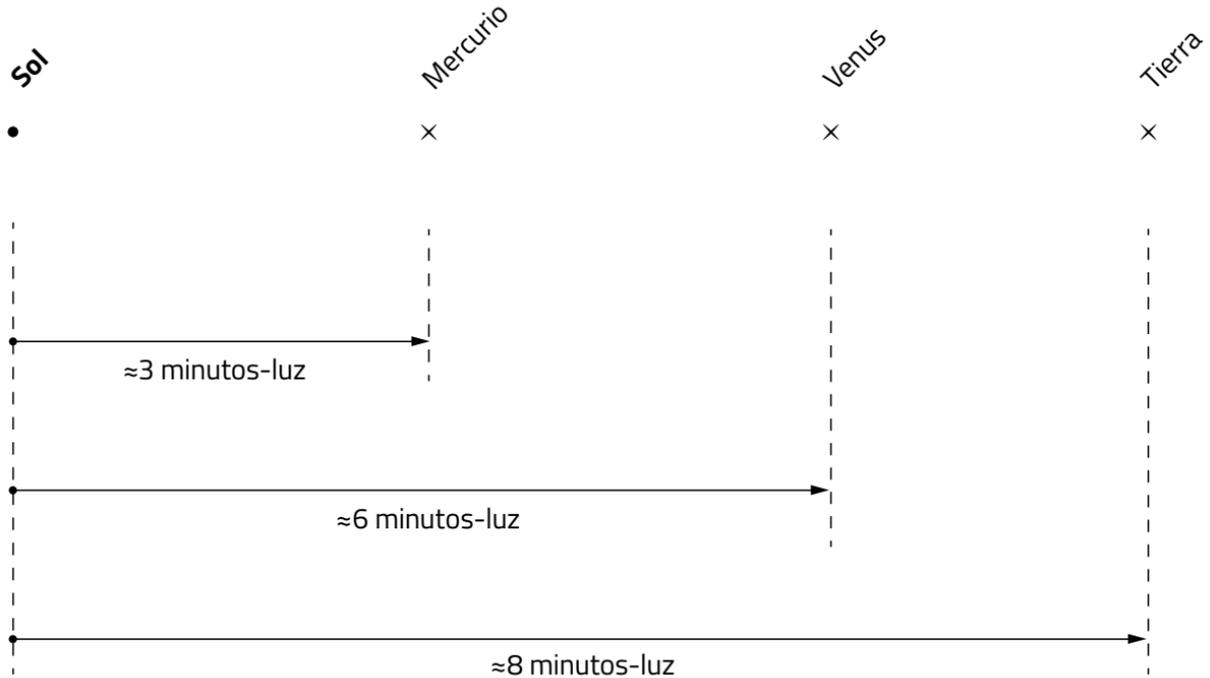
Imagina una línea por donde pasa el Sol durante su recorrido diario.
La Luna y los planetas se encuentran siempre cerca de esta línea imaginaria, que es aproximadamente el plano del Sistema Solar.
"Planeta" no viene de "plano", pero sirve como regla mnemotécnica.



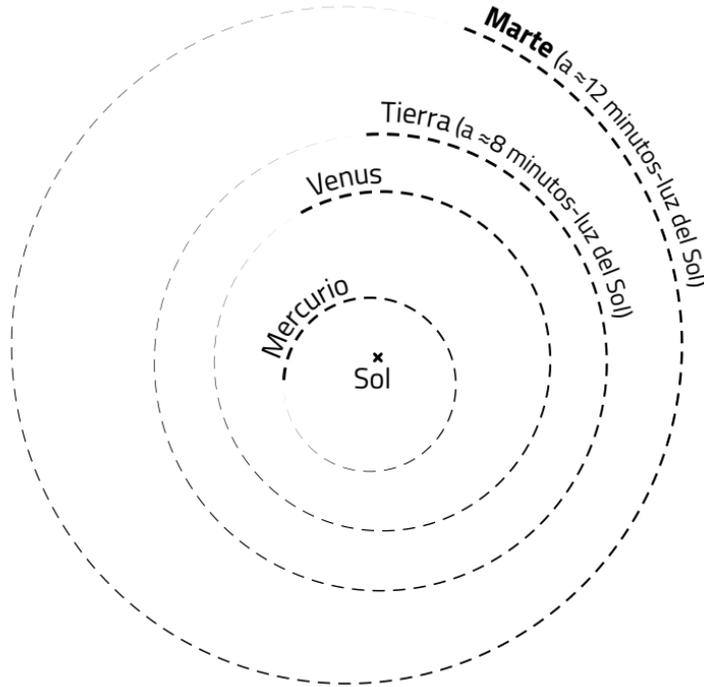
¿Cómo son de grandes los planetas? La Tierra es el mayor de los 4 planetas más cercanos al Sol, llamados interiores o rocosos. Venus tiene prácticamente el mismo tamaño, aunque es ligeramente menor. Marte es aproximadamente la mitad. Mercurio, el planeta más pequeño de todos, es un tercio el tamaño de la Tierra y es poco mayor que nuestra Luna.



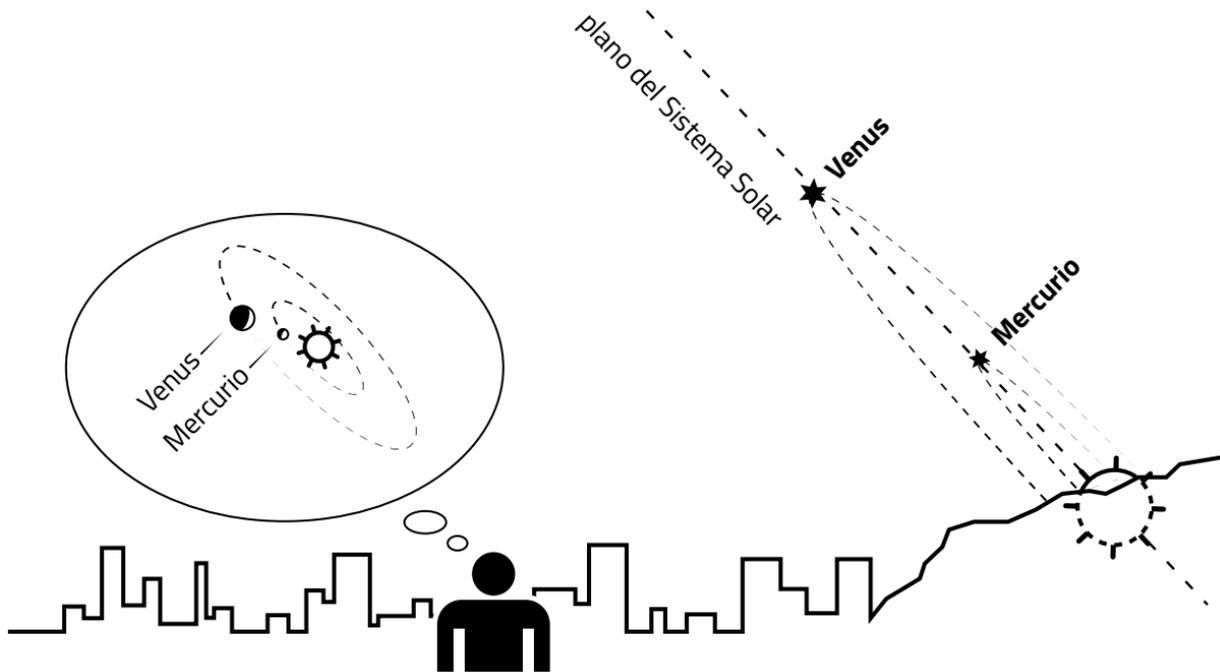
Este es el tamaño del Sol y su distancia a escala respecto a los 3 primeros planetas del Sistema Solar...
Las distancias son enormes y los planetas son puntos minúsculos.



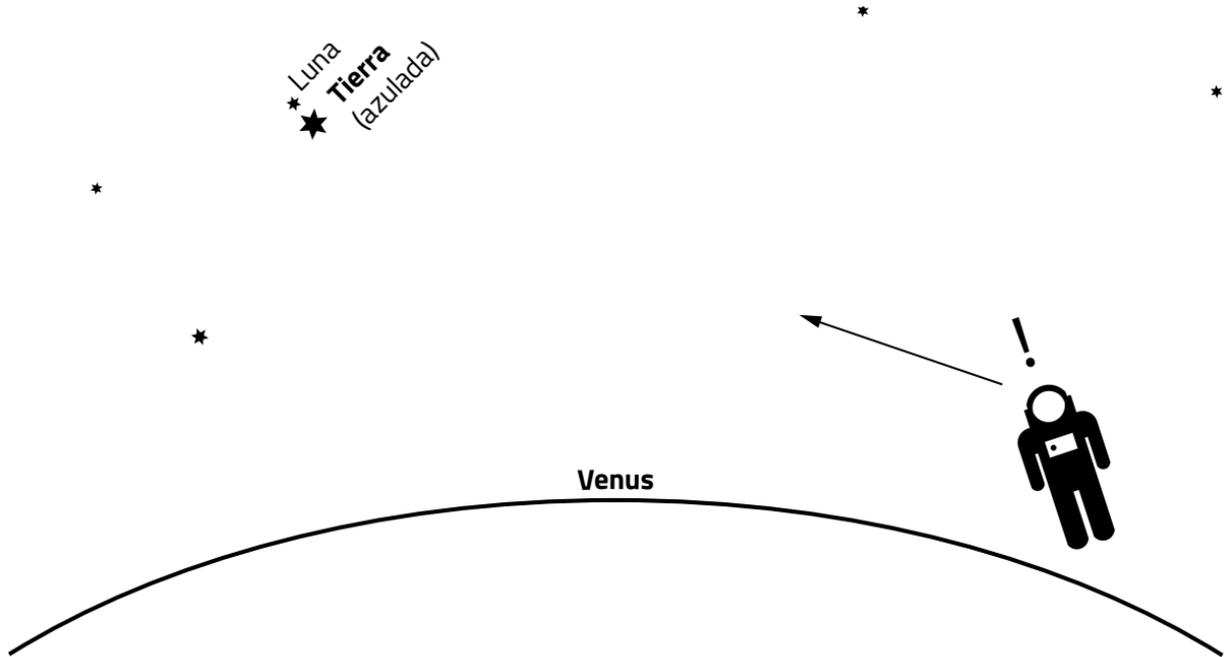
Estas son las órbitas de los 4 planetas llamados interiores o rocosos. Sus órbitas son ligeramente elípticas, casi totalmente circulares. Las de Marte y Mercurio son las más excéntricas y descentradas respecto al Sol.



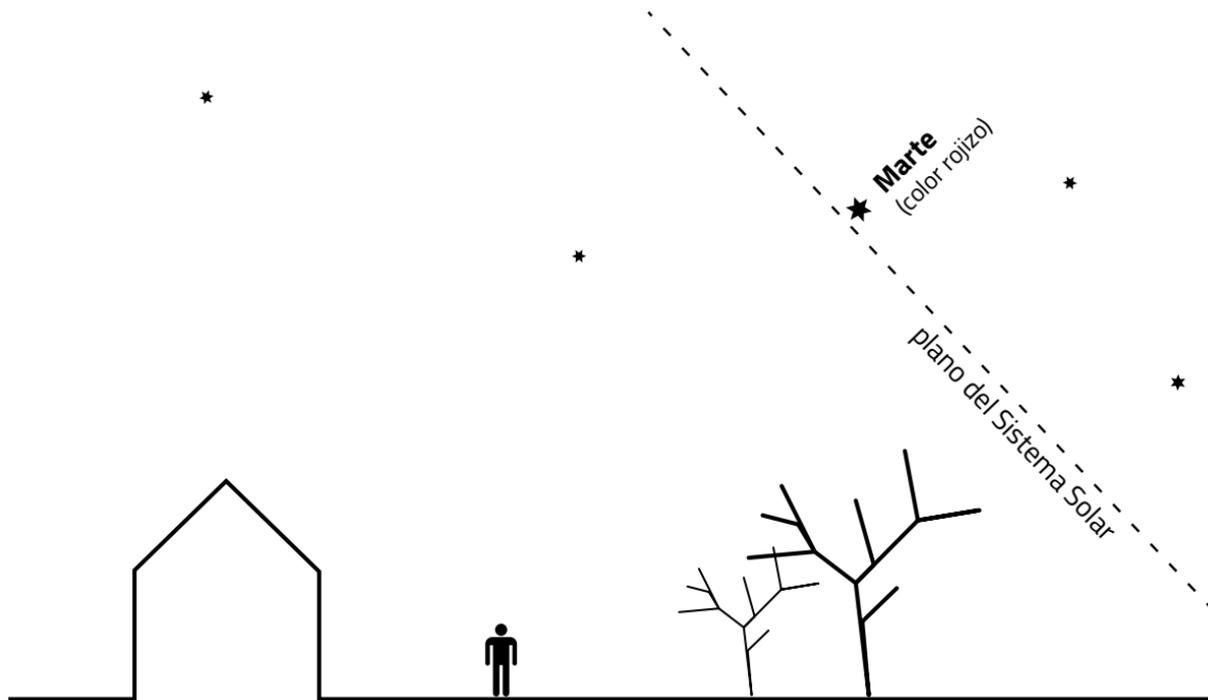
Venus y Mercurio son los planetas que más próximos orbitan al Sol. Por eso durante el amanecer o el atardecer si vemos una estrella muy brillante cerca del horizonte es muy probable que en realidad estemos viendo un planeta. Muy posiblemente nuestro vecino y "gemelo" Venus, ya que es la "estrella" más brillante del firmamento.



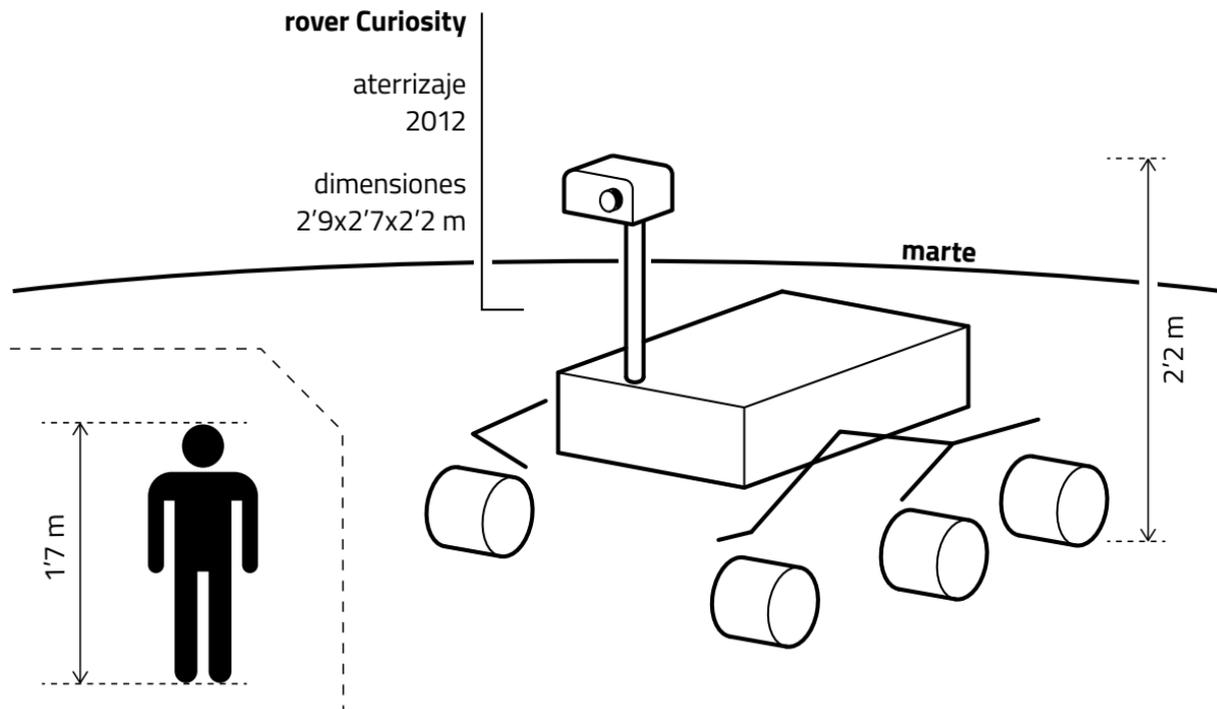
Siendo Venus y la Tierra planetas del mismo tamaño, desde Venus veríamos la Tierra exactamente igual a como vemos Venus desde aquí. Sería una simple "estrella", la más brillante, pero ligeramente azulada y con una pequeña compañera, la Luna. Es decir, de alguna forma, ver Venus es como ver nuestra Tierra desde fuera. Sin trampa ni cartón.



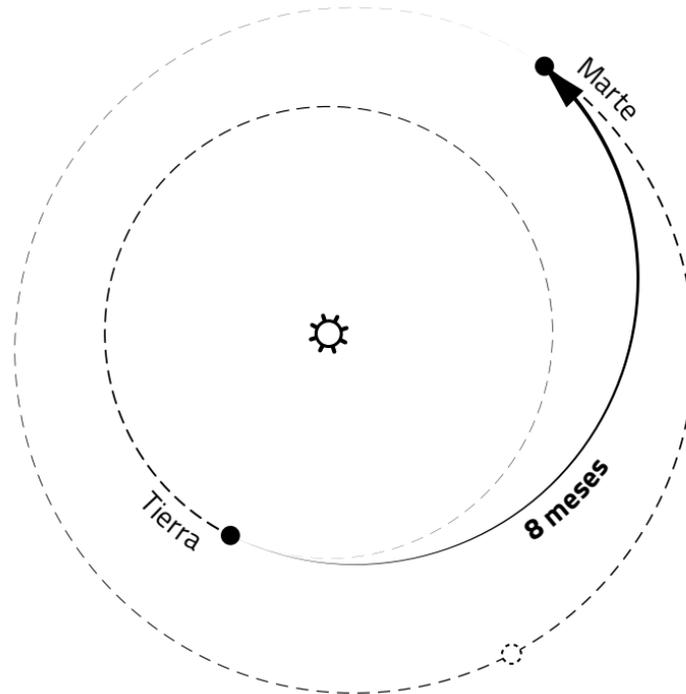
Una estrella rojiza y brillante en la línea imaginaria del plano del Sistema Solar, incluso en cielos no muy oscuros, tal vez sea Marte.
Nuestro vecino el planeta rojo.



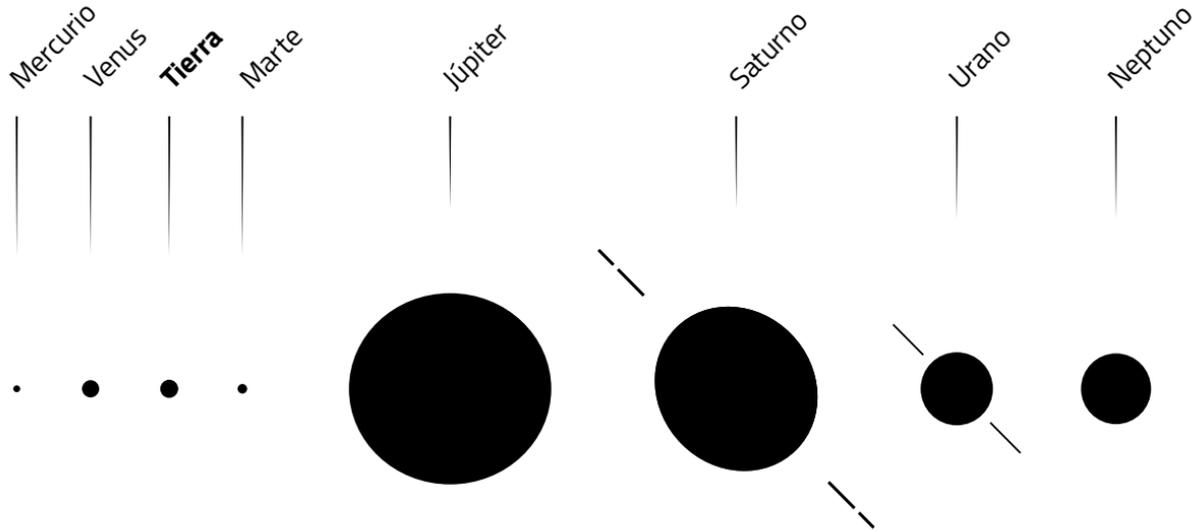
A Marte se han enviado varios rovers robóticos no tripulados, como el Curiosity. Es muy probable que sea el primer planeta pisado por el ser humano.



El viaje del Curiosity hasta Marte fue de unos 8 meses.
¡Y eso que nuestro vecino Marte está relativamente cerca!
Las distancias en el espacio son realmente inmensas y el trayecto
más corto no siempre es la línea recta.

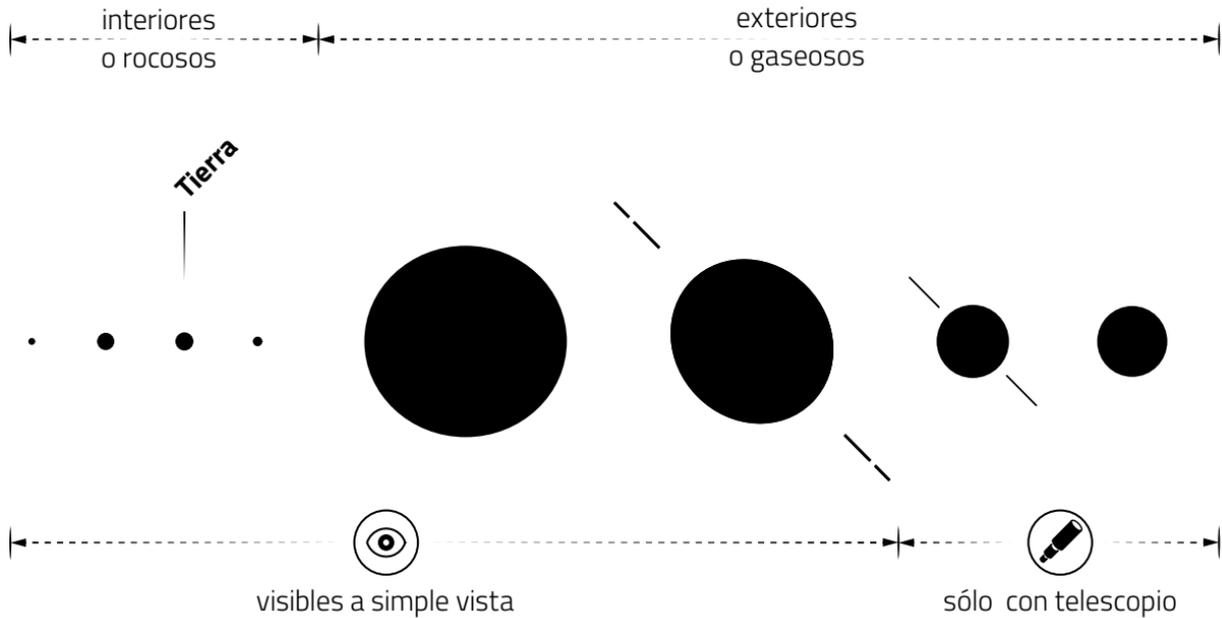


Esta es una comparativa de tamaño (no de distancias) de los 8 planetas del Sistema Solar. El gigante gaseoso Júpiter es el mayor. Saturno, muy achatado por los polos, es el segundo en tamaño. Los espectaculares anillos de Saturno y Urano también están dibujados a escala.

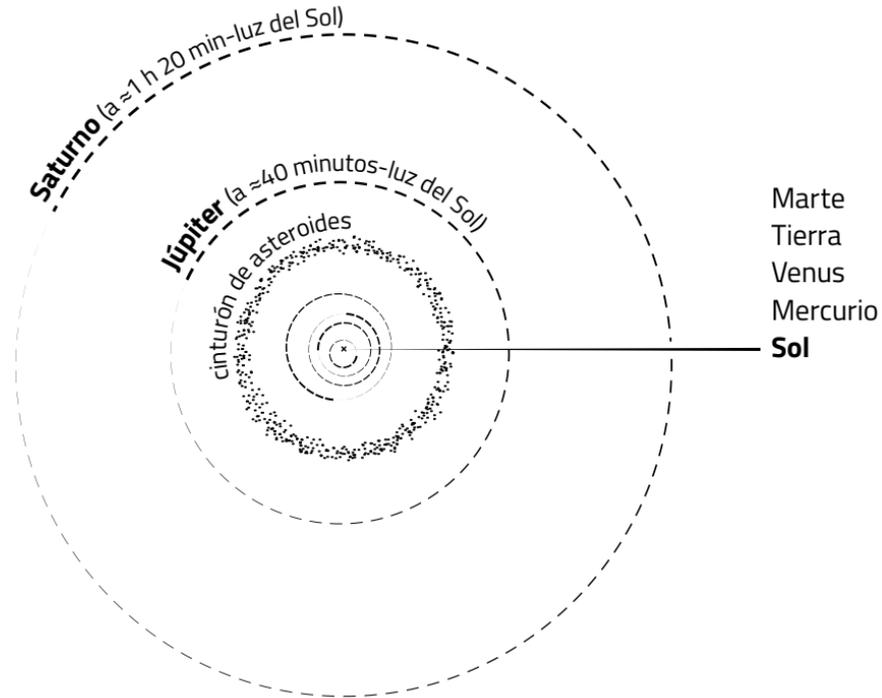


≈1/3	<1	∅1	≈1/2	≈11	≈9	≈4	≈4
------	----	-----------	------	-----	----	----	----

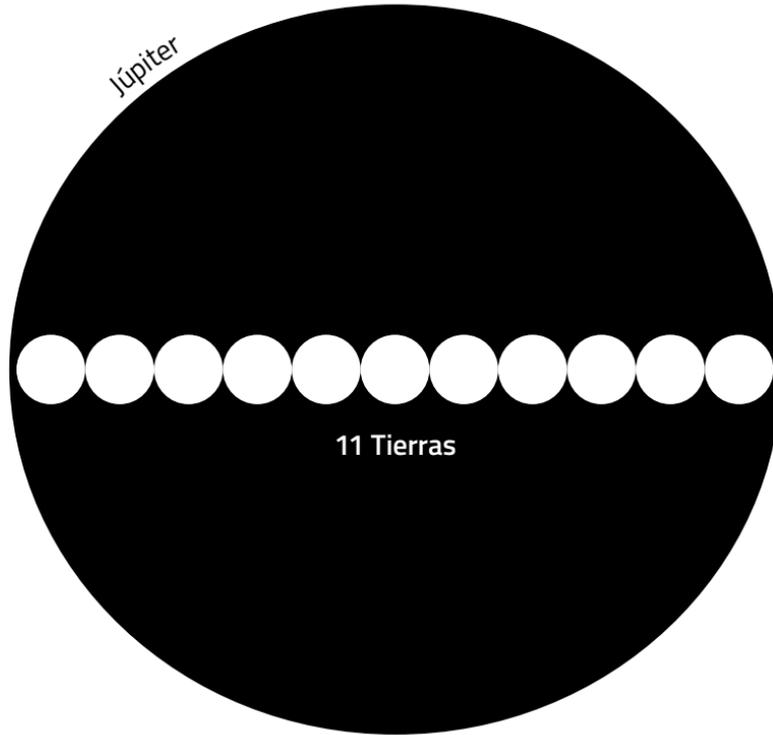
Los 4 primeros planetas están formados principalmente por materiales rocosos y metálicos, mientras que los 4 exteriores, más allá del cinturón de asteroides, están formados en su mayoría de hidrógeno y helio.



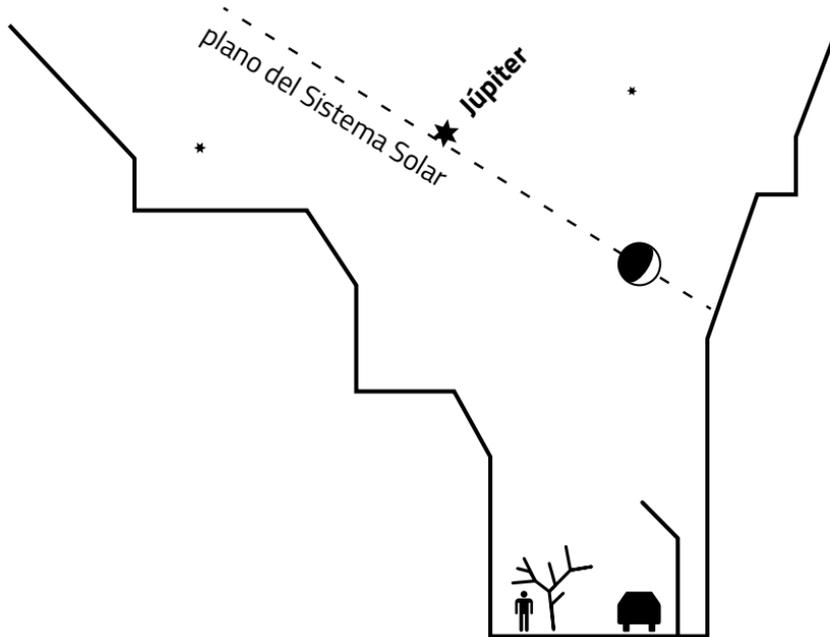
Júpiter gracias a su gran tamaño es la 2ª “estrella” más brillante del firmamento a pesar de estar a unos 40 minutos-luz del Sol. Saturno, a casi el doble de distancia, es el planeta más lejano visible a simple vista.



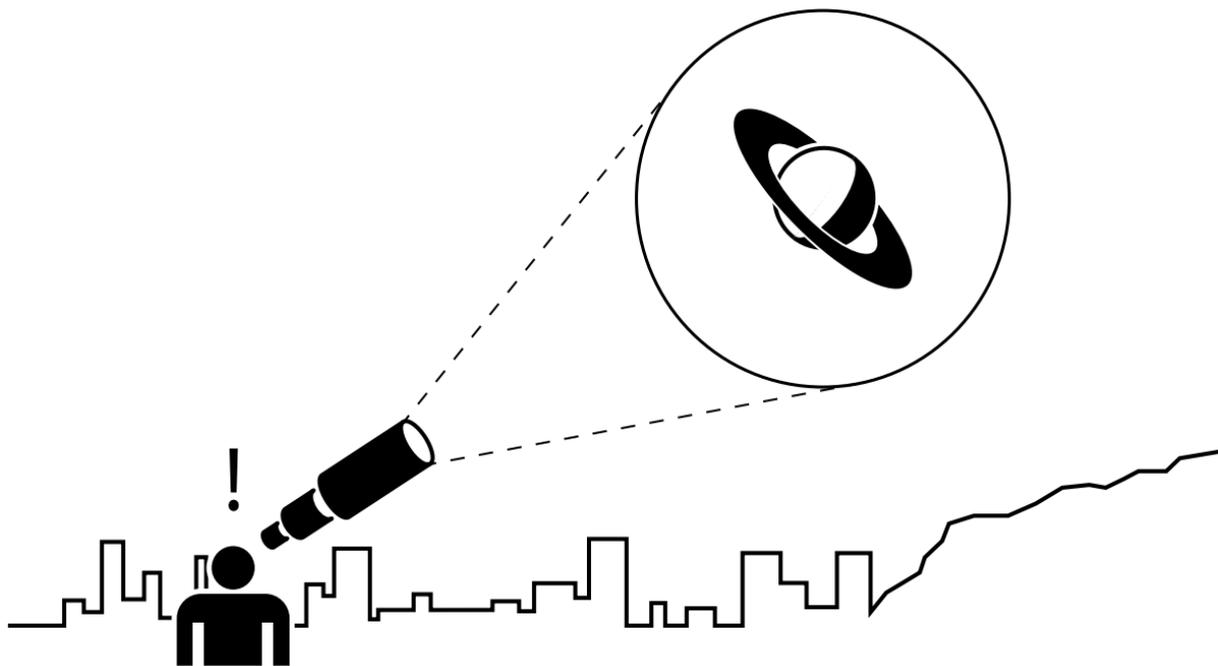
Júpiter es tan grande que su diámetro mide 11 Tierras. Cada 10 horas da un giro sobre sí mismo, lo que hace que esté muy achatado por los polos.



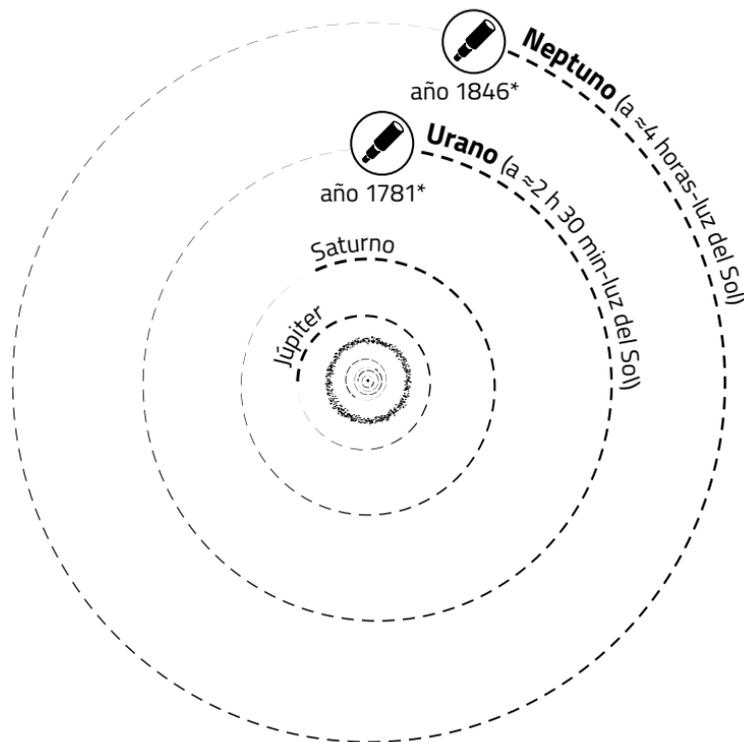
La imagen de los planetas "centellea" menos que la de las estrellas debido a que están mucho más cerca de nosotros. Si una "estrella" muy brillante y estable te llama la atención, incluso con muy malas condiciones de visibilidad como en una gran ciudad, es fácil que sea Júpiter o Venus.



Saturno es el planeta del majestuoso anillo. Es la 7ª "estrella" más brillante del firmamento. El anillo son en realidad millones de partículas de hielo en órbita. Las asociaciones astronómicas locales suelen realizar jornadas de puertas abiertas con potentes telescopios: no pierdas la ocasión de verlo, ¡es espectacular!

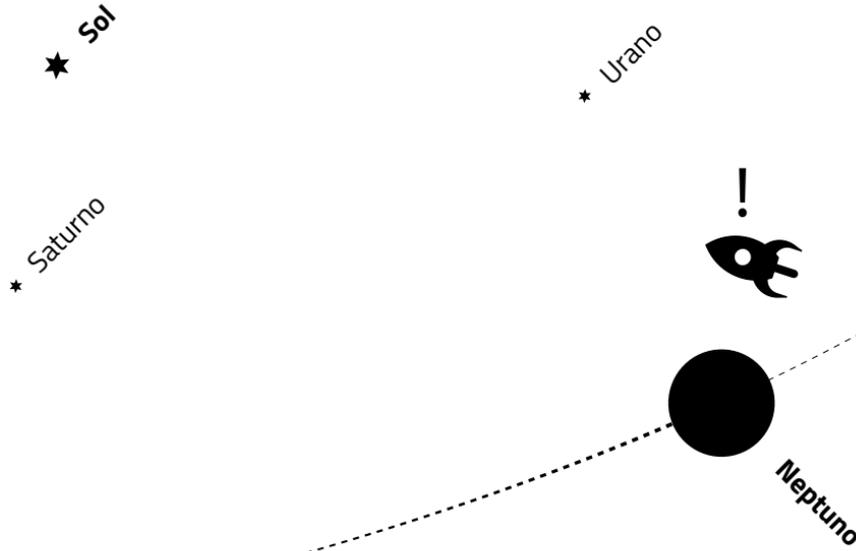


Urano y Neptuno son tan distantes que sólo son visibles mediante telescopio. Neptuno es el planeta más lejano, a unas 4 horas-luz del Sol.



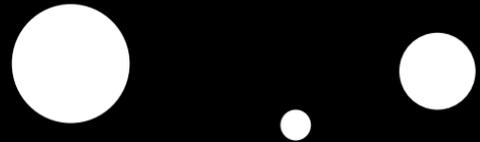
*año de descubrimiento

Piensa que desde la Tierra estamos a sólo unos 8 minutos-luz del Sol... Desde Neptuno veríamos el Sol tan pequeño que tendría el aspecto de una estrella más. La estrella más brillante del firmamento.

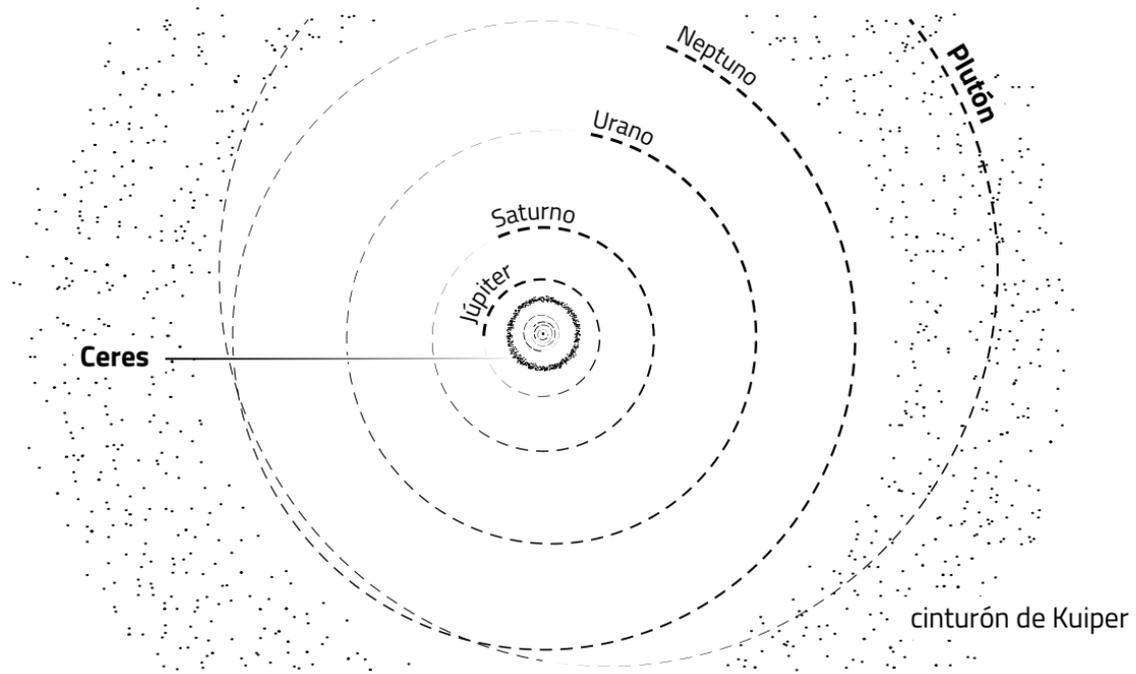


Capítulo 3

Planetas enanos y lunas



Los planetas enanos son básicamente pequeños planetas con gran cantidad de material en su órbita. Más allá de Neptuno existe una región con hielo, polvo y roca conocida como el cinturón de Kuiper donde se encuentra el planeta enano Plutón. Sin embargo, el planeta enano más cercano al Sol es Ceres, en el cinturón de asteroides.



En el cinturón de Kuiper se encuentran, con Plutón, los planetas enanos Haumea, Makemake y Eris. Esta es una comparativa de sus tamaños y distancias al Sol. Tienen un tamaño similar a nuestra Luna. Más allá de Neptuno, existen multitud de pequeños planetoides y objetos transneptunianos.



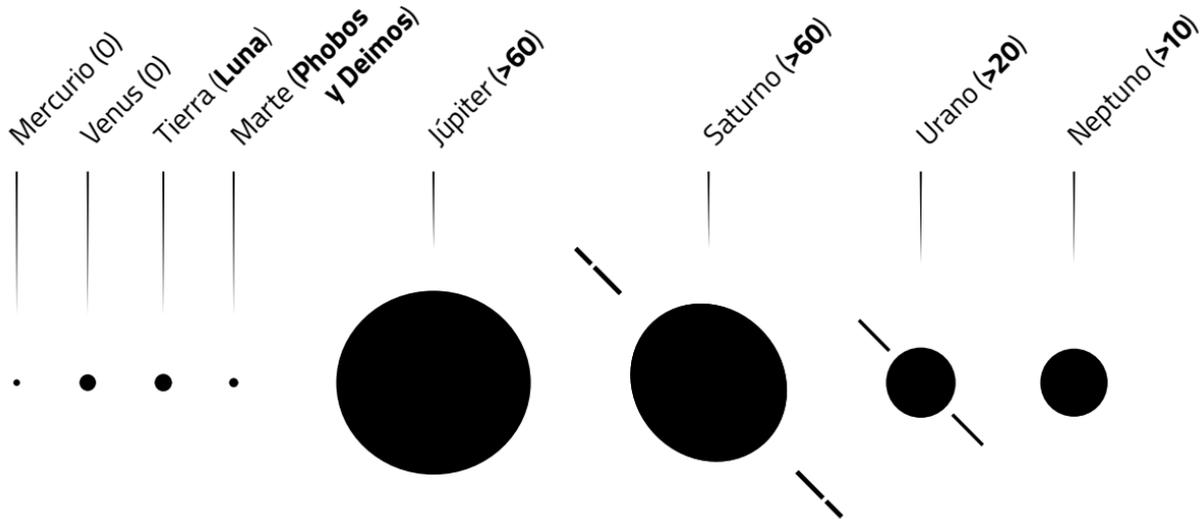
Luna

planetas enanos

	Ceres	≈20 minutos-luz
	Plutón	≈5 horas-luz
	Haumea	≈5'5 horas-luz
	Makemake	≈6 horas luz
	Eris	≈9 horas-luz
	(nombre)	(distancia al Sol)

¿Cuántas lunas hay en el Sistema Solar? Los 8 planetas juntos suman más de 160 lunas conocidas, casi la totalidad orbitando los 4 planetas gigantes. De hecho, Mercurio y Venus no tienen ninguna luna, la Tierra sólo una y Marte dos minúsculas. La inmensa mayoría de lunas son tan pequeñas que ni siquiera son esféricas, tienen el aspecto de asteroides. No es casualidad que muchas de ellas sean de hecho asteroides capturados por la gravedad de su planeta anfitrión.

lunas de los planetas



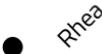
Las ilustradas aquí son las lunas mayores del Sistema Solar, es decir, aquellas en las que, por su gran cantidad de masa, la materia se comporta de forma plástica formando una esfera. Las lunas más pequeñas de las aquí representadas tienen un aspecto "apatatado".



Júpiter



Saturno



Urano



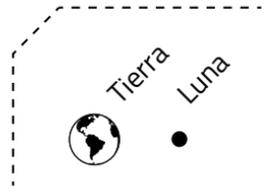
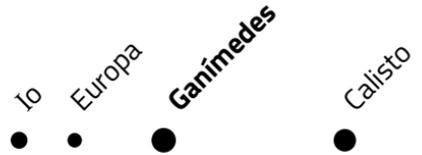
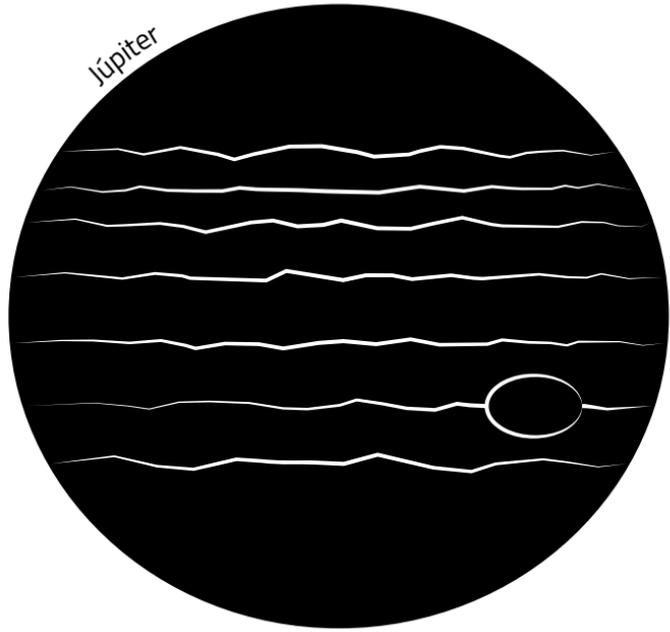
Neptuno



Plutón
(planeta enano)



Estas son las 4 lunas mayores de Júpiter. Se trata de una comparativa de sus tamaños a escala, no de las distancias entre ellas. Ganímedes es la luna más grande conocida de todo el Sistema Solar.



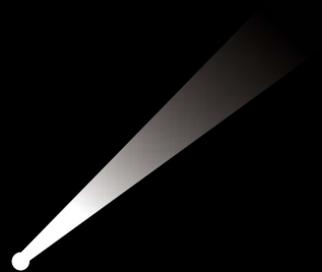
*distancias entre objetos no reales

Aquí podemos ver la distancia real a escala y el tamaño de las 4 lunas mayores de Júpiter. Vistas con un telescopio tienen el aspecto de pequeños puntos de luz que orbitan Júpiter. El primero en observarlas fue Galileo en 1610, por lo que se conocen como "lunas galileanas".

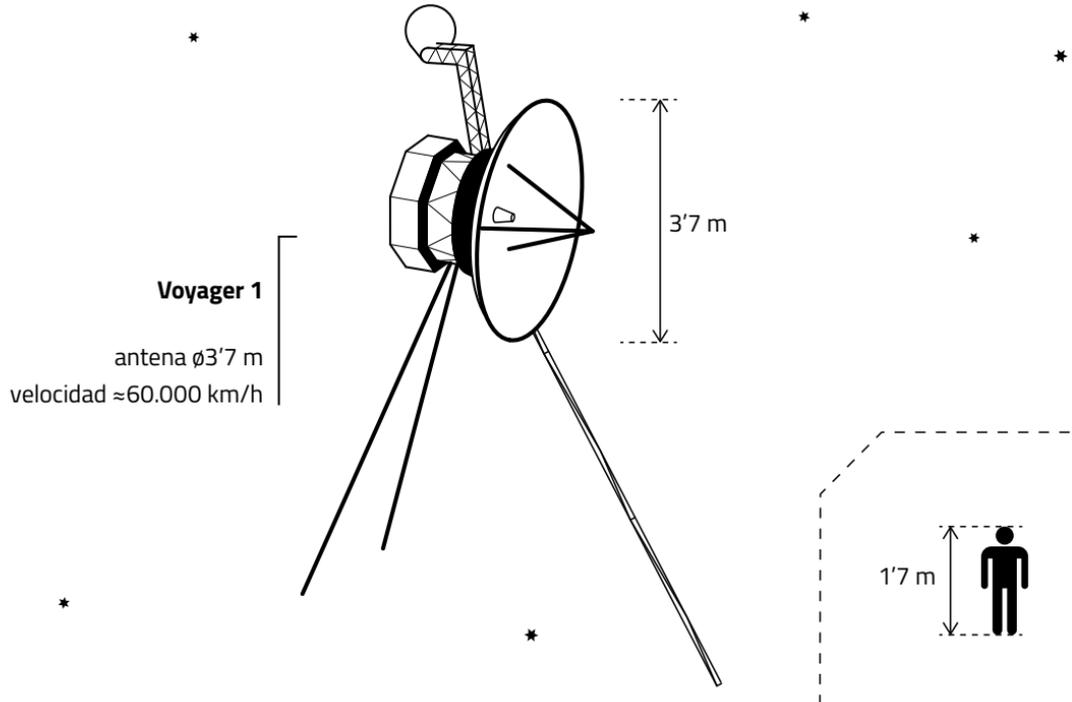


Capítulo 4

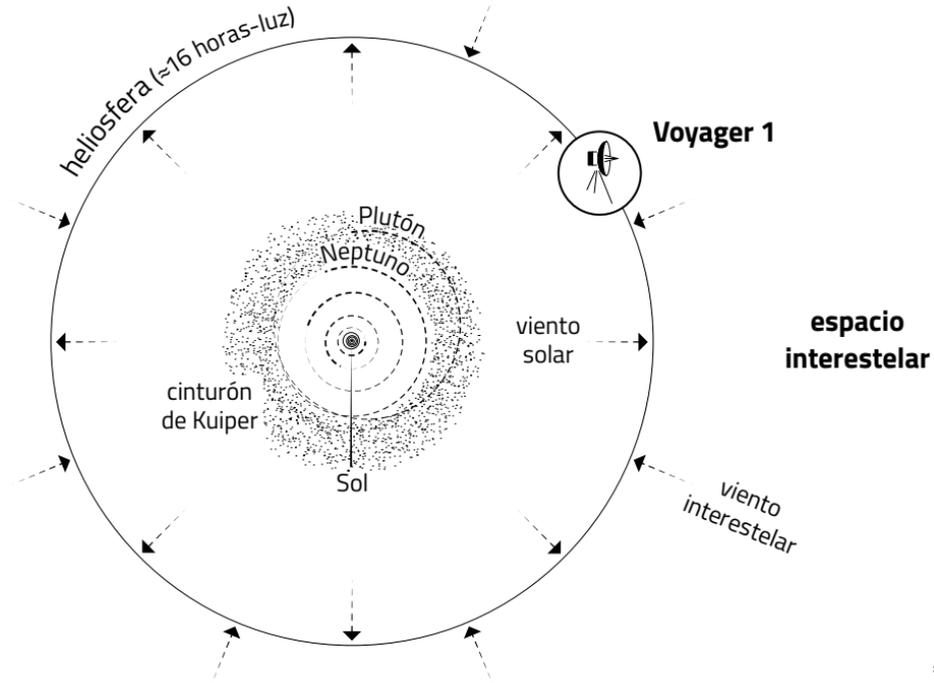
Afuera del Sistema Solar



El objeto más lejano enviado por el ser humano es la sonda robótica no tripulada Voyager 1. Lanzada en 1977 para estudiar Júpiter y Saturno hoy se encuentra 4 veces más lejos que Neptuno, a unas 16 horas-luz del Sol.

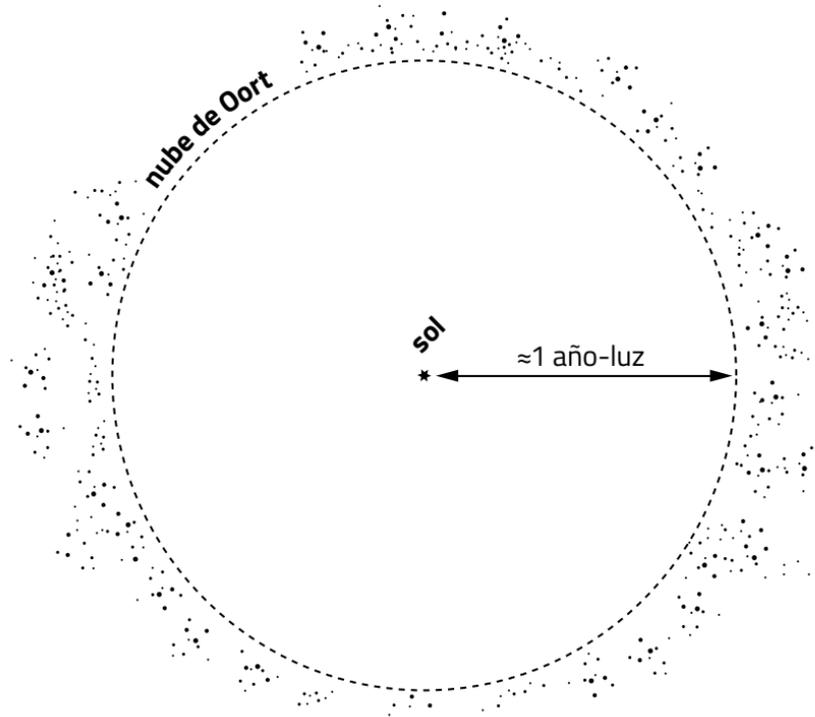


En el año 2012 la sonda Voyager 1 alcanzó el espacio interestelar, el espacio entre las estrellas. Este límite lo marca el alcance máximo del denominado "viento solar", pequeñas partículas expulsadas por el Sol.

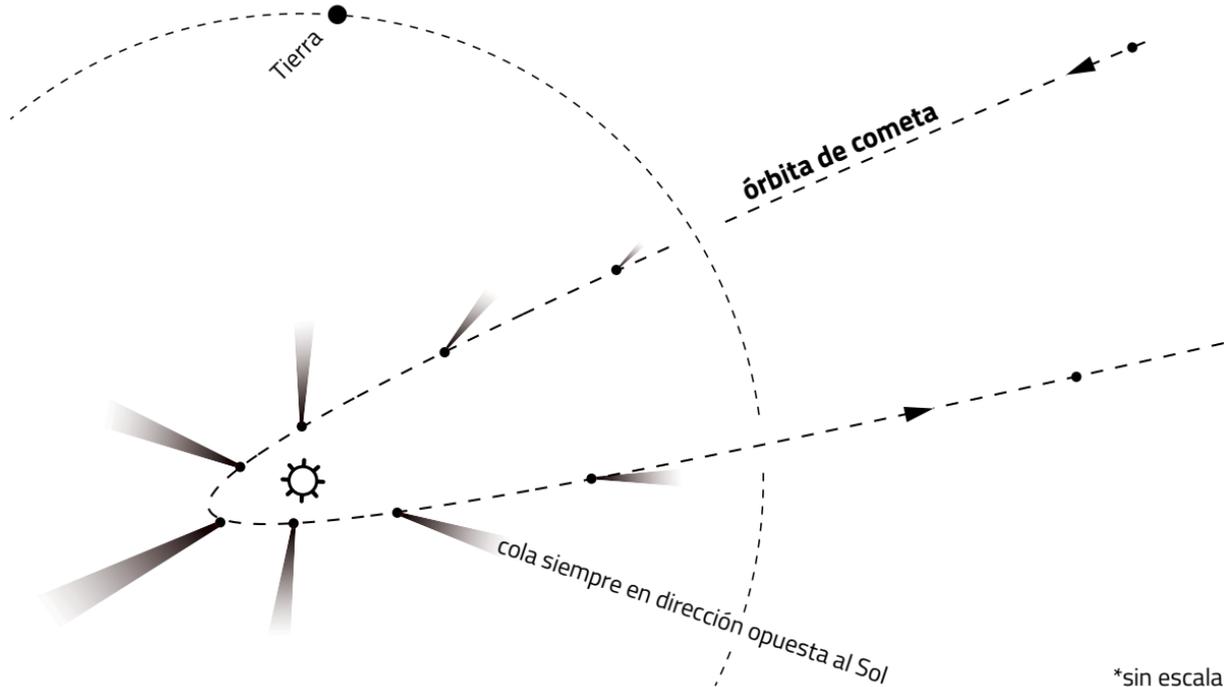


*escala real

Mucho más distante, a casi un año-luz, están los restos de la nube de gas, hielo y polvo a partir de la cual se formaron el Sol y el Sistema Solar. Ésta se conoce como la nube de Oort.

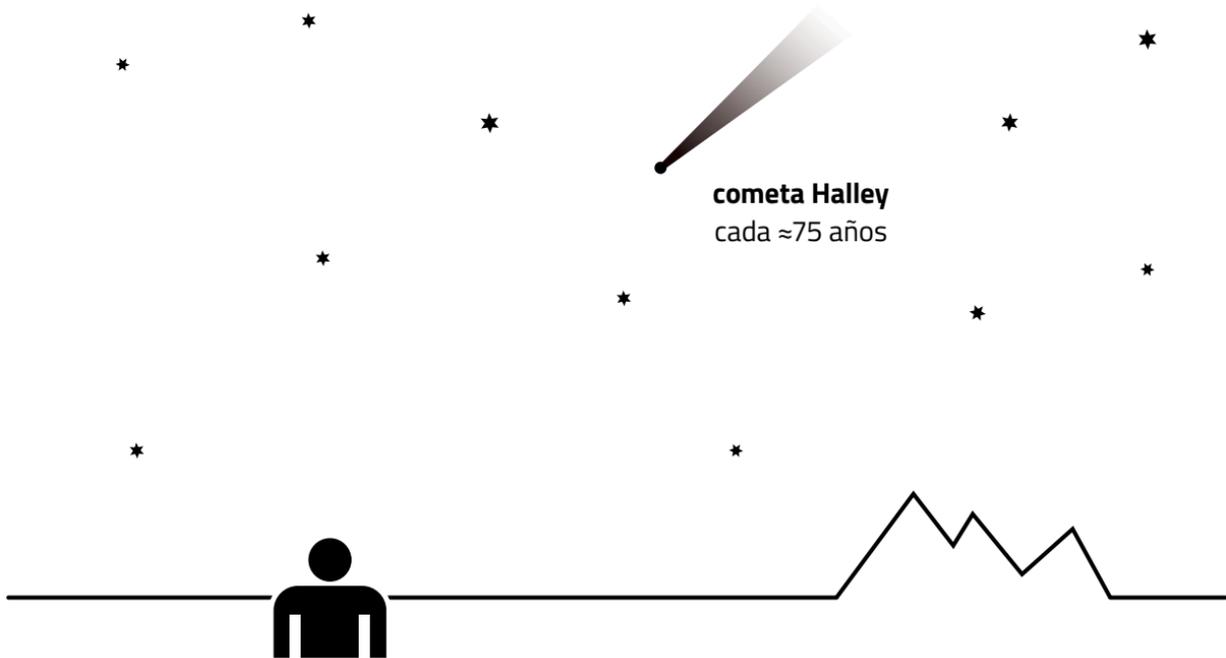


Los cometas son restos de la formación del Sistema Solar, objetos de roca y hielo de unos 10 km de diámetro, provenientes principalmente del cinturón de Kuiper o la nube de Oort. Al aproximarse al Sol, el viento solar sublima su hielo creando una espectacular cola.

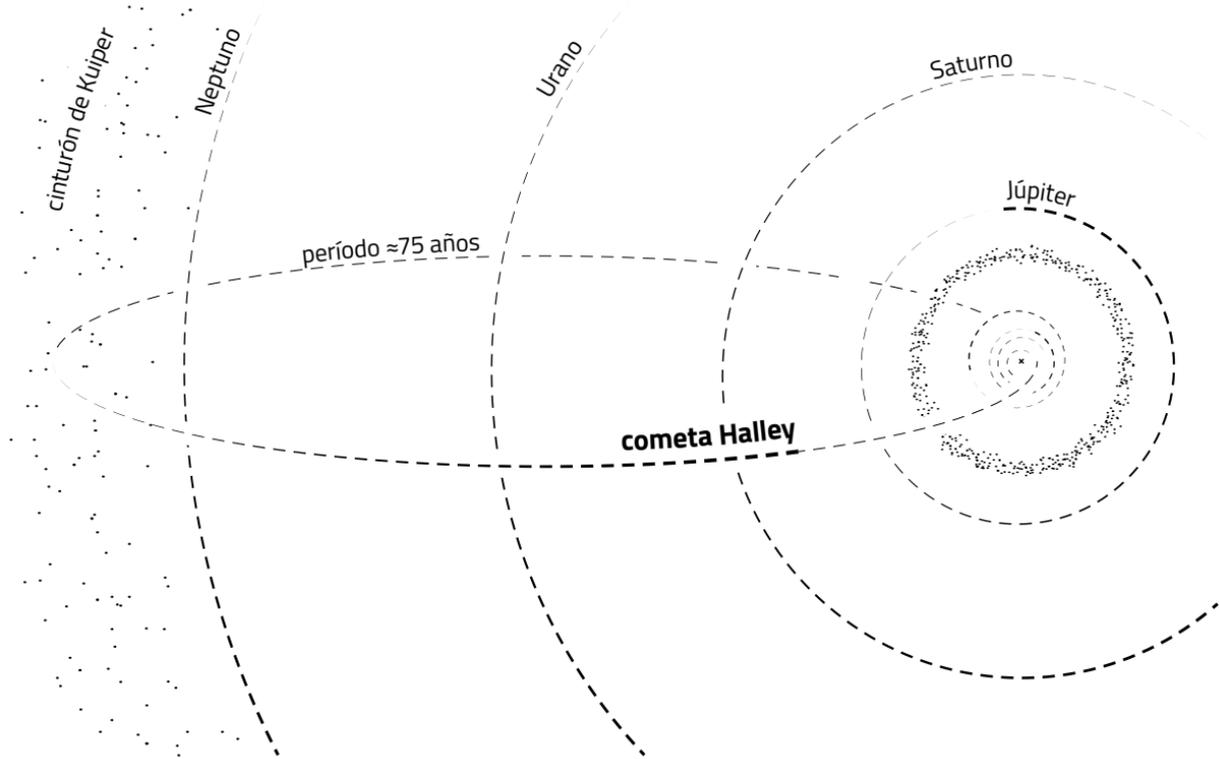


*sin escala

Un cometa puede ser visible desde la Tierra durante semanas, aunque los más brillantes y visibles no son frecuentes. El más famoso, el cometa Halley, nos visita cada unos 75 años.



El cometa Halley procede del cinturón de Kuiper, por lo que su órbita alcanza más allá de Neptuno. No es coplanaria con la de los planetas, de modo que no hay riesgo de impacto.



Capítulo 5

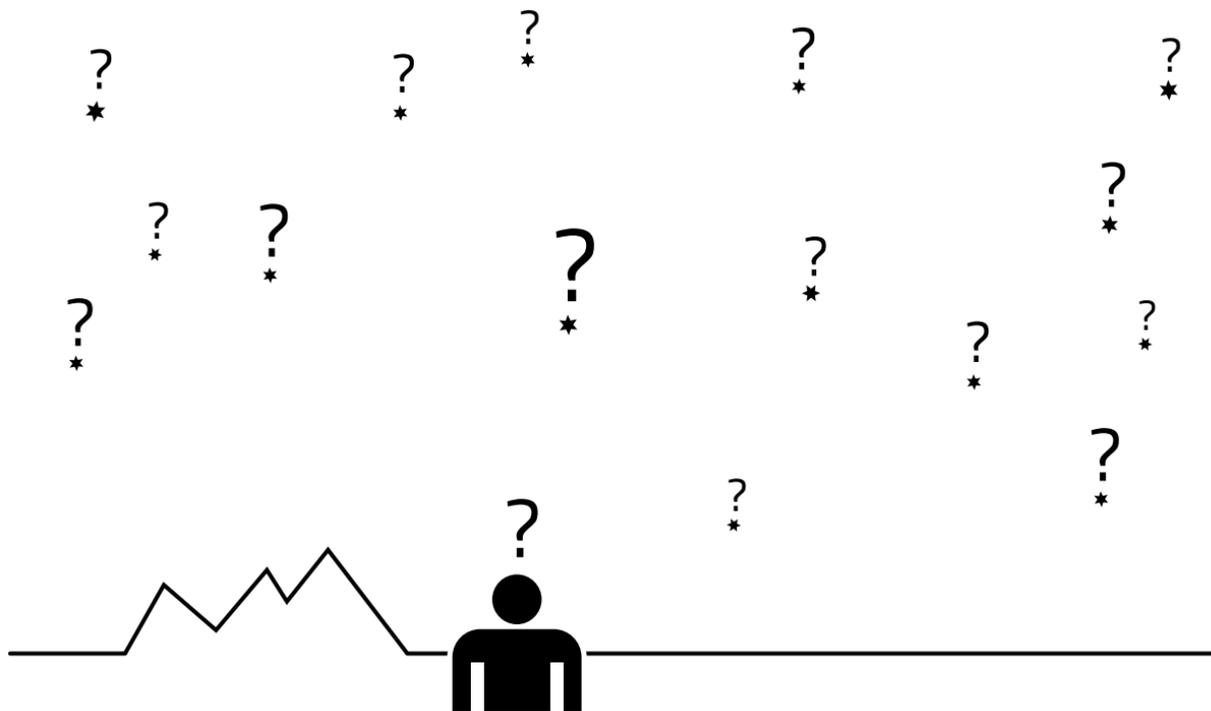
Nuestra galaxia



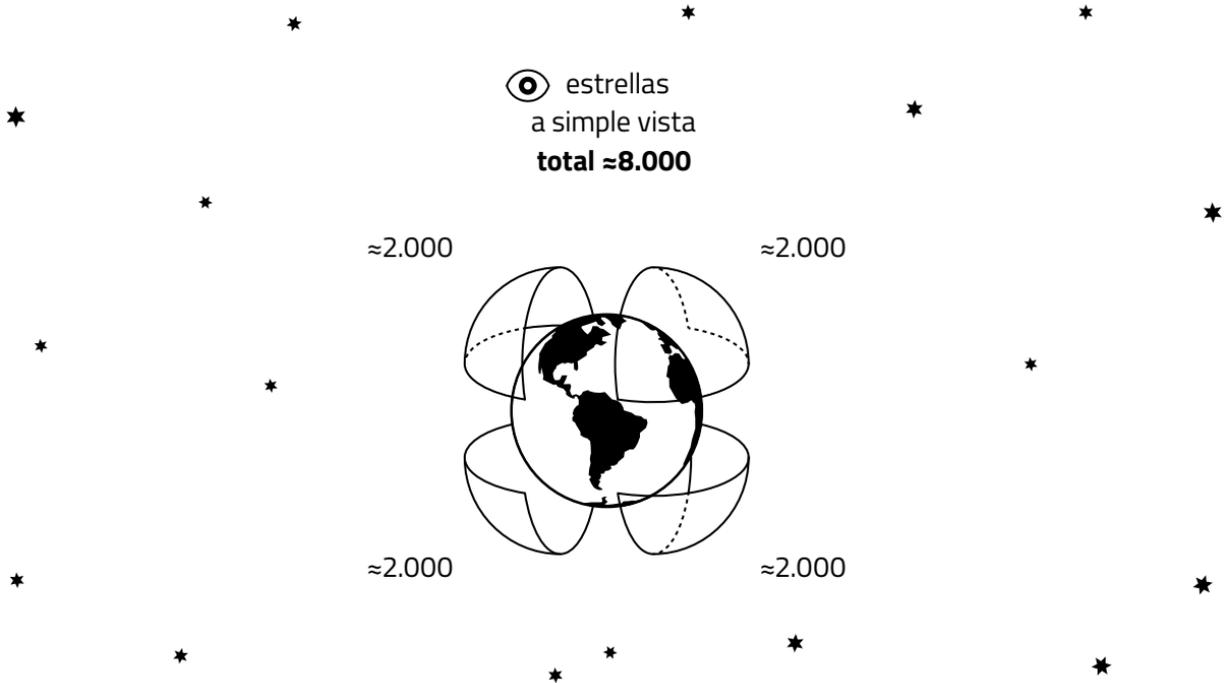
Mirando al cielo nocturno... ¿Cuántas estrellas vemos?
¿Cómo están de lejos? ¿Cuál es la más cercana?

Nuestra galaxia

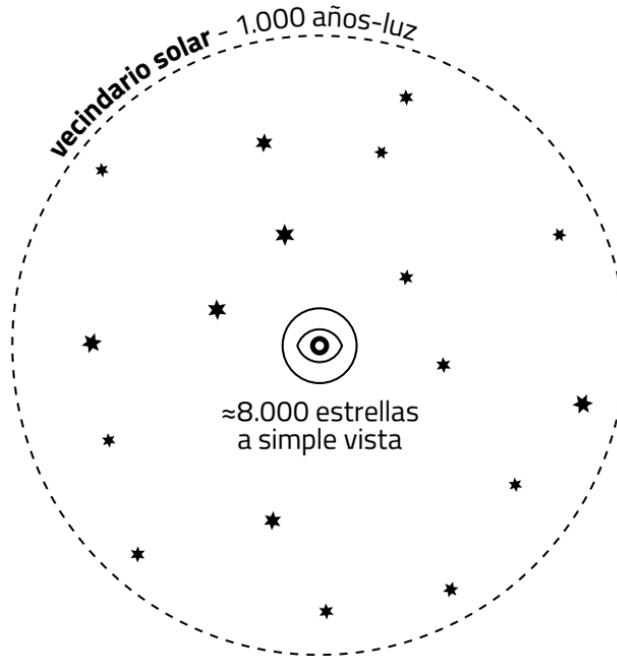
77



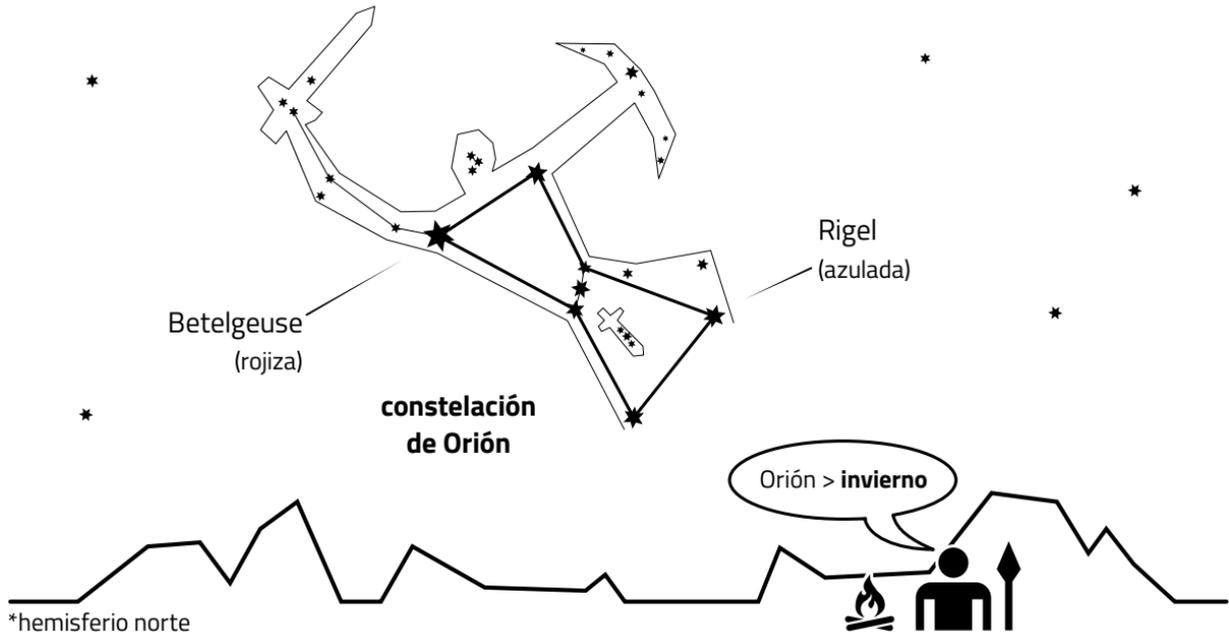
Las estrellas son soles distantes... muy, muy distantes. O dicho de otra forma, el Sol es una estrella... muy, muy cercana. Desde la Tierra, a simple vista son visibles unas 8.000 estrellas. ≈ 4.000 desde cada hemisferio: ≈ 2.000 "de noche" y ≈ 2.000 "de día".



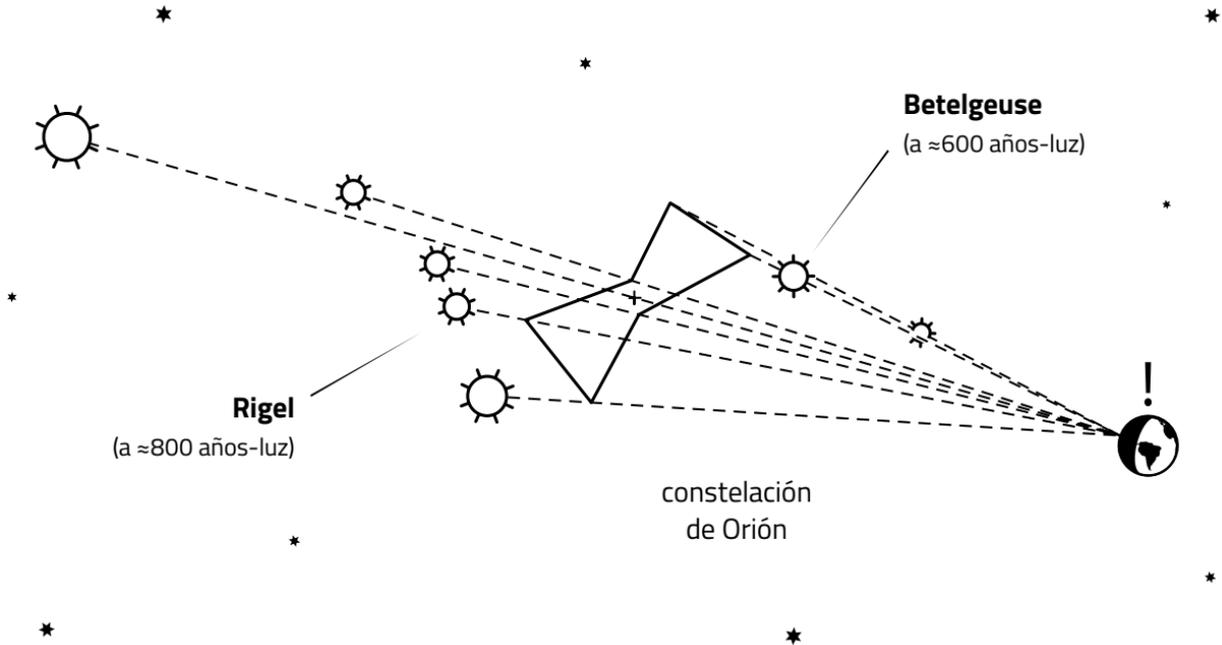
La mayoría de estrellas visibles a simple vista se encuentran a menos de 1.000 años-luz de la Tierra, en lo que se conoce como el “vecindario solar”. Sólo vemos las más luminosas y cercanas.



Las constelaciones son formas reconocibles que los antiguos imaginaron a partir de las estrellas más brillantes. Éstas les ayudaban a memorizar y reconocer zonas de cielo. Sin relojes ni calendarios eran una forma muy práctica de saber la época del año: muy útil para saber cuando cazar, cultivar, emigrar... Así, "el cazador" Orión empieza a verse poco antes de la llegada del invierno en el hemisferio norte.



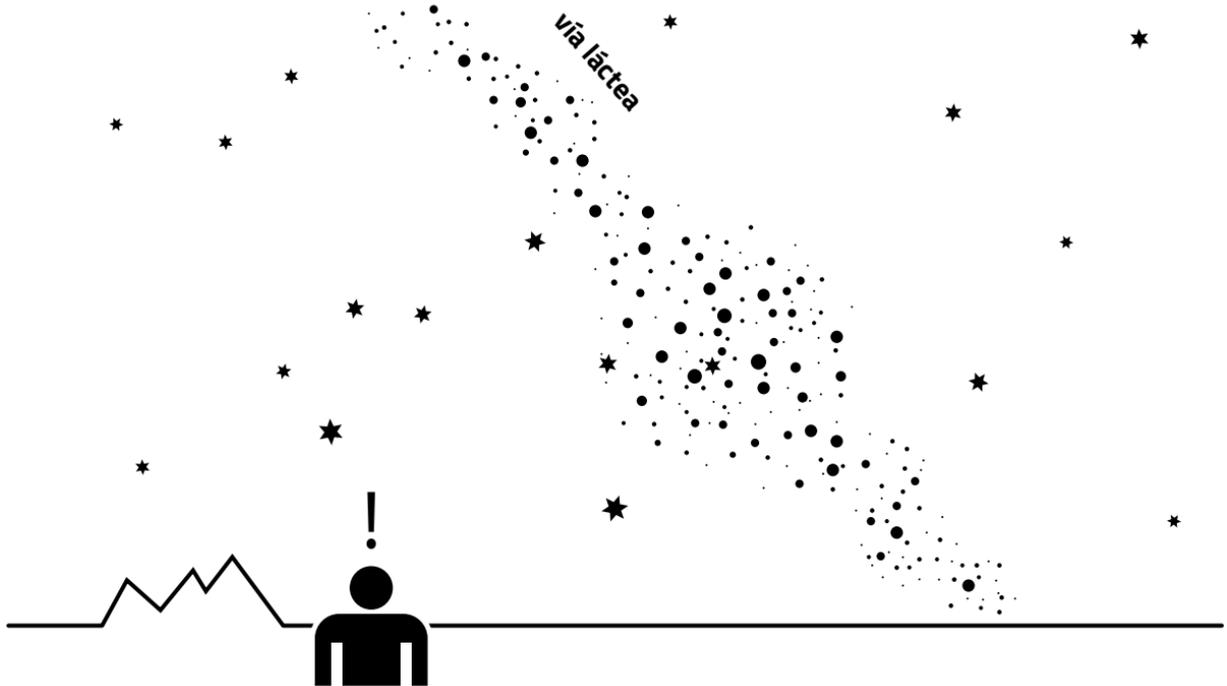
Hoy sabemos que las estrellas que forman las constelaciones son soles, y cada una está a una distancia muy diferente de la Tierra. Generalmente las más brillantes más próximas. No obstante, Rigel es más brillante que Betelgeuse a pesar de ser más lejana y pequeña, ya que emite más luz.



En esta tabla se muestran los tamaños, comparados con el Sol, y las distancias a algunas de las estrellas más brillantes del firmamento. Betelgeuse colocada en el lugar del Sol alcanzaría más allá de la órbita de Marte. VY Canis Majoris, aunque visible sólo con telescopio, es una de las más grandes conocidas: en el lugar del Sol alcanzaría la órbita de Saturno.

brillo	estrella	ranking	tamaño (veces el Sol)	distancia (años-luz)	constelación
+	Sirius	1°	≈1'7	≈8'6	Canis Major
■	Canopus	2°	≈71	≈310	Carina
■	Arcturus	3°	≈26	≈37	Bootes
■	Vega	5°	≈2'5	≈25	Lira
■	Rigel	6°	≈80	≈800	Orión
■	Betelgeuse	9°	≈1.000	≈600	Orión
■	Polaris	48°	≈46	≈430	Osa Menor
-	VY Canis Majoris	(visible sólo con telescopio)	≈1.500	≈5.000	Canis Major

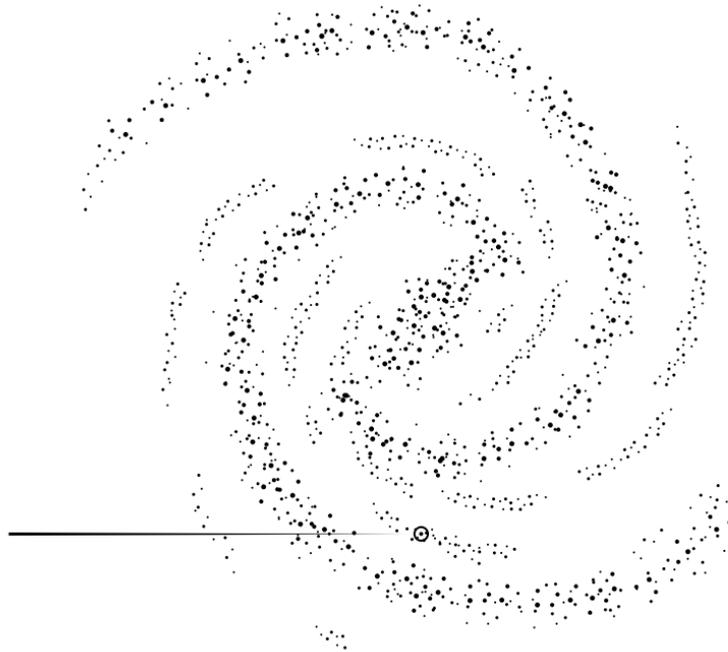
Además de las estrellas visibles individualmente, en el cielo nocturno hay una estructura borrosa muy característica que cruza toda la bóveda celeste: la vía láctea. Ésta es en realidad la luz de miles de millones de estrellas. Es la luz de nuestra galaxia.



Nos encontramos en la Vía Láctea, una galaxia de tipo espiral.
Es enorme... Se estima que contiene más de 200.000 millones de estrellas en un diámetro de unos 100.000 años-luz.
¡Las estrellas individuales que vemos durante la noche son sólo las más próximas y representan menos del 0'000004% del total de la galaxia!

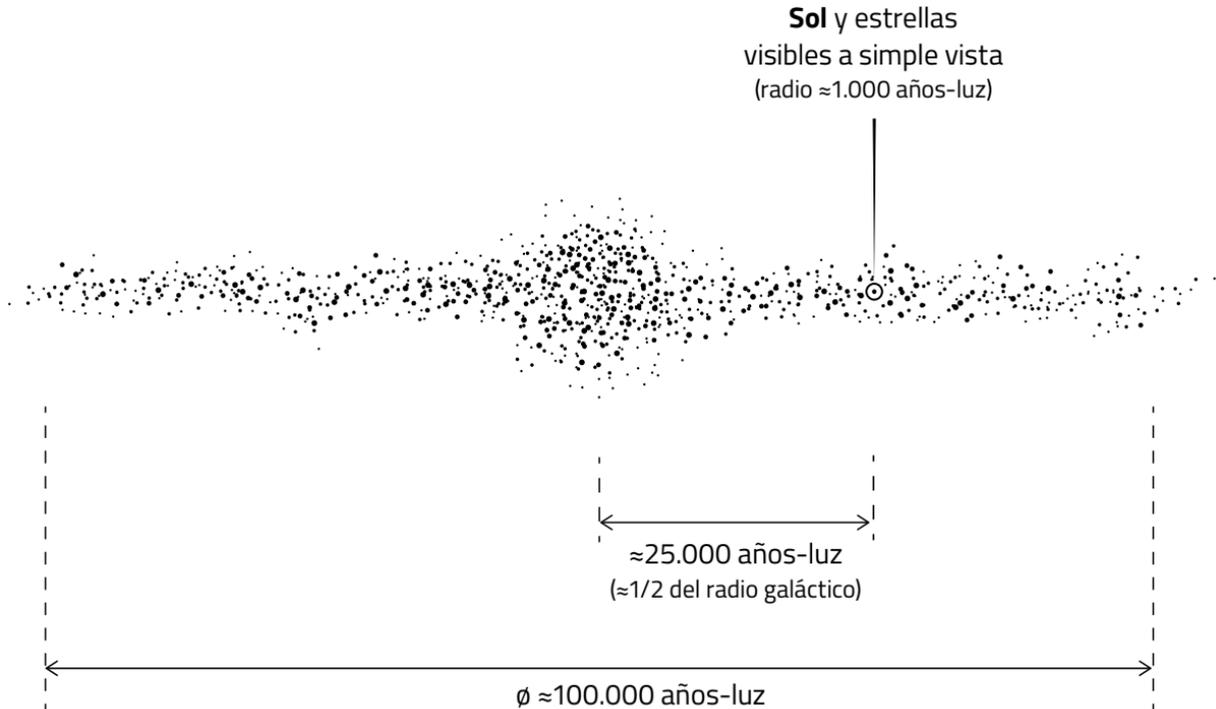
Vía Láctea
≈200.000 mill.
de estrellas

**Sol y estrellas
visibles a
simple vista**
(radio ≈1.000
años-luz)

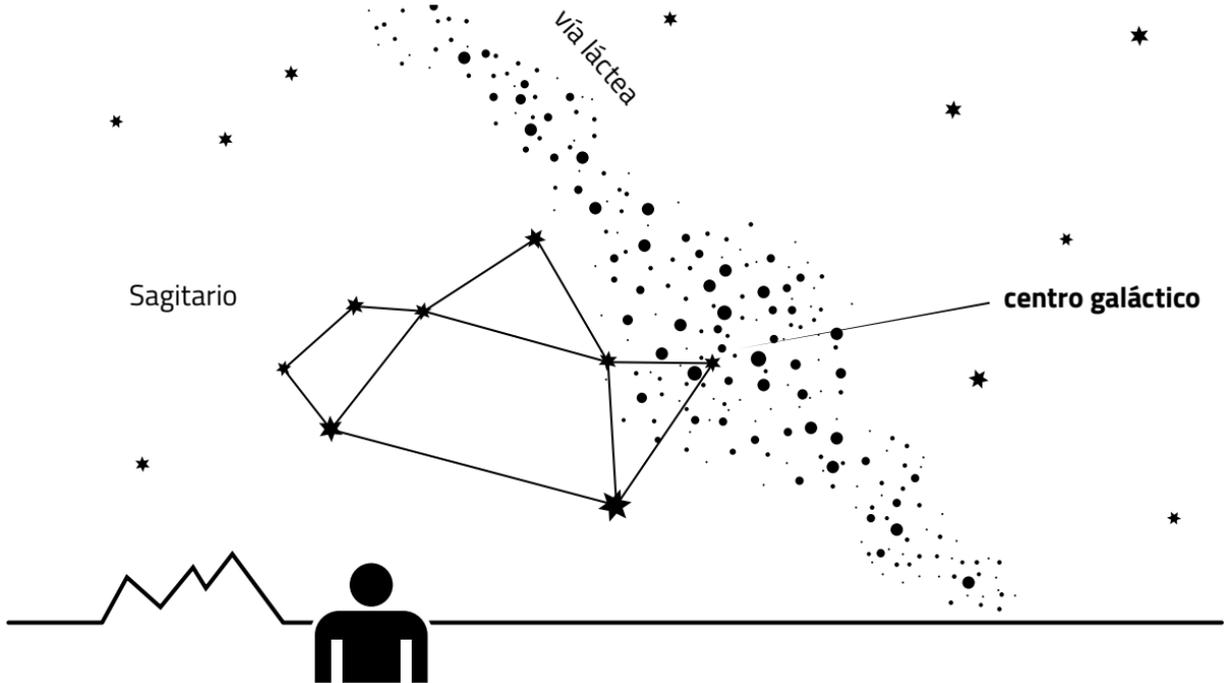


∅ ≈ 100.000 años-luz

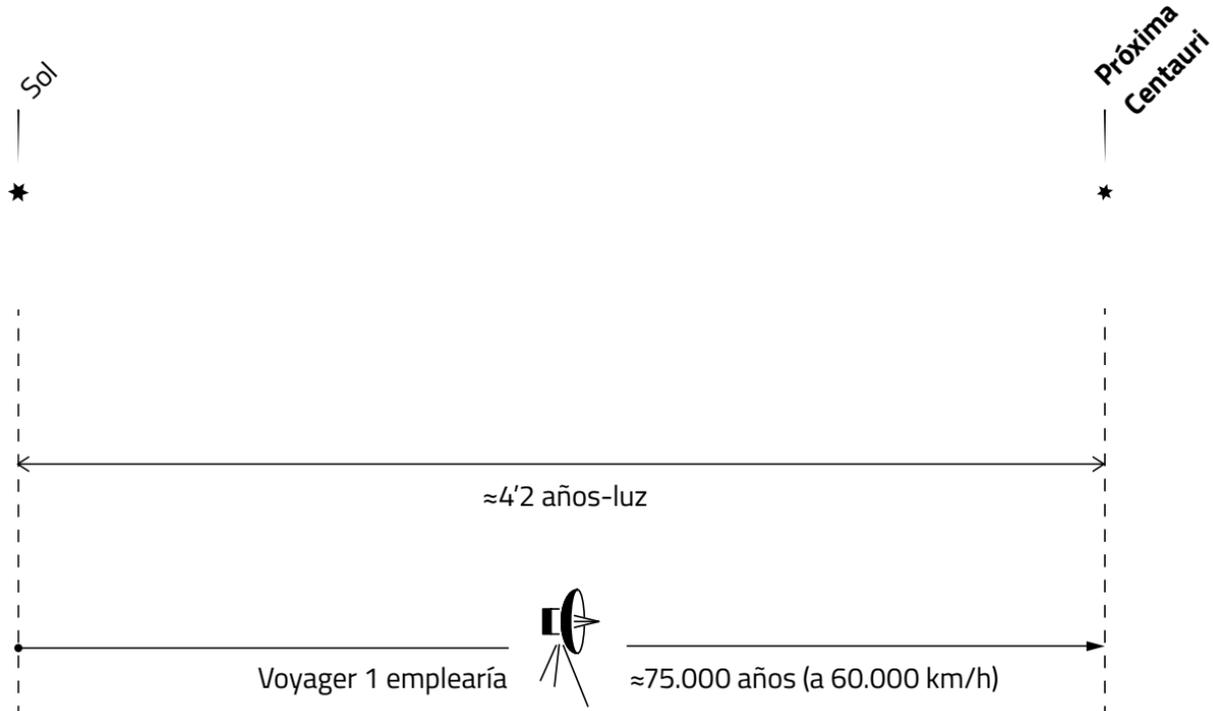
Nuestra galaxia vista de perfil tiene un aspecto aplanado
y nosotros nos hallamos a unos 25.000 años-luz del centro galáctico.
Más o menos a medio camino entre el centro y el exterior.



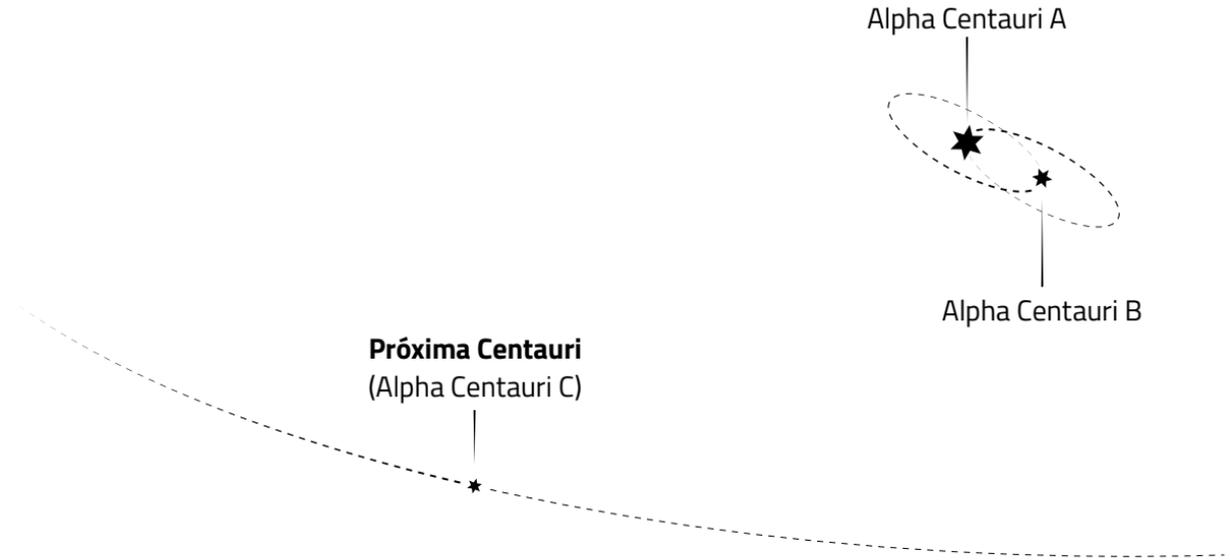
Estamos contenidos en el plano galáctico, envueltos por las estrellas de uno de sus enormes brazos espirales. La característica constelación de Sagitario con forma de "tetera" nos sirve de referencia para mirar en dirección al centro de la Vía Láctea.



¿Cuál es la estrella más cercana al Sol? Es Próxima Centauri.
Dista unos 4,2 años-luz y es una décima parte del tamaño del Sol.
Las distancias interestelares en las galaxias son gigantescas....
Piensa que un año-luz son casi 10 millones de millones de kilómetros.

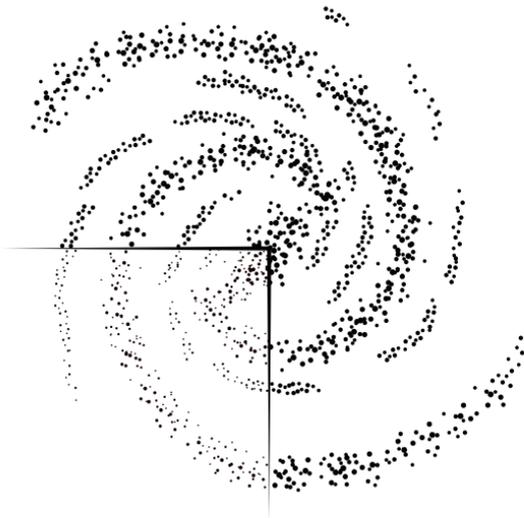


Próxima Centauri es la estrella más pequeña de un sistema triple de estrellas: Alpha Centauri. Las dos tienen un tamaño similar a nuestro Sol. Alpha Centauri A es la 4ª estrella individual más brillante vista desde la Tierra, pero las tres juntas suben a la 3ª posición, adelantando a Arcturus.



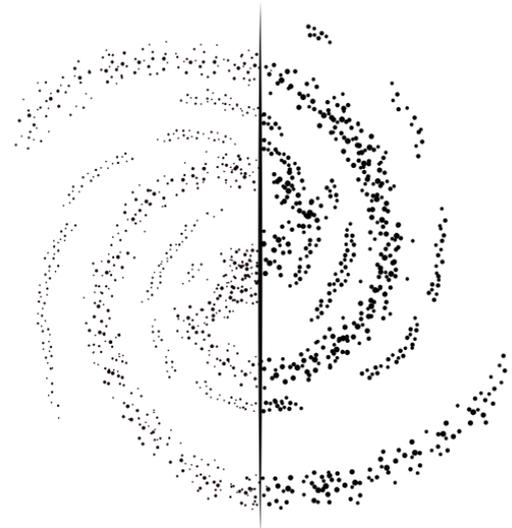
*sin escala

Se estima que el 75% de las estrellas de la Vía Láctea son "enanas rojas" menores que el Sol.



25%	75%
mayores	menores
que el Sol	que el Sol

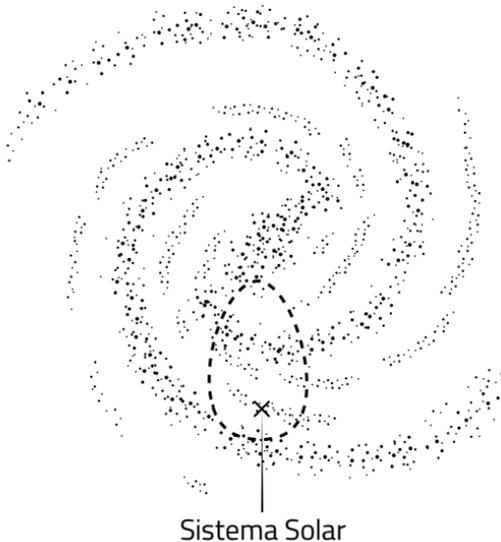
Al menos la mitad de las estrellas forman parte de sistemas binarios o múltiples.



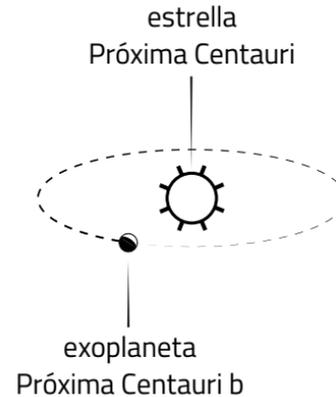
50%	50%
soles	sistemas
individuales	múltiples

Un exoplaneta es un planeta que se encuentra fuera del Sistema Solar.
Desde 1995 se han descubierto más de 3.000 exoplanetas.
Son demasiado pequeños y distantes para ser fotografiados directamente, por lo que se detectan mediante métodos indirectos.

Esta es la región aproximada donde se han empezado a buscar y encontrar **exoplanetas**.

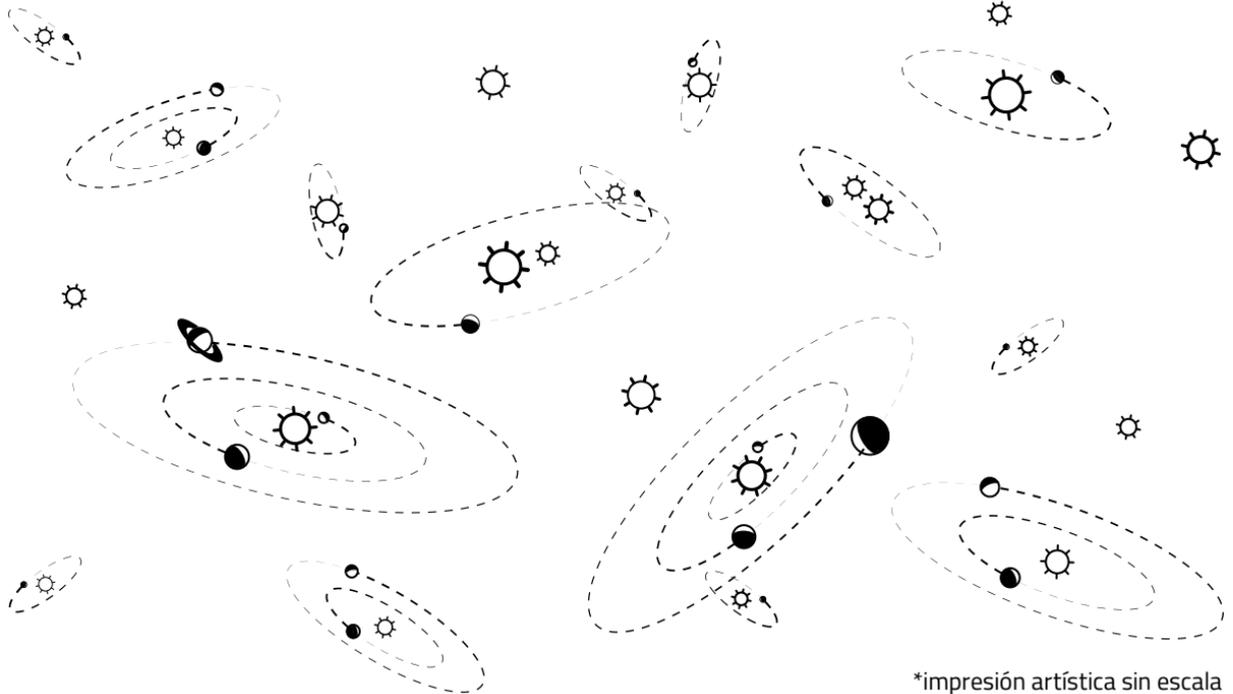


El **exoplaneta más cercano** encontrado hasta la fecha es Próxima Centauri b, a unos 4'2 años-luz.



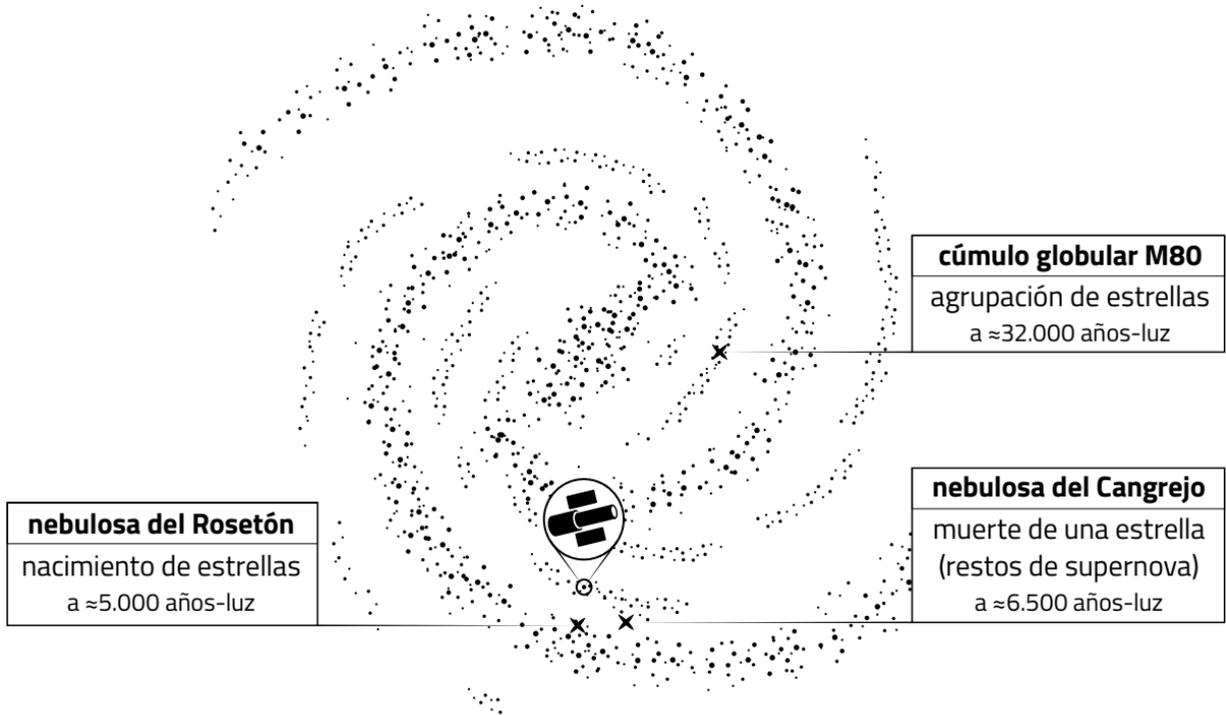
*sin escala

Se estima que en promedio existe al menos un planeta por cada estrella de la Vía Láctea... Casi con certeza cada estrella que ves durante la noche tiene planetas. Imagina cuántos cientos de miles de millones de mundos deben de existir en nuestra galaxia...



*impresión artística sin escala

Gracias a potentes telescopios como el Hubble conocemos en detalle estructuras donde las estrellas nacen, se agrupan y mueren. Se estima que en la Vía Láctea “nacen” unas 10 estrellas cada año.

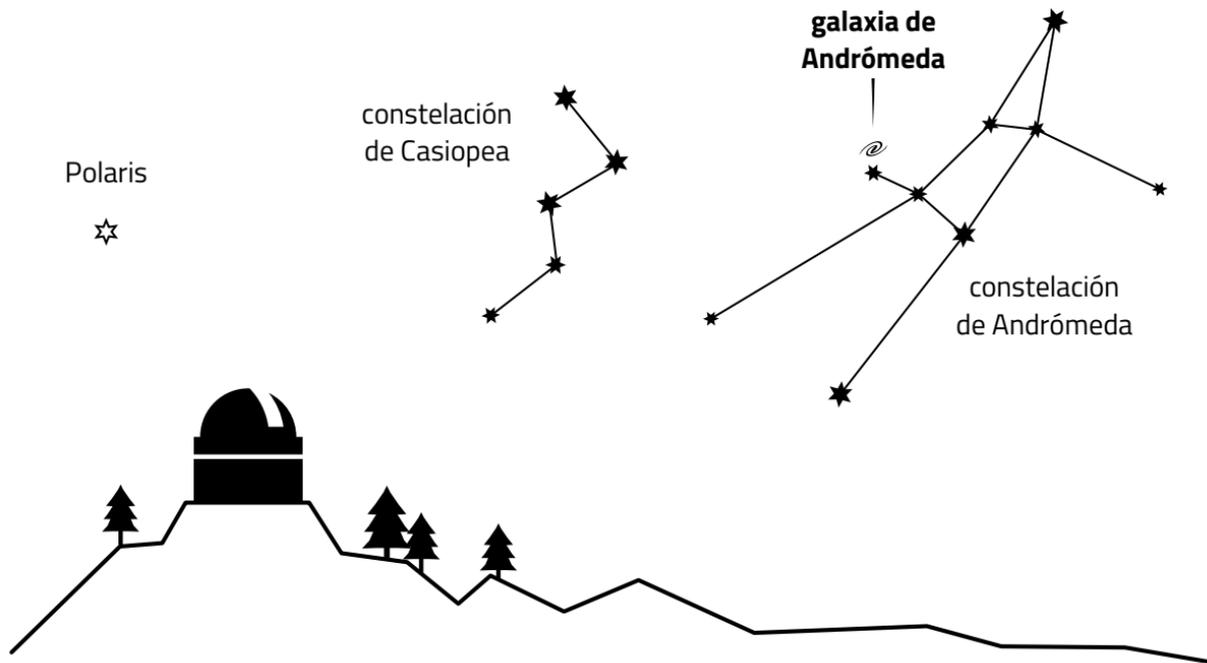


Capítulo 6

El universo

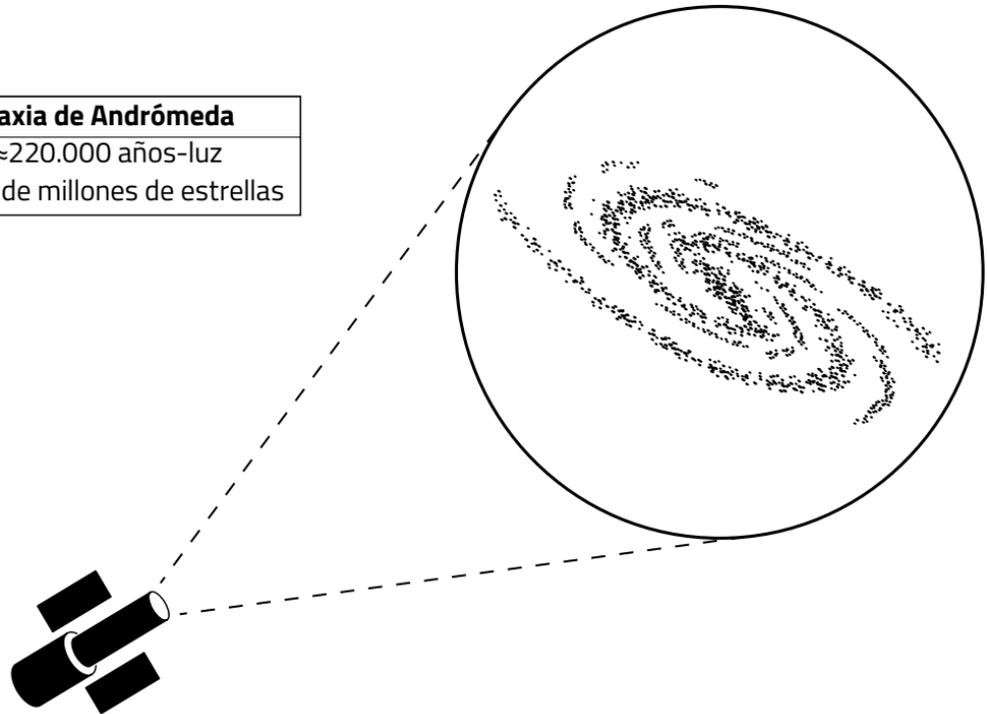


En 1924 Edwin Hubble descubrió la primera galaxia además de la nuestra:
la galaxia de Andrómeda. Se denomina con este nombre por
su proximidad en el firmamento a la constelación de Andrómeda.



Andrómeda es una galaxia muy similar a nuestra galaxia la Vía Láctea, pero mucho mayor: más del doble de diámetro. Se estima que alberga al menos un millón de millones de estrellas. Actualmente el telescopio espacial nombrado "Hubble" nos brinda espectaculares imágenes en HD.

galaxia de Andrómeda
$\varnothing \approx 220.000$ años-luz
≈ 1 mill. de millones de estrellas

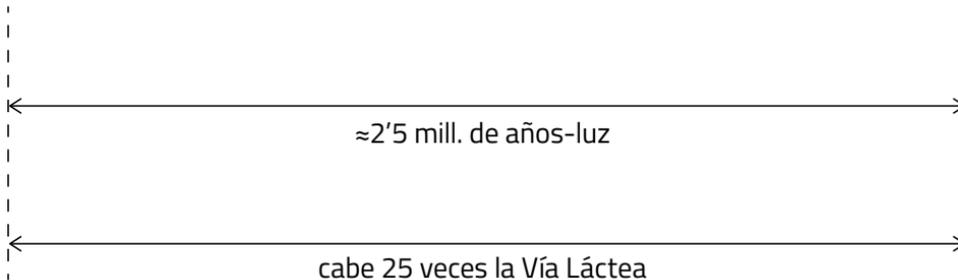


La galaxia de Andrómeda es la galaxia de "tipo espiral" más cercana a la nuestra. Dista unos 2'5 millones de años-luz. Este diseño muestra sus tamaños y distancia real a escala.

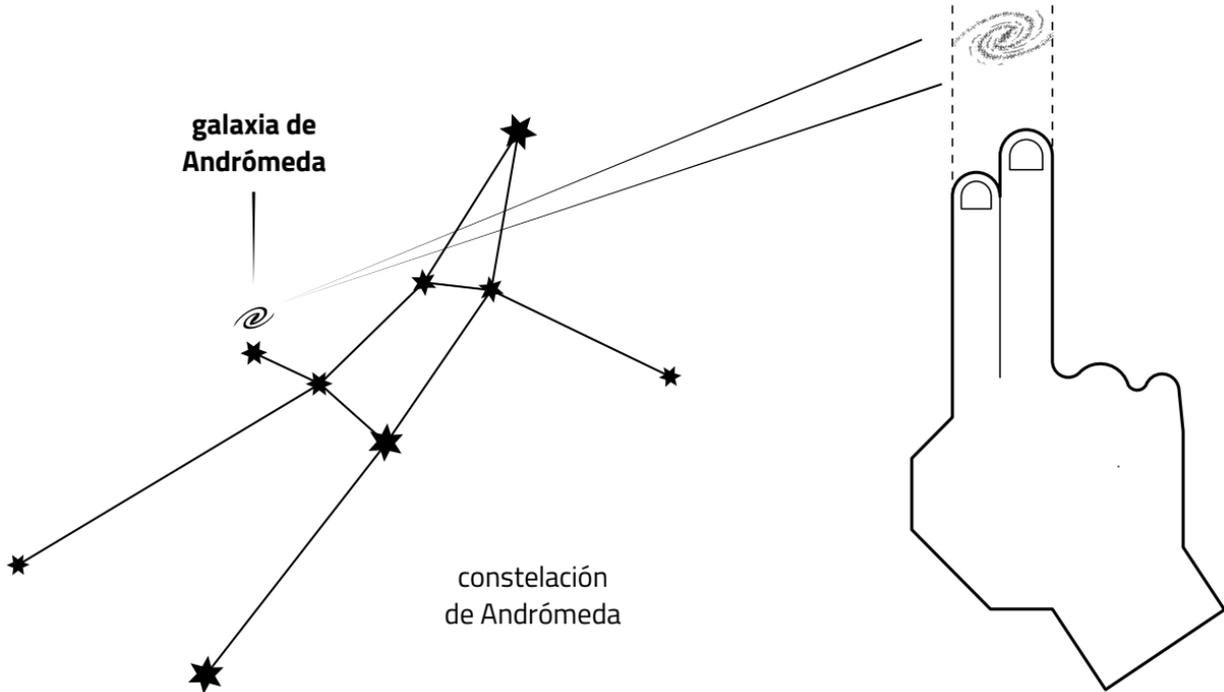
Vía Láctea
($\phi \approx 100.000$
años-luz)



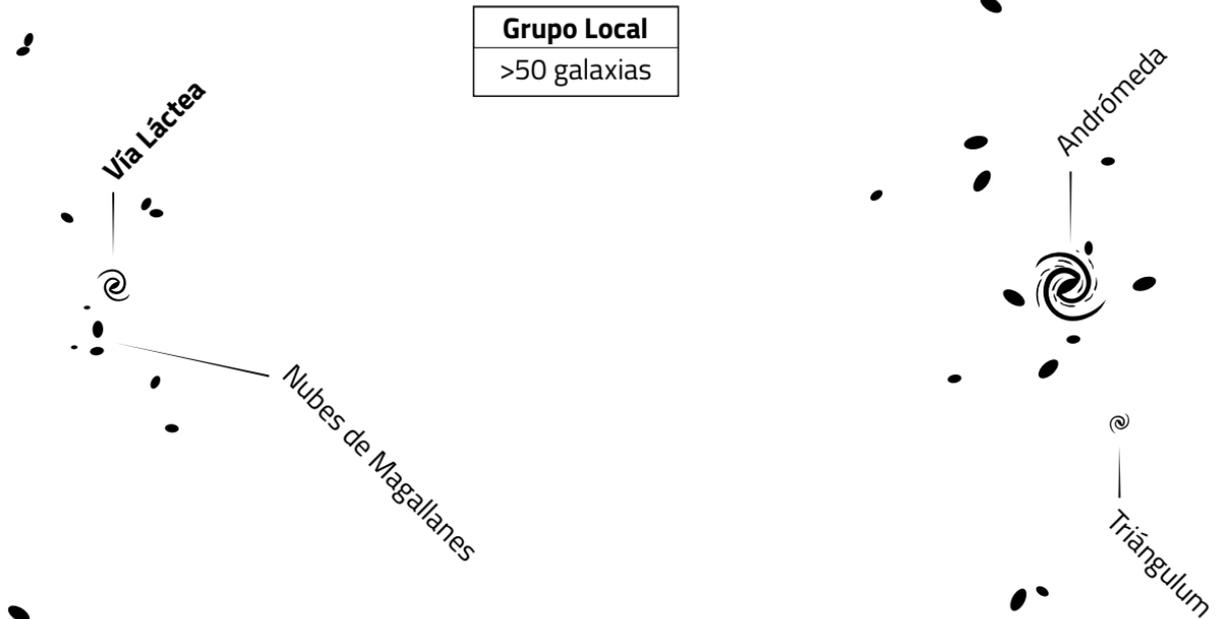
Andr6meda
($\phi \approx 220.000$
años-luz)



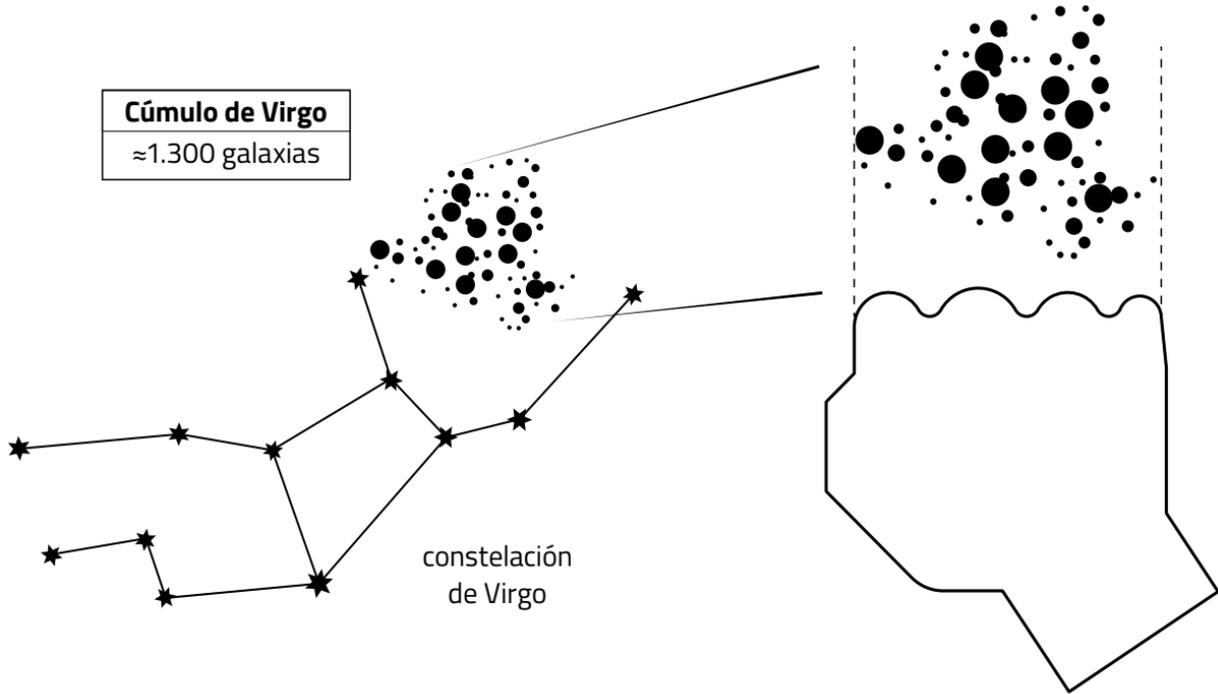
En cielos muy despejados la galaxia de Andrómeda se puede observar a simple vista, aunque es mucho mejor usar binoculares o un telescopio. Ocupa unos 2'8 grados de visión, dos dedos de ancho.



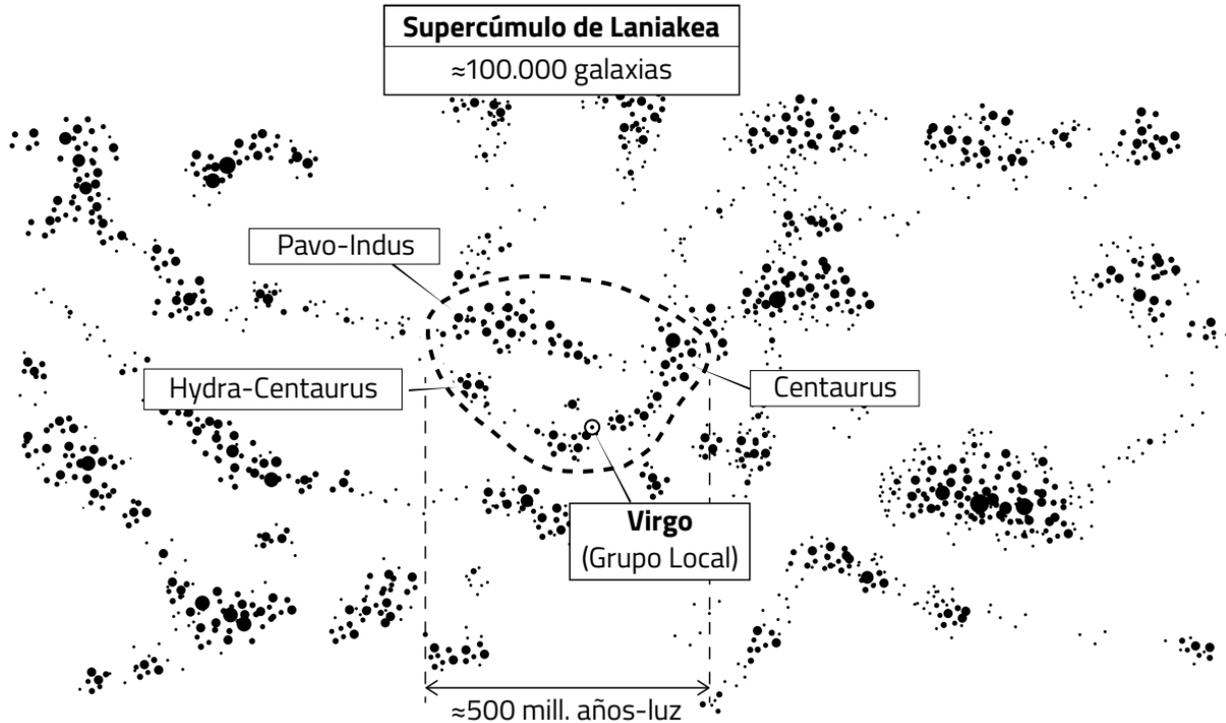
Andrómeda es la mayor galaxia del Grupo Local, formado por más de 50 galaxias, del cual forma parte nuestra Vía Láctea. Aunque la mayoría de ellas son del tipo "enanas", destaca la tipo espiral Triángulum y las dos Nubes de Magallanes.



Mirando con un telescopio potente hacia la Constelación de Virgo se pueden observar gran cantidad de galaxias pertenecientes al Cúmulo de Virgo. Ocupa unos 8° de visión, como los nudillos del puño.

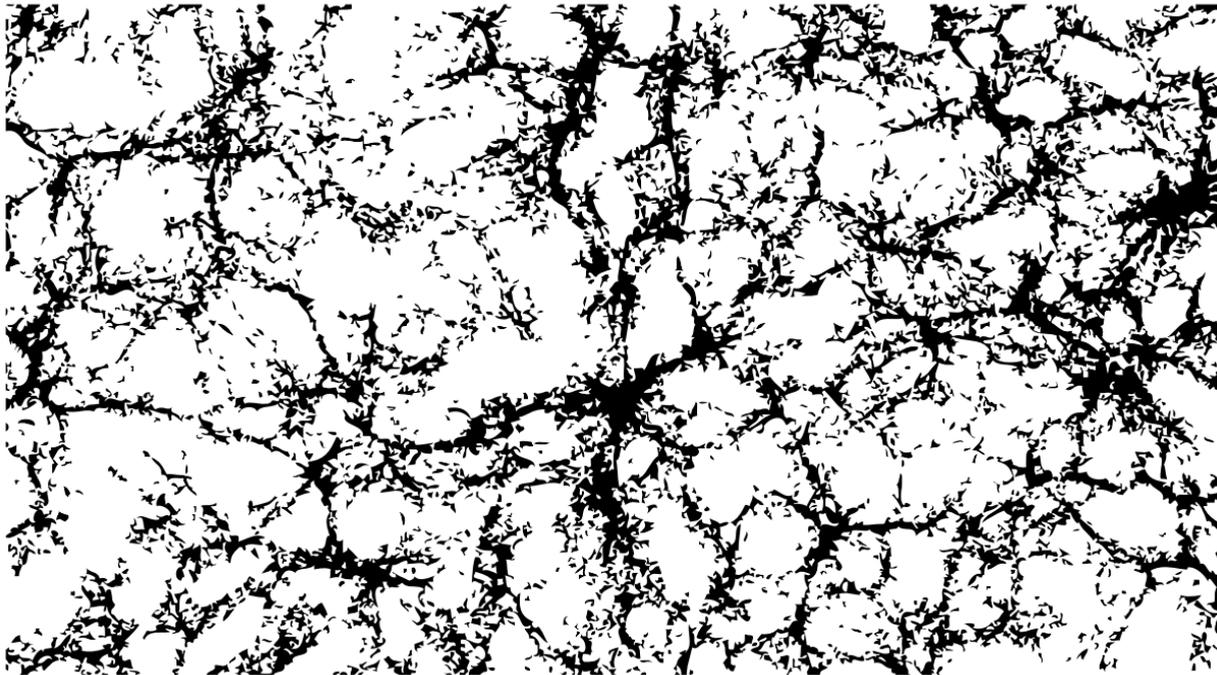


A su vez, formamos parte del Supercúmulo de Laniakea, que incluye los cúmulos de Hydra-Centaurus y Pavo-Indus. Los cúmulos crean una especie de red cósmica de filamentos, parecida a una esponja de mar.



Los supercúmulos de galaxias se organizan formando una estructura filamentososa similar a una red de neuronas o una telaraña cósmica, donde se alternan zonas de gran densidad y enormes vacíos.

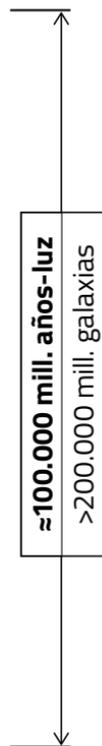
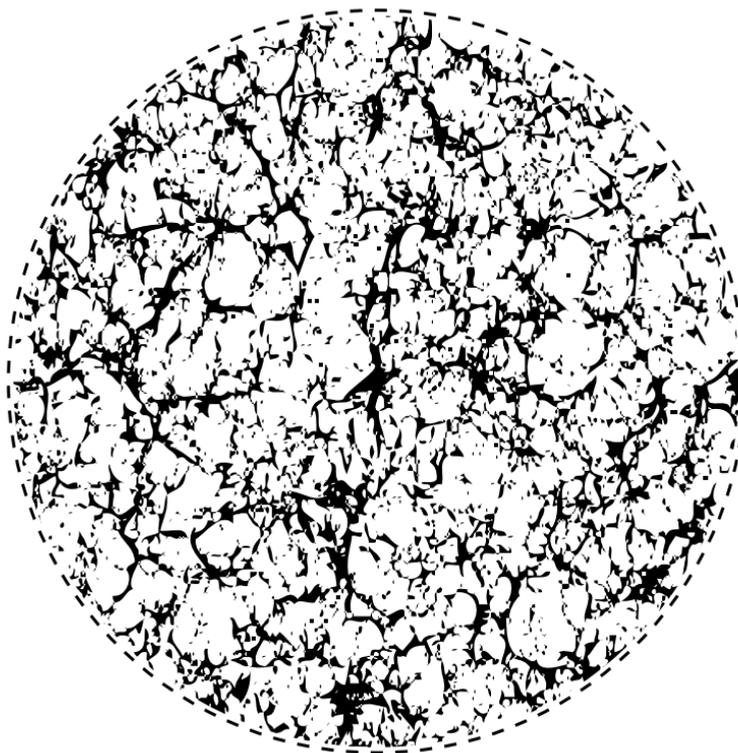
≈30.000 mill. años-luz



El "universo observable" por nosotros desde la Tierra es una enorme maraña formada por más de 200.000 millones de grandes galaxias.

El universo

103

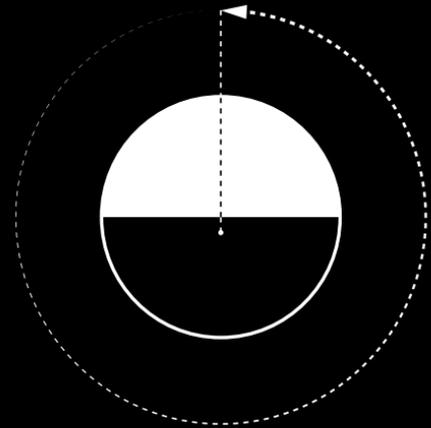


Parte II

CÓMO MEDIMOS EL TIEMPO

Capítulo 7

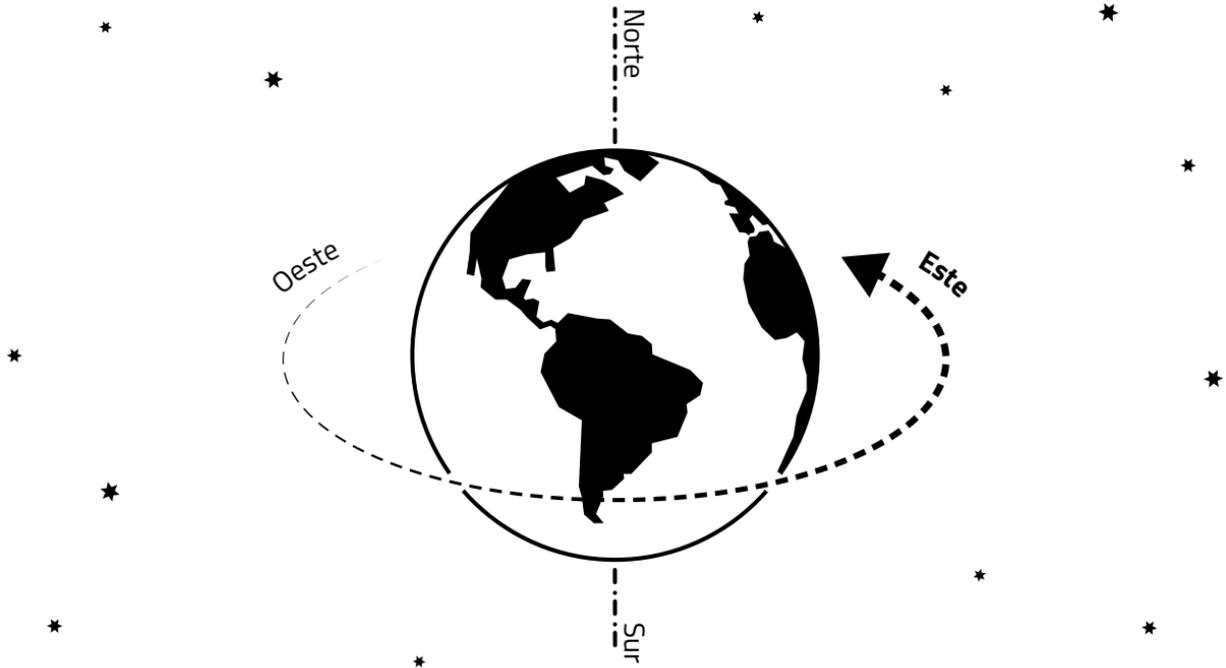
Día



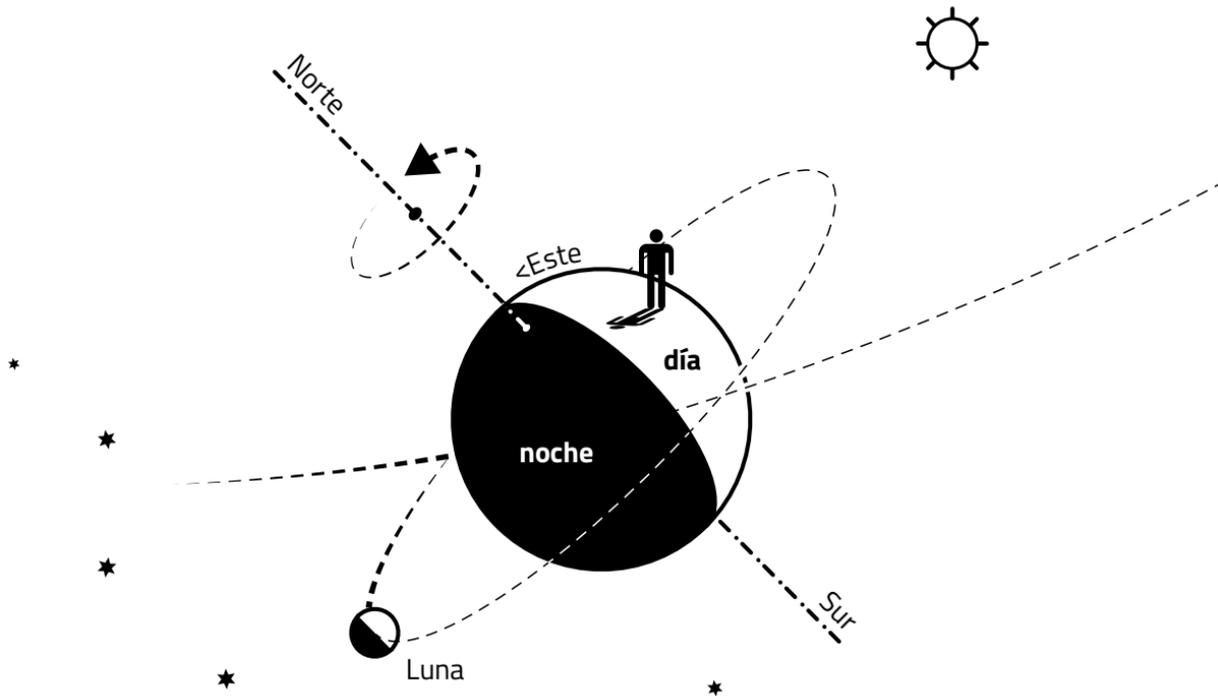
¿Qué es el "tiempo"? ¿Cómo lo medimos?

La Tierra gira sobre sí misma en sentido antihorario visto desde el Norte.

La dirección hacia donde giramos la llamamos Este.

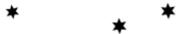


El Sol ilumina siempre media Tierra, mientras la otra mitad permanece a oscuras: son el día y la noche. Durante el día vemos una sola estrella que nos deslumbra, el Sol. Durante la noche, cuando le "damos la espalda", vemos miles de otros soles.

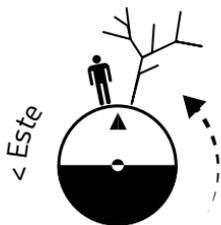


Vista la Tierra desde el Polo Norte, los dibujos muestran nuestra posición en cuatro momentos diferentes del día: el amanecer, el mediodía, el atardecer y la medianoche.

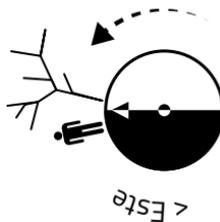
amanecer



mediodía



anoecer

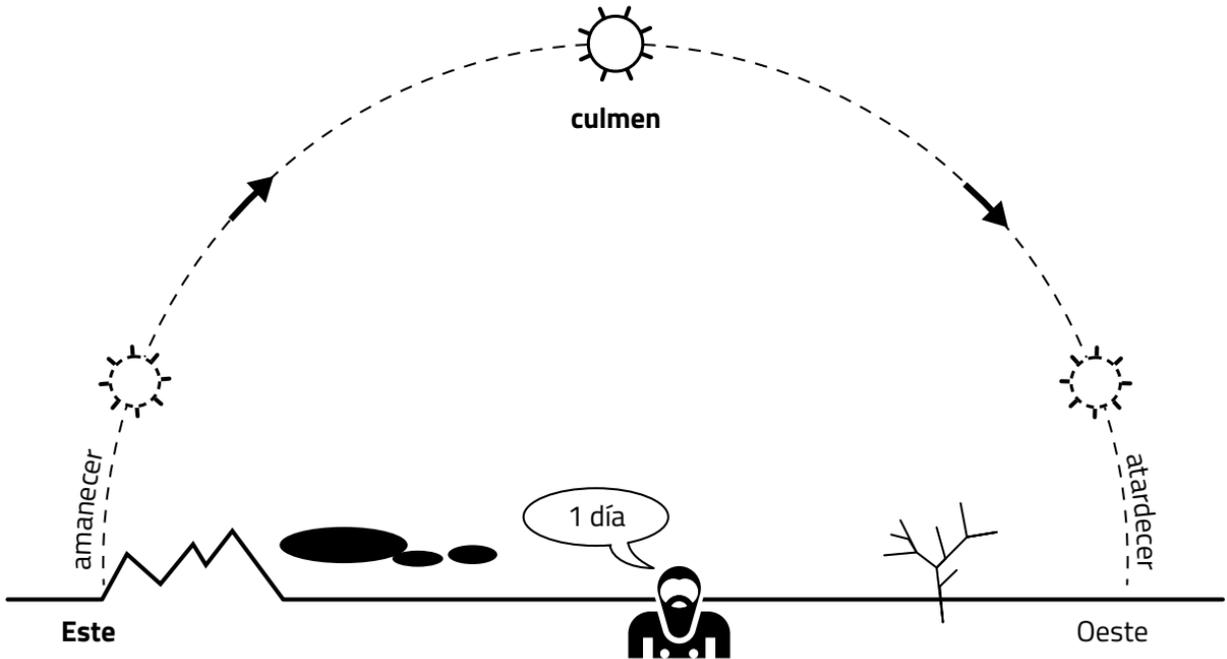


medianoche



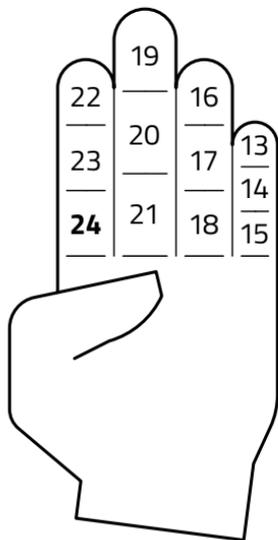
Debido a la rotación de la Tierra siempre vemos al Sol aparecer por el Este y desaparecer por el Oeste. Se llamó "día" al intervalo de tiempo que emplea el Sol en volver a alcanzar su punto más alto, el culmen.

Día
109

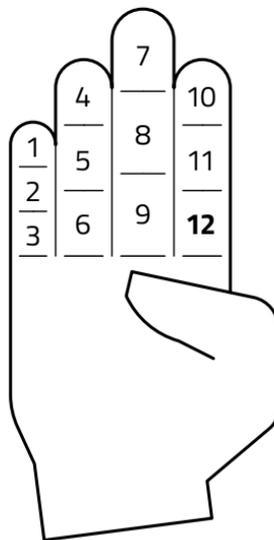


Los sumerios, ≈3500 a.C., utilizaban las falanges de los dedos de las manos para contar. Por eso dividieron el día en 12 horas de luz y 12 de oscuridad. 24 horas en total. Además, como contaban en base 60 subdividieron las horas en 60 minutos (minuta=pequeño) y los minutos a su vez en 60 segundos (segunda subdivisión).

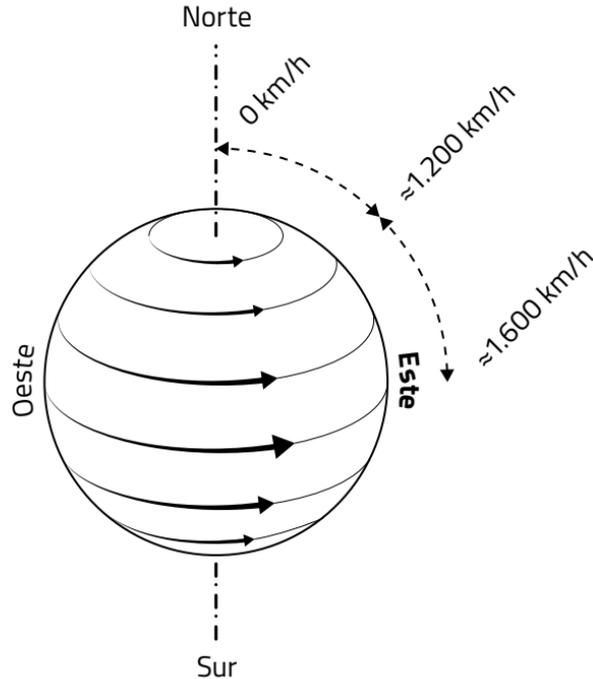
noche



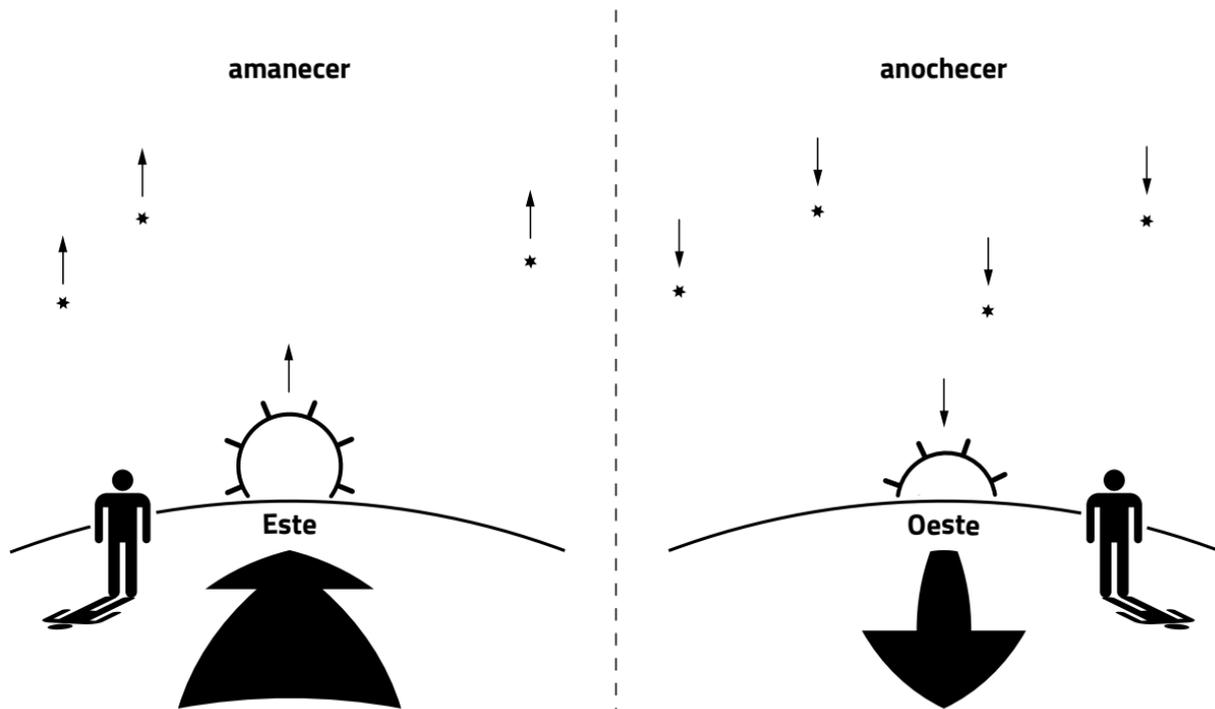
día



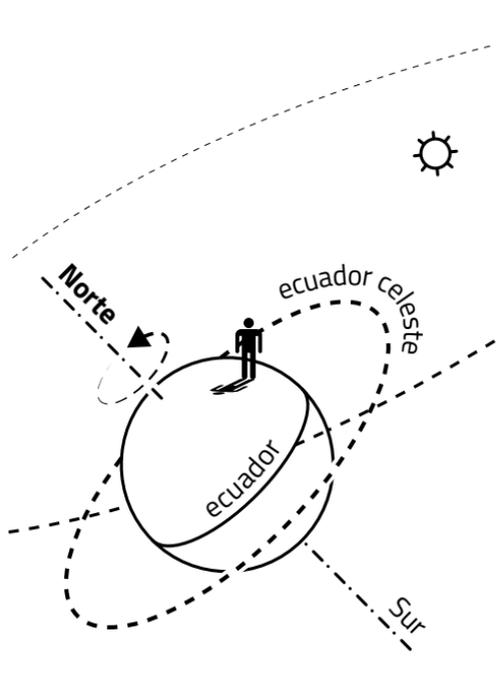
¿A qué velocidad giramos? La Tierra gira hacia el Este, y con ella, nosotros, los mares y la atmósfera. La velocidad sobre el ecuador es de unos 1.600 km/h y a 45° de latitud de unos 1.200 km/h... y ni siquiera nos despeinamos. Justo sobre los polos geográficos es de 0 km/h. ¡Girarías sobre ti mismo!



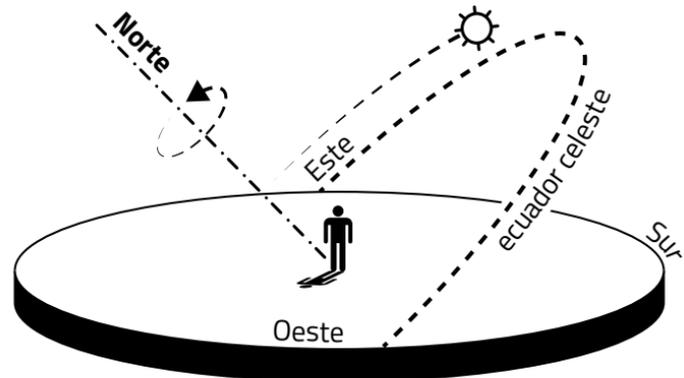
Cuando vemos el amanecer estamos dirigiéndonos hacia el Sol a la velocidad de un avión de combate.
Cuando vemos el atardecer, nos estamos alejando de él.



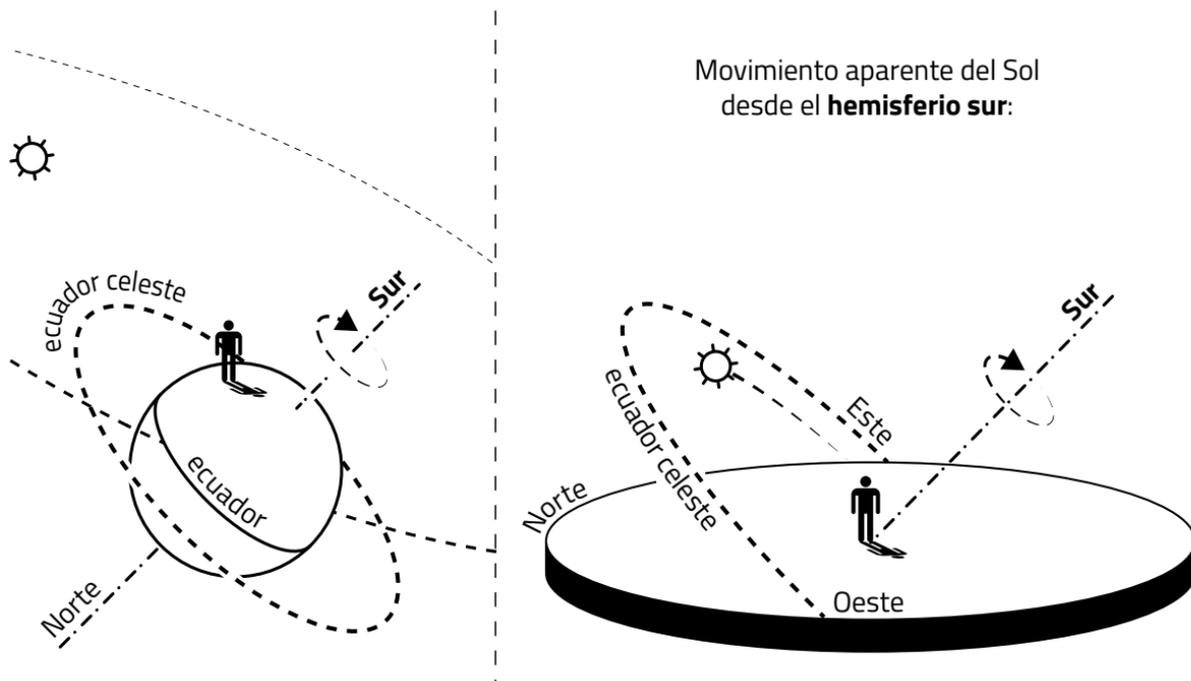
Desde el hemisferio norte vemos pasar al Sol por el horizonte sur.
A la proyección imaginaria del ecuador terrestre sobre el cielo se le denomina ecuador celeste y coincide aproximadamente con el plano del Sistema Solar. Por eso veremos al Sol siempre cerca de él.



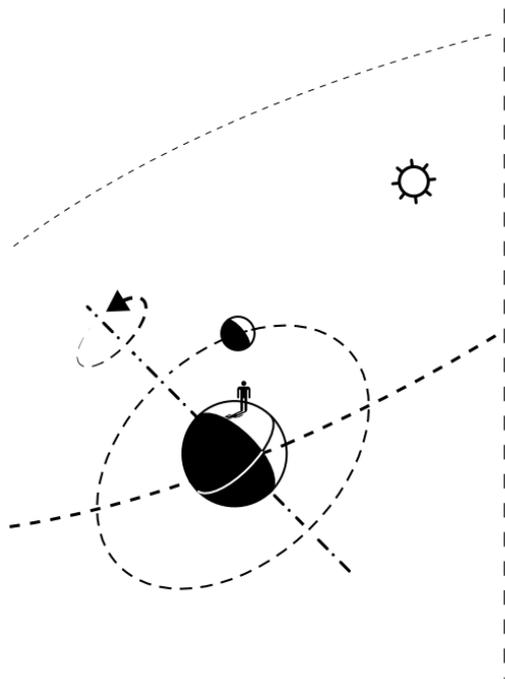
Movimiento aparente del Sol
desde el **hemisferio norte**:



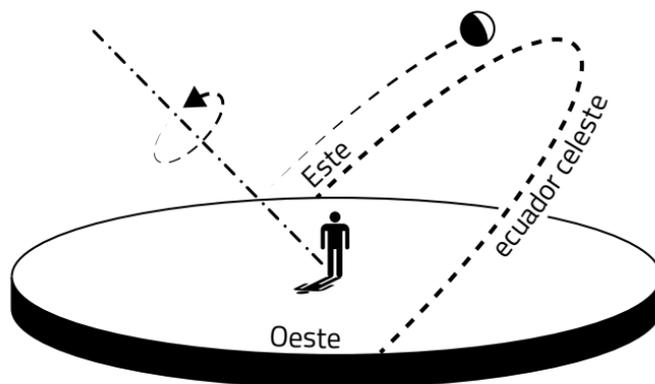
Sin embargo desde el hemisferio sur vemos pasar al Sol por el horizonte norte. También obviamente siempre cerca del ecuador celeste, que como hemos mencionado indica aproximadamente el plano del Sistema Solar.



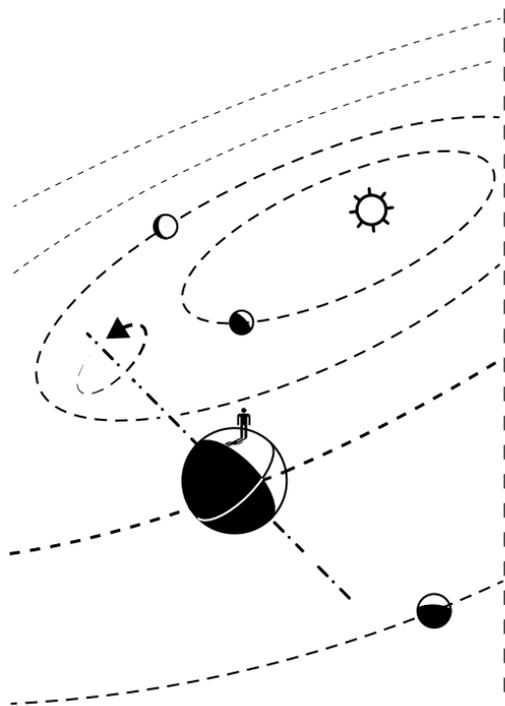
A la Luna la encontraremos también siempre cerca del ecuador celeste gracias a que su órbita es casi coplanaria al plano del Sistema Solar. O dicho de otra forma: debido a la rotación terrestre el Sol y la Luna hacen aproximadamente el mismo recorrido aparente diario en el cielo.



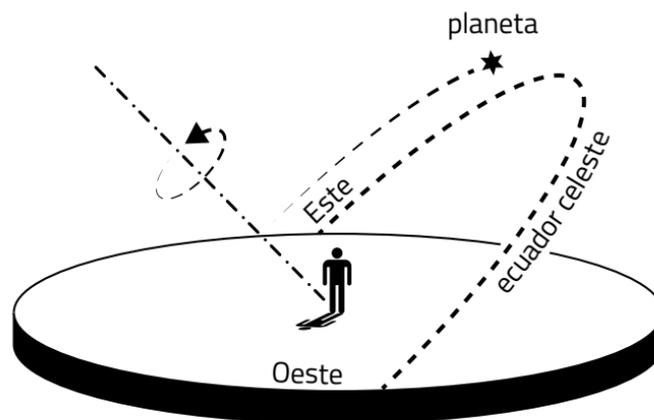
Movimiento aparente de la **Luna**:



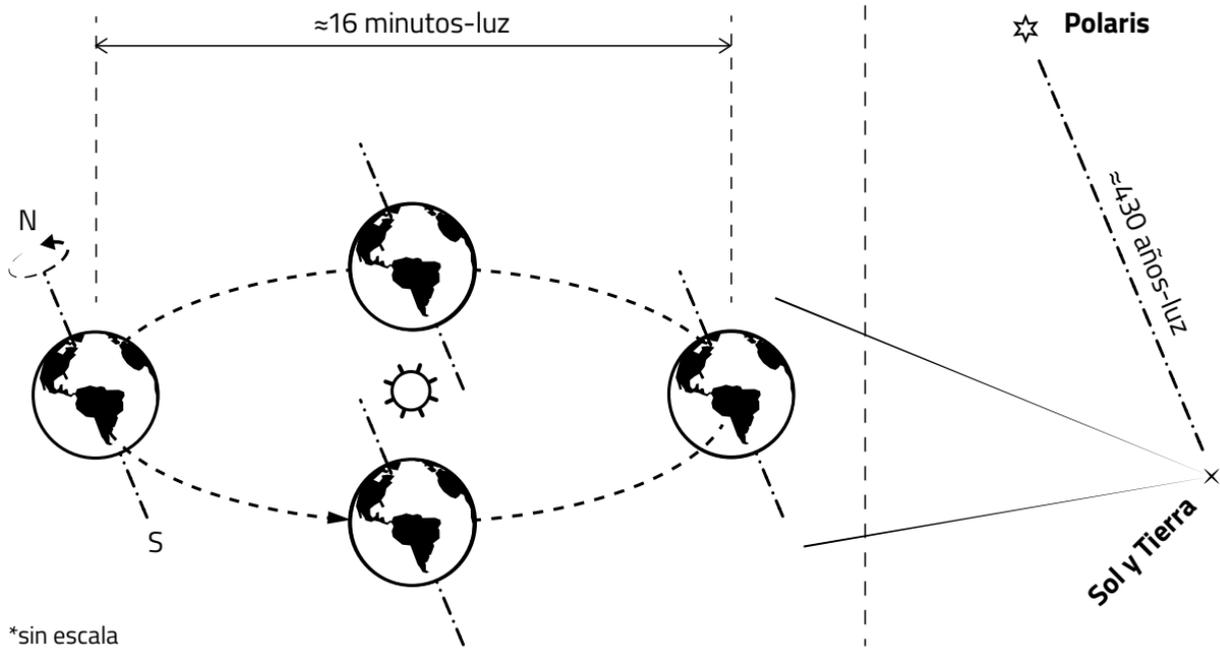
Con los planetas ocurre el mismo fenómeno:
gracias a que sus órbitas son casi coplanarias a la órbita terrestre,
los encontraremos siempre cerca del ecuador celeste.



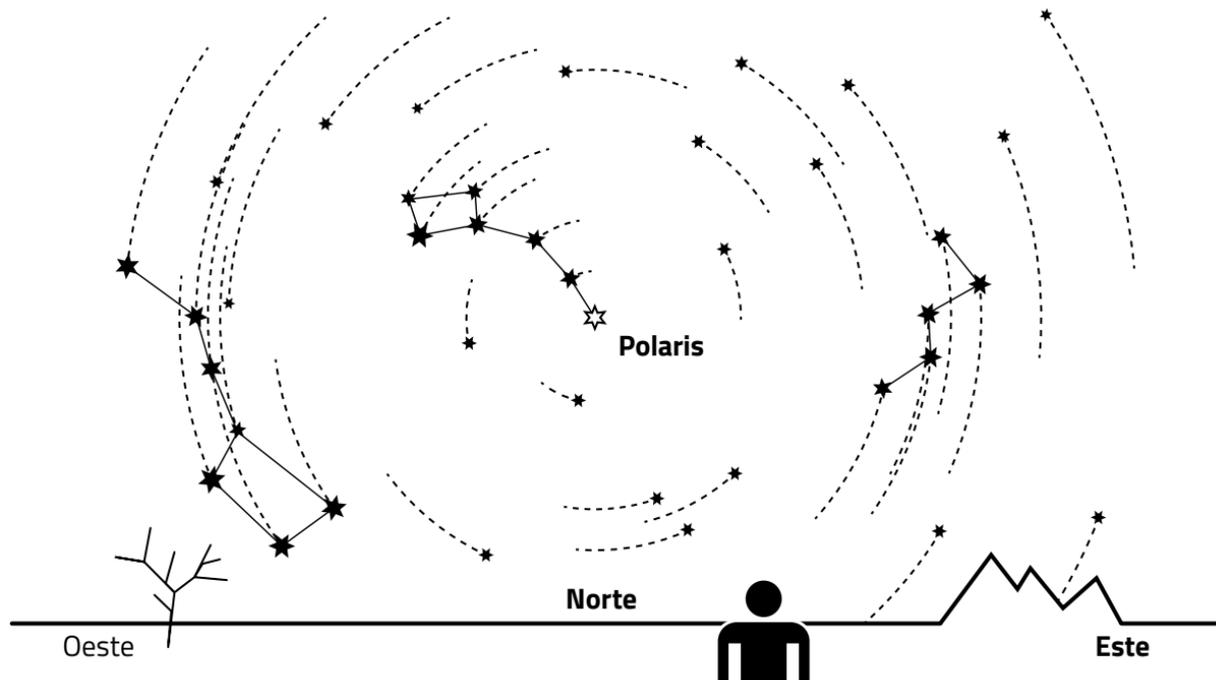
Movimiento aparente de los **planetas**:



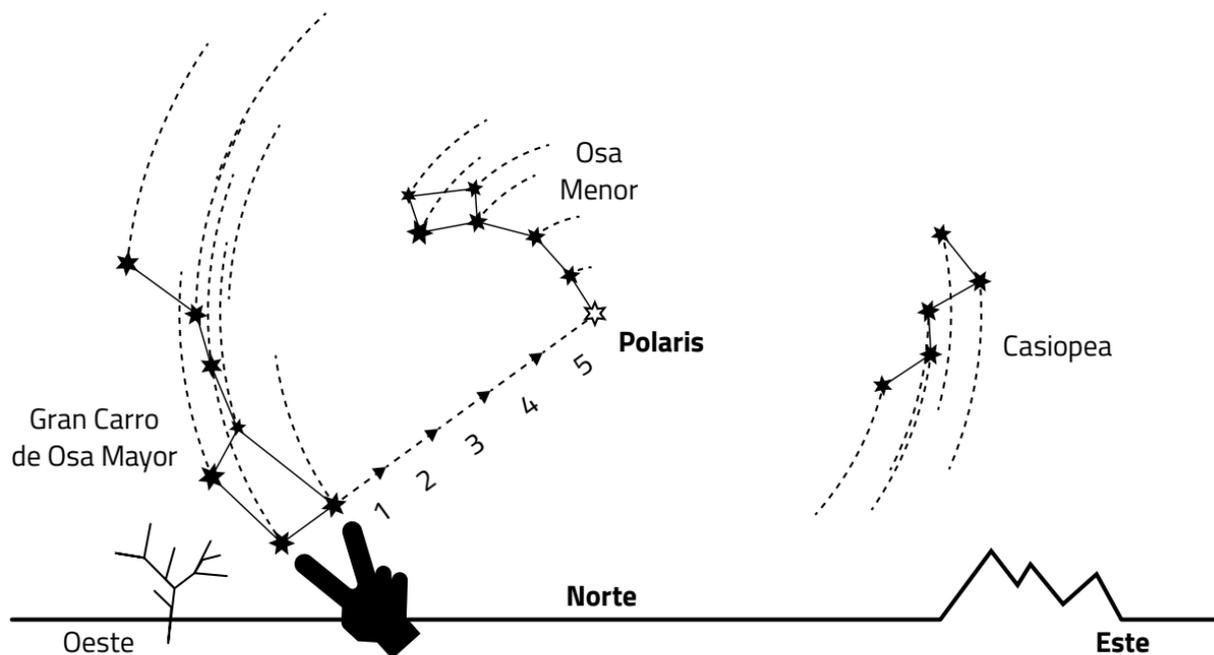
En el hemisferio norte el eje de rotación terrestre coincide, casualmente, con una estrella muy brillante: Polaris.
Es tan distante que ni el movimiento del Sol, de la propia Polaris o de la Tierra alrededor del Sol afectan a su posición aparente en el cielo.



Durante la noche todas las estrellas giran alrededor de Polaris. Cada día completan un giro debido a la rotación terrestre. Polaris se muestra como un punto fijo: todo el año, toda nuestra vida, durante generaciones y generaciones... Quizás por eso los antiguos no albergaban muchas dudas de ser el centro del universo. Se equivocaron completamente.

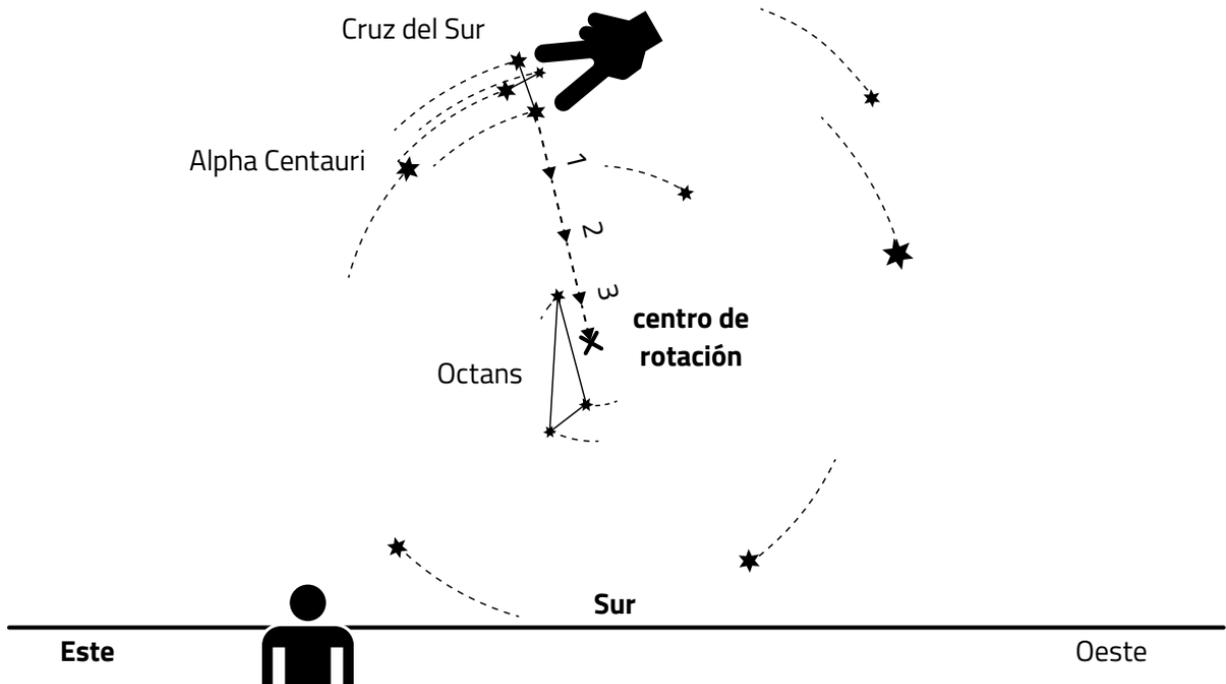


Polaris en apariencia no se mueve y siempre indica el Norte.
De ahí que siempre haya sido útil para orientarse. Además su altura en el horizonte depende exactamente de la latitud donde nos encontremos: en el Polo Norte estaría justo sobre nuestras cabezas.
Es muy fácil de localizar a partir del "Gran Carro" de la Osa Mayor.



En el hemisferio sur el eje de rotación terrestre no coincide con ninguna estrella de gran visibilidad pero podemos encontrar el imaginario centro de rotación de la bóveda celeste gracias a la Cruz del Sur.

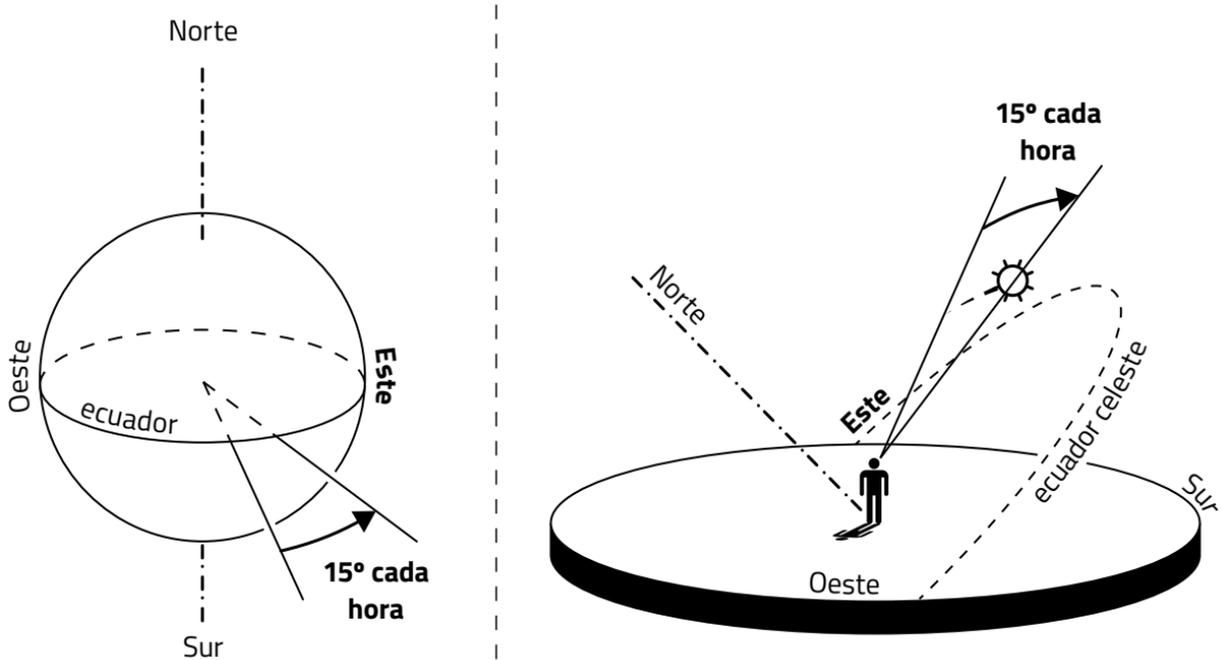
Día
120



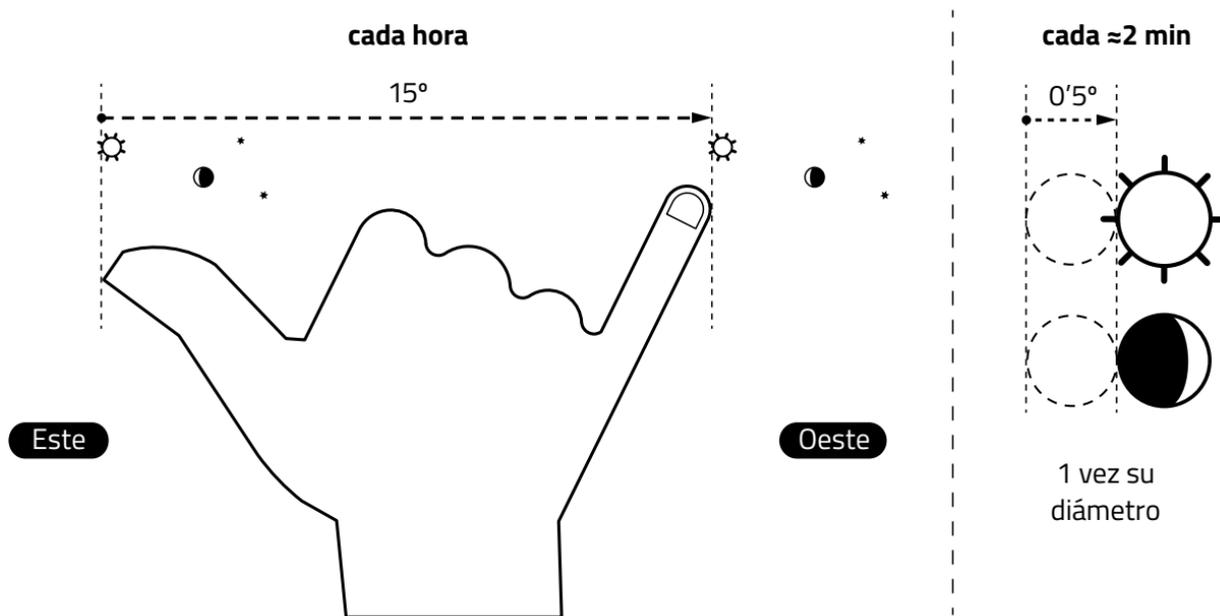
¿Cuánto gira la bóveda celeste cada hora? Debido a la rotación terrestre vemos a la bóveda celeste dar un giro completo de 360° cada día, por lo que cada hora gira 15° medidos en el ecuador celeste.

Día

121

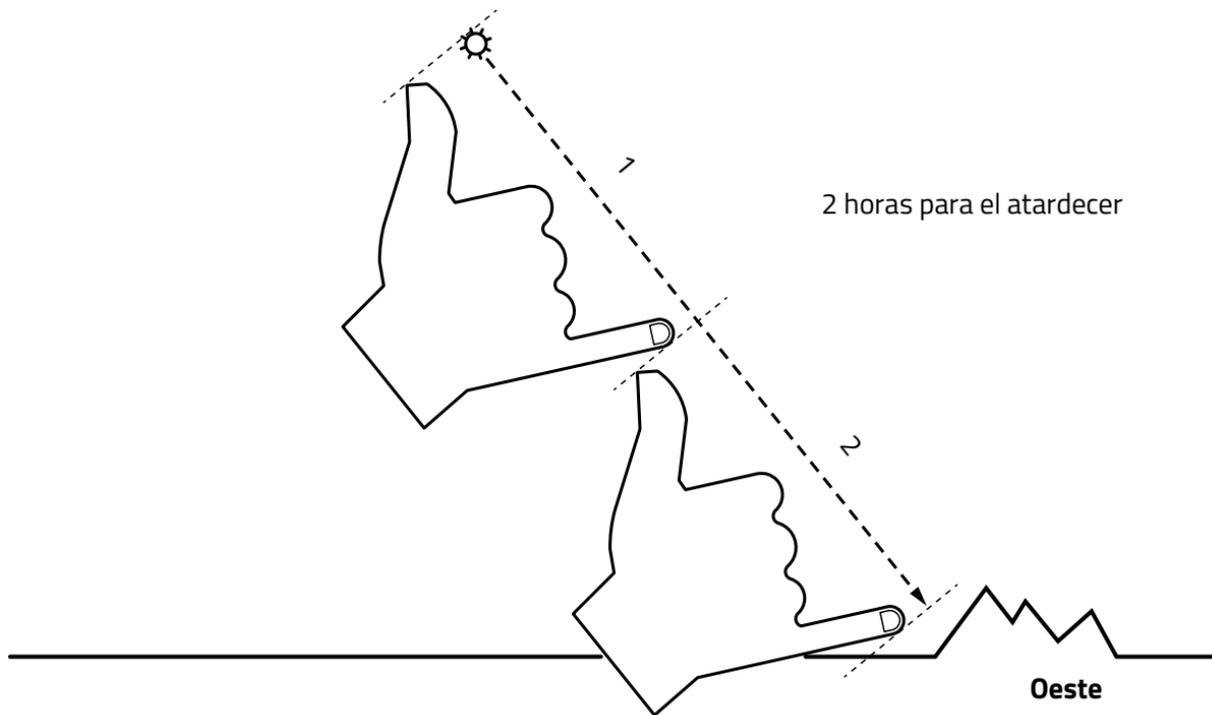


Con nuestra mano extendida como en la figura podemos medir los 15° por hora que gira la bóveda celeste cerca del ecuador celeste. Son $0'5''$ de visión cada unos 2 minutos. Es decir, una vez el propio diámetro tanto del Sol como de la Luna. Por eso un atardecer dura unos 2 minutos.



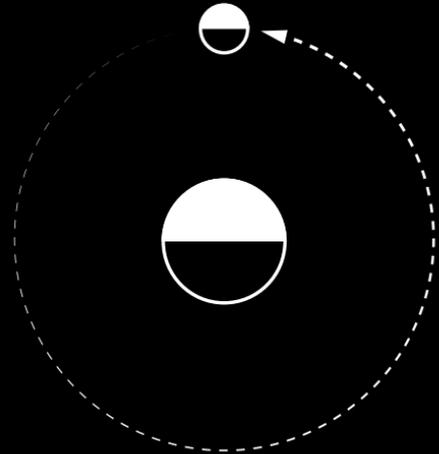
Con este sencillo método podemos calcular, sin más ayuda que una mano, cuántas horas faltan para la puesta de Sol y que anochezca.

Día
123



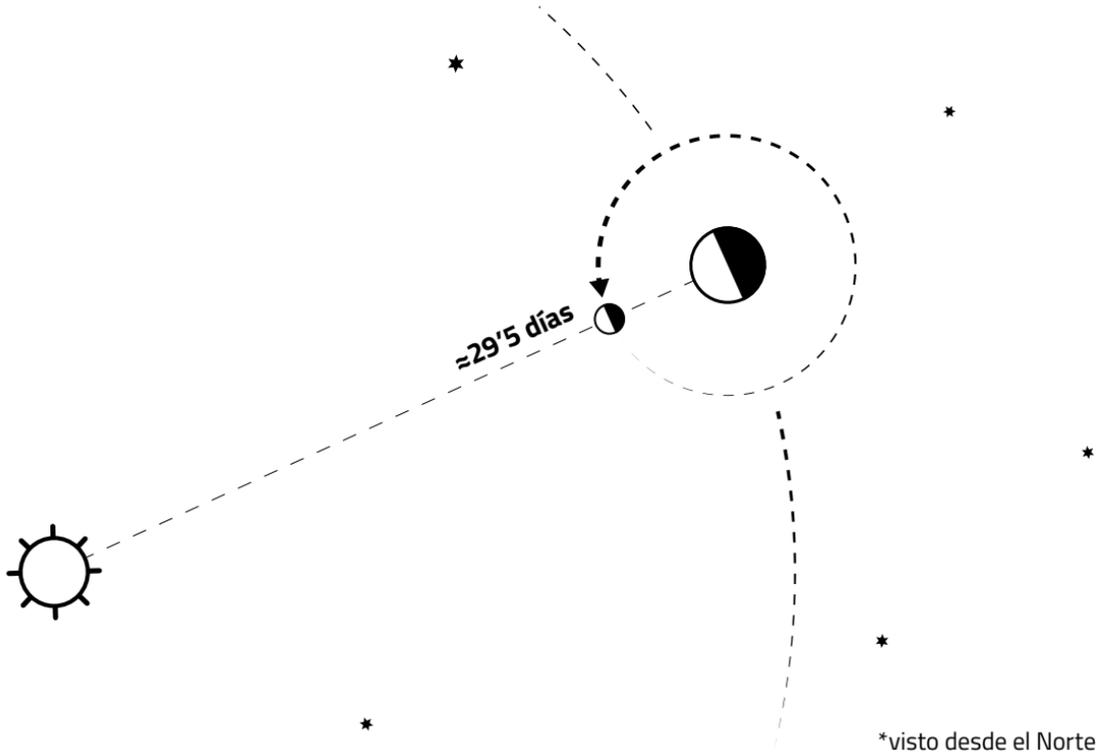
Capítulo 8

Mes



La Luna da un giro alrededor de la Tierra cada unos 29'5 días.
Lo hace en sentido antihorario visto desde el Norte.

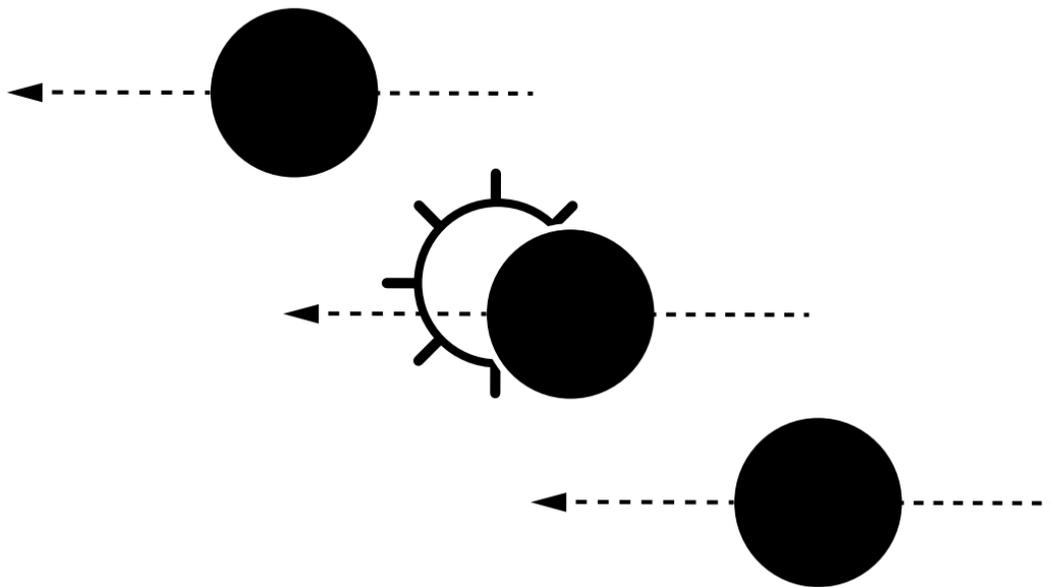
Mes
125



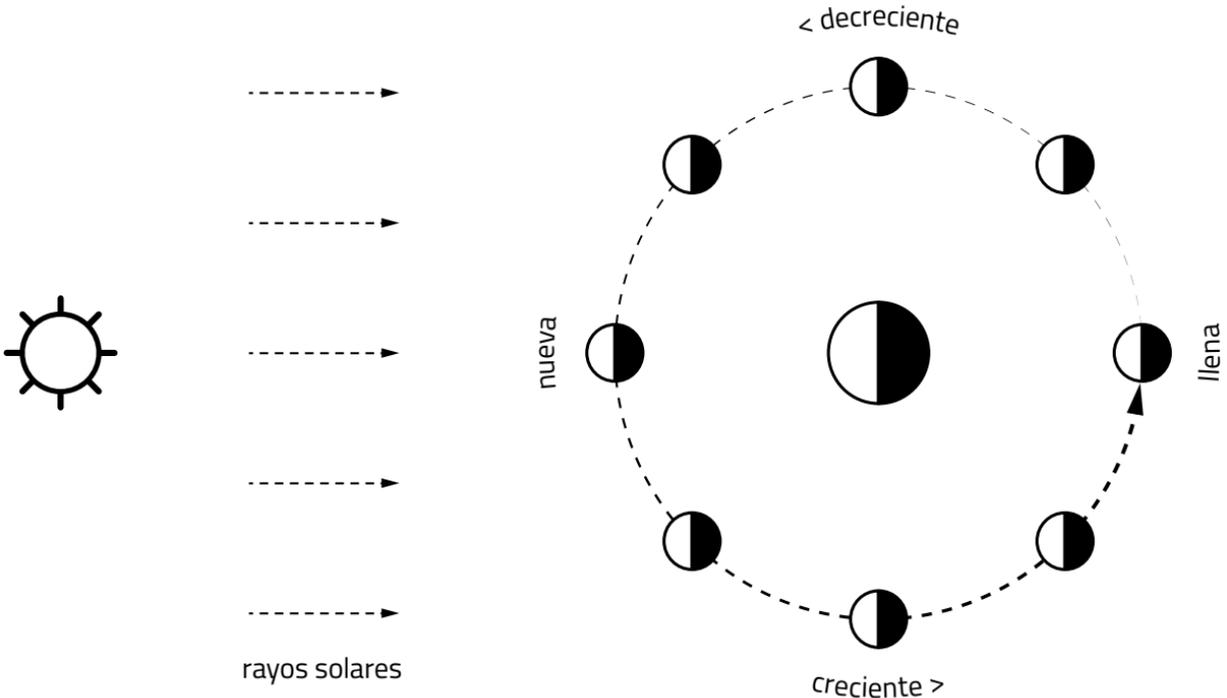
*sin escala

*visto desde el Norte

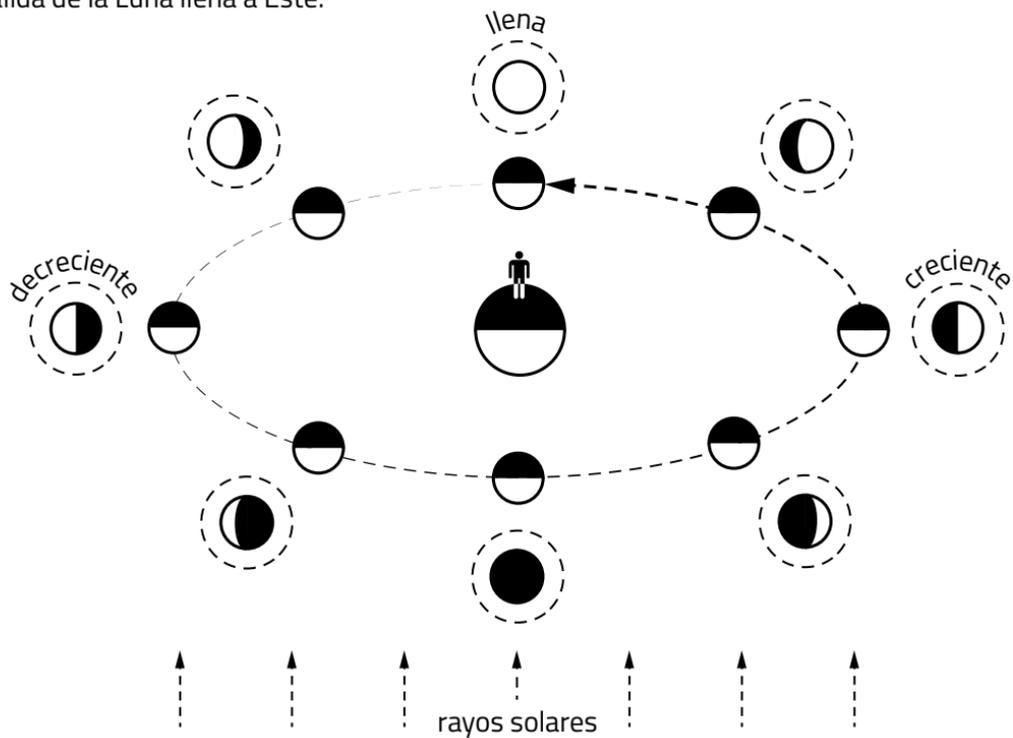
La Luna en fase "nueva" generalmente no la podemos ver, ya que se produce durante el día y la luz solar nos deslumbra. La Luna siempre pasa ligeramente por encima o por debajo del Sol, excepto durante los eclipses: es entonces cuando se hace evidente tanto su presencia como su lento movimiento de traslación.



Las fases lunares son el resultado de la luz solar sobre la superficie lunar vista desde la Tierra: la Luna no emite luz, pero sí la refleja. Por eso la Luna siempre “mira” hacia el Sol. Media Luna siempre está iluminada.

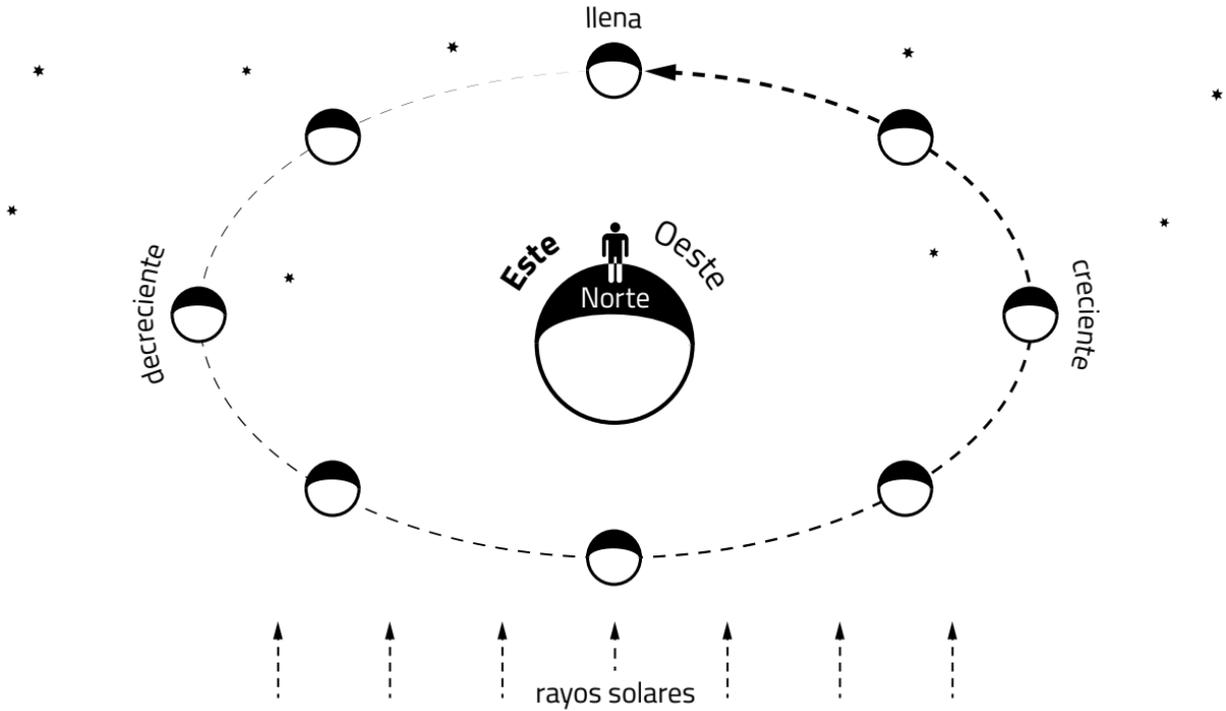


Estas son las fases lunares vistas desde la Tierra. Mirando la Luna llena podemos asegurar que tenemos al Sol justo detrás de nosotros. Es obvio al contemplar contemporáneamente un atardecer de Sol a Oeste y la salida de la Luna Llena a Este.

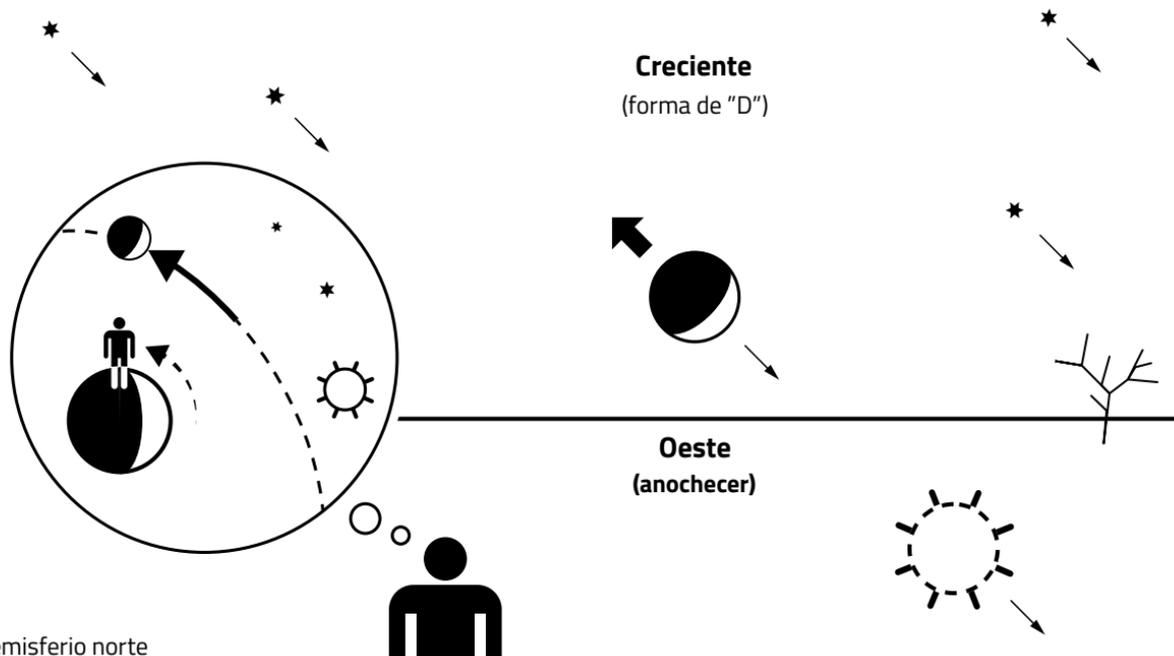


Es importante notar que la Luna orbita lentamente de Oeste a Este.
No de Este a Oeste como parece moverse diariamente a causa de la rotación terrestre.

Mes
130

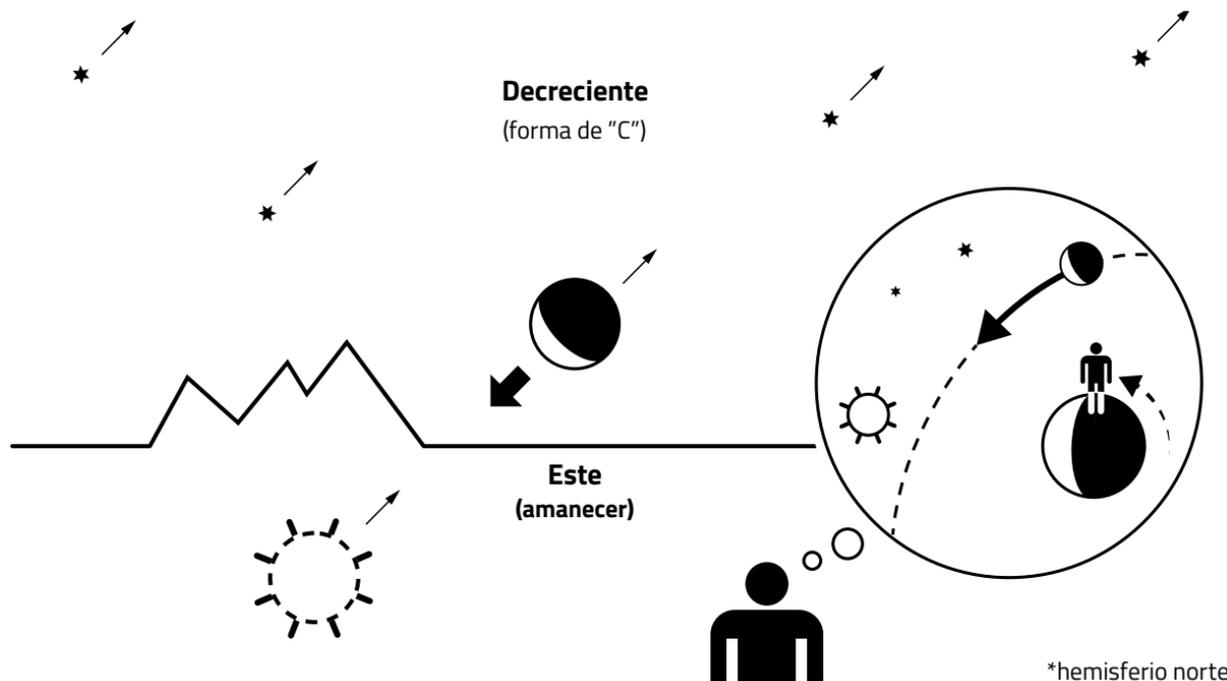


¿Cómo saber si la Luna está en fase creciente? Si la vemos en el Oeste cerca de la puesta del Sol significa que se está "alejando" del Sol, y cada día veremos más parte iluminada. En el hemisferio norte la sabiduría popular dice que Luna es mentirosa, en fase Creciente aparenta tener forma de "D" (desde el hemisferio sur aparenta una "C", no es mentirosa).

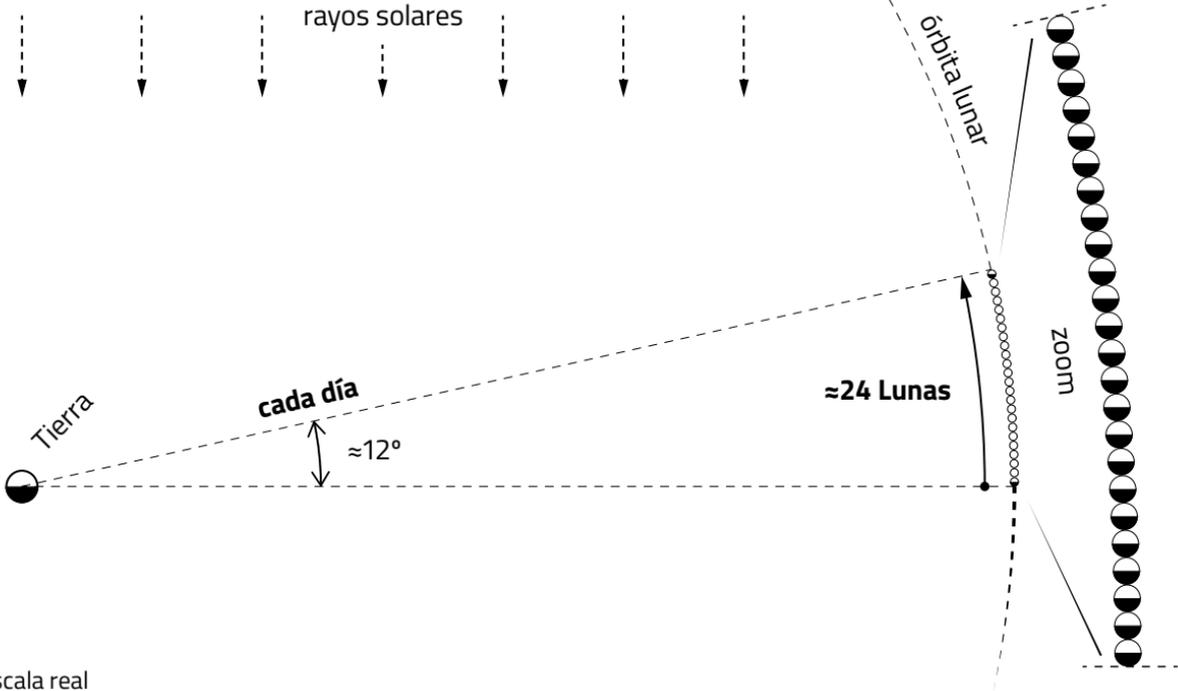


*hemisferio norte

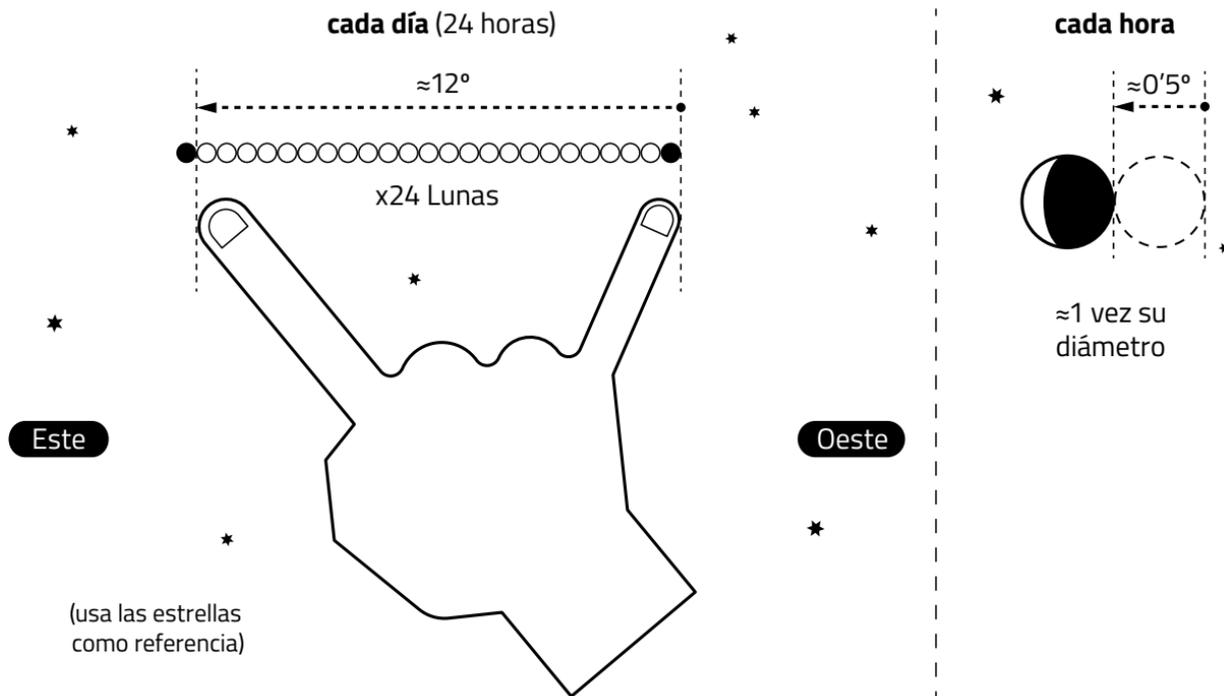
¿Cómo saber si la Luna está en fase decreciente? Si la vemos en el Este poco antes de la salida del Sol significa que se está "acercando" hacia el Sol, y cada día veremos menos la parte iluminada. En el hemisferio norte en fase Decreciente aparenta tener forma de "C" (desde el hemisferio sur aparenta una "D", no es mentirosa).



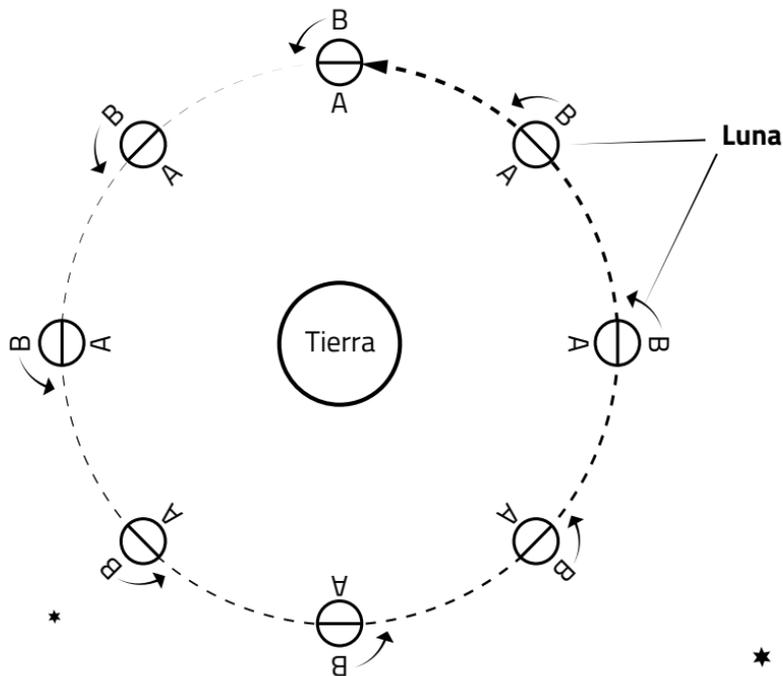
Este dibujo muestra con tamaños y distancias reales la distancia recorrida por la Luna en un día. Al completar 360° en unos 29'5 días, recorre unos 12° cada día. La distancia es equivalente a la suma de 24 veces su propio diámetro cada día, lo cual es sólo aproximativo y casual.



Los 12° de recorrido orbital diario de la Luna equivalen a 12° de visión. Puedes usar tu mano para saber dónde estará mañana la Luna respecto las estrellas cercanas. ¿Y en una hora? Cada 24 horas son 24 lunas, por lo que en una hora recorre una vez su propio diámetro.

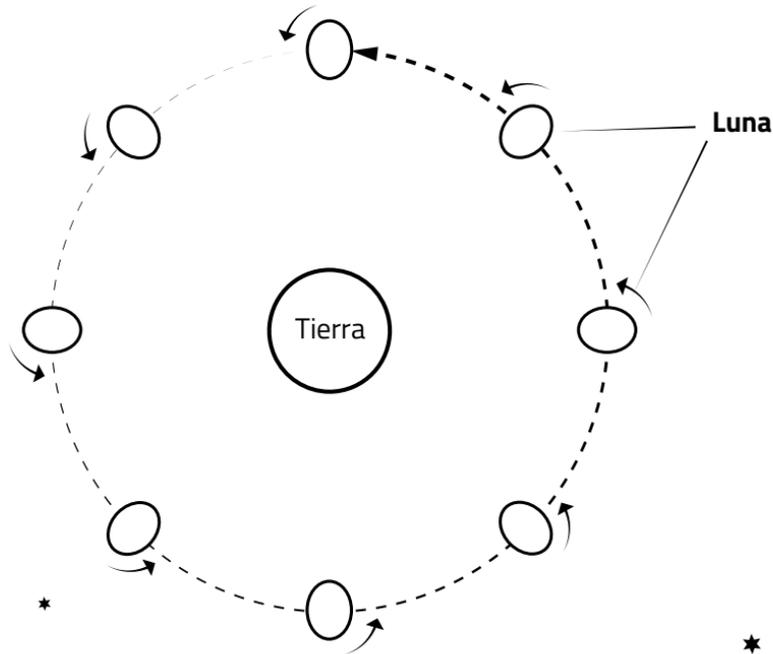


¿Qué es la cara oculta de la Luna? Al igual que la Tierra, la Luna también rota sobre sí misma. Nos muestra siempre la misma cara y nos oculta la otra porque da una vuelta sobre sí misma en el mismo tiempo exactamente que emplea en dar una vuelta alrededor de la Tierra.



*sin escala

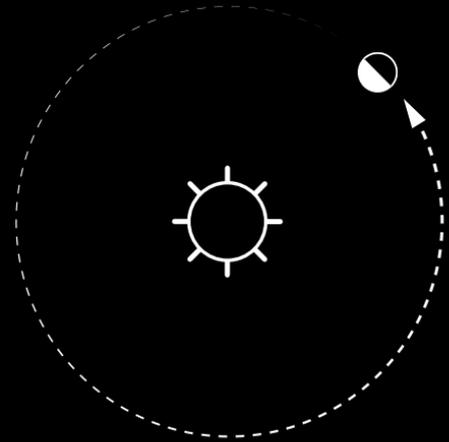
¿Es casualidad? No, se debe al efecto de "anclaje por marea":
la fuerza de gravedad de la Tierra ha deformado ligeramente la forma
esférica original de la Luna, frenando su rotación y sincronizándola con
su período de traslación.



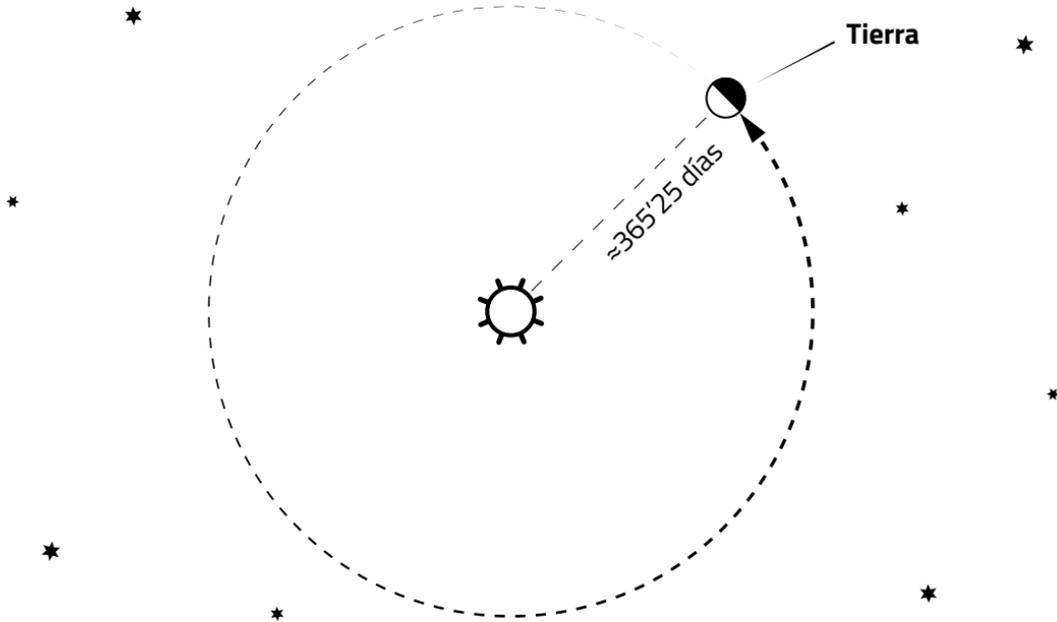
*sin escala

Capítulo 9

Año

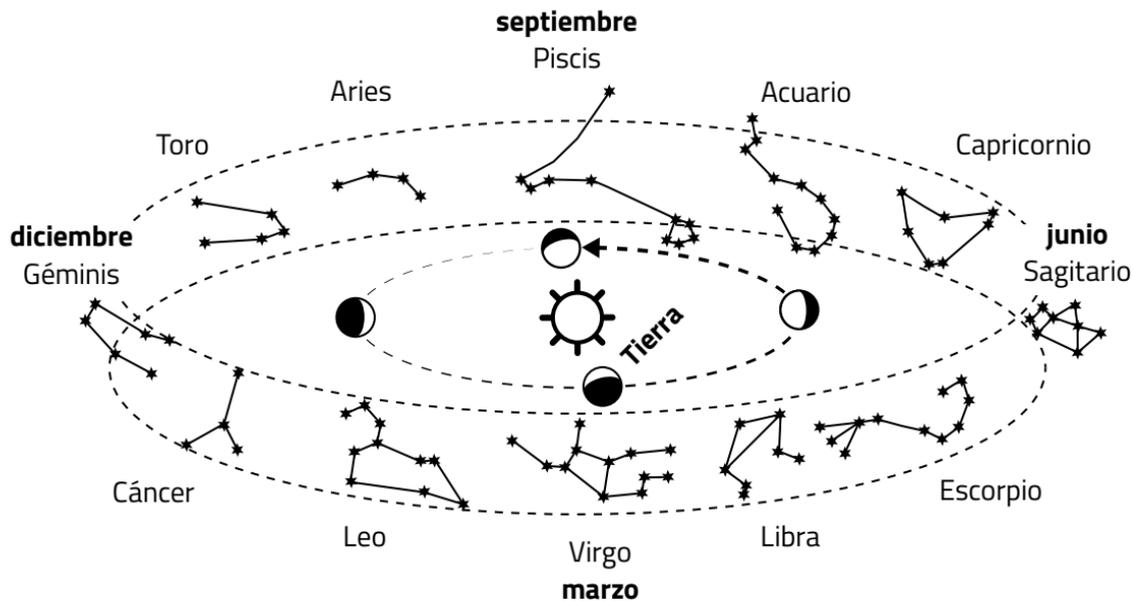


Un año es un giro completo de la Tierra alrededor del Sol. Un año son unos 365'25 días y 12'4 meses lunares. Orbitamos en sentido antihorario visto desde el Norte. Tu edad representa exactamente el número de vueltas que has completado alrededor de nuestra estrella, el Sol.



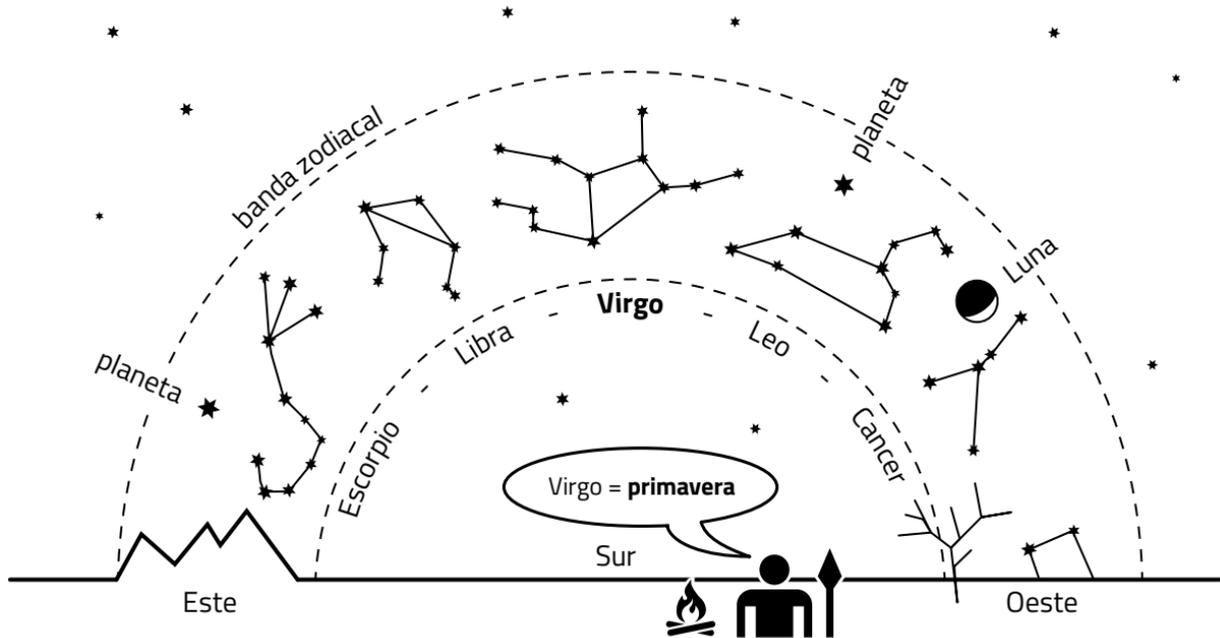
*sin escala

A medida que pasa el año, las estrellas que vemos durante la noche varían. Se conocen como constelaciones del Zodíaco a aquellas que coinciden con el plano orbital de la Tierra, la Luna y los planetas del Sistema Solar.

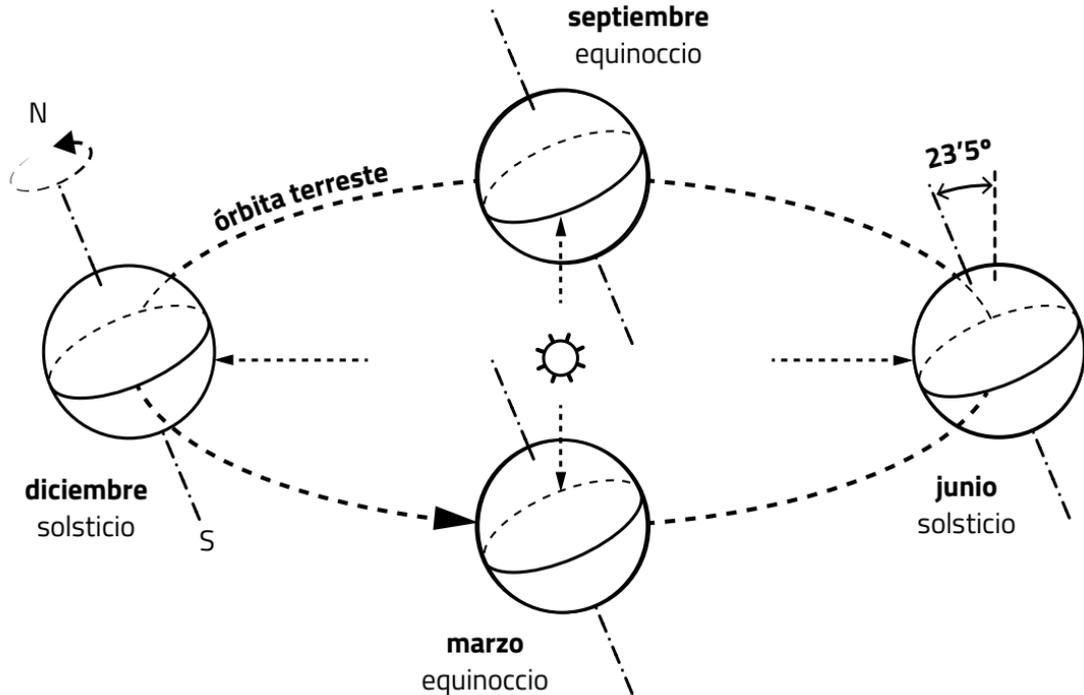


Vistos desde la Tierra, el Sol, la Luna y los planetas recorren la banda zodiacal, visitando a las diferentes "divinidades". Para los antiguos las constelaciones del Zodíaco eran de suma importancia ya que les ayudaban a saber en que época del año se encontraban.

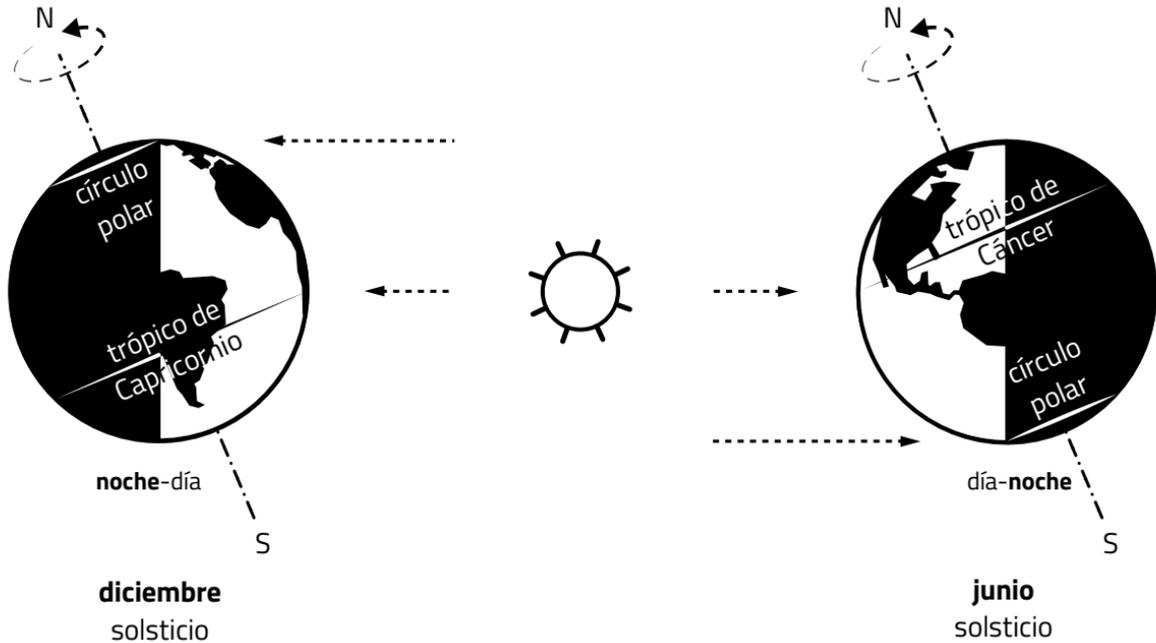
*hemisferio norte



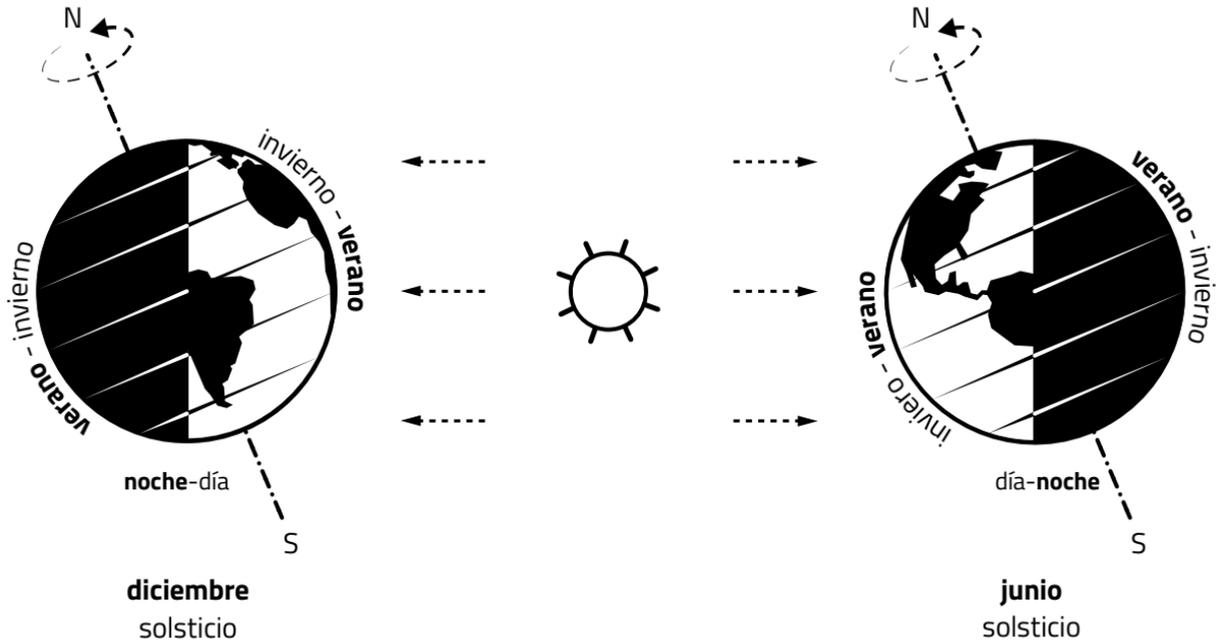
Las estaciones se producen porque el eje de rotación terrestre no es perfectamente perpendicular a la órbita terrestre alrededor del Sol: está inclinado $23'5^{\circ}$ respecto la vertical y se mantiene estable todo el año. La distancia entre Sol y la Tierra varía muy poco y no es relevante.



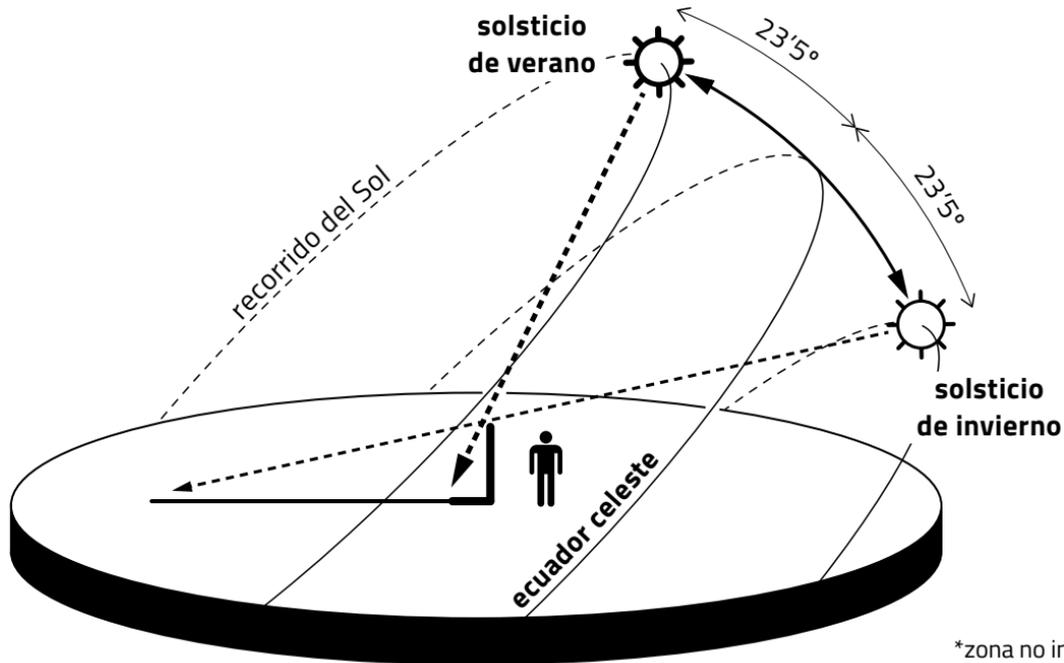
Los círculos polares delimitan la zona en la que hay al menos un día al año durante el cual el Sol permanece 24 horas bajo el horizonte. Sobre los trópicos la luz del Sol incide perpendicularmente una vez al año.



Las estaciones se producen debido a la variación en la inclinación de los rayos solares (más perpendiculares, más calor) y a la proporción de horas de luz y oscuridad (más horas de luz, más calor). Por eso el verano y el invierno ocurren en momentos opuestos en cada hemisferio.

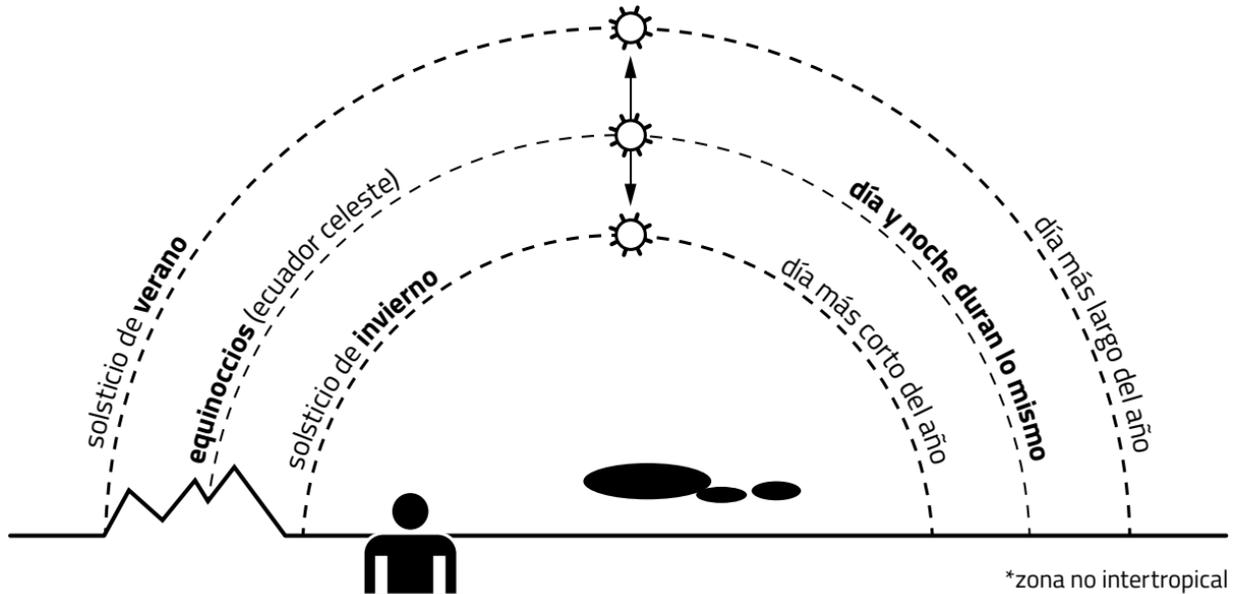


Los solsticios son los dos momentos del año en los que el Sol se encuentra más alejado del ecuador celeste. En verano los rayos solares inciden más verticalmente, aportando más calor. Por contra, en invierno inciden más horizontalmente, aportando menos calor.

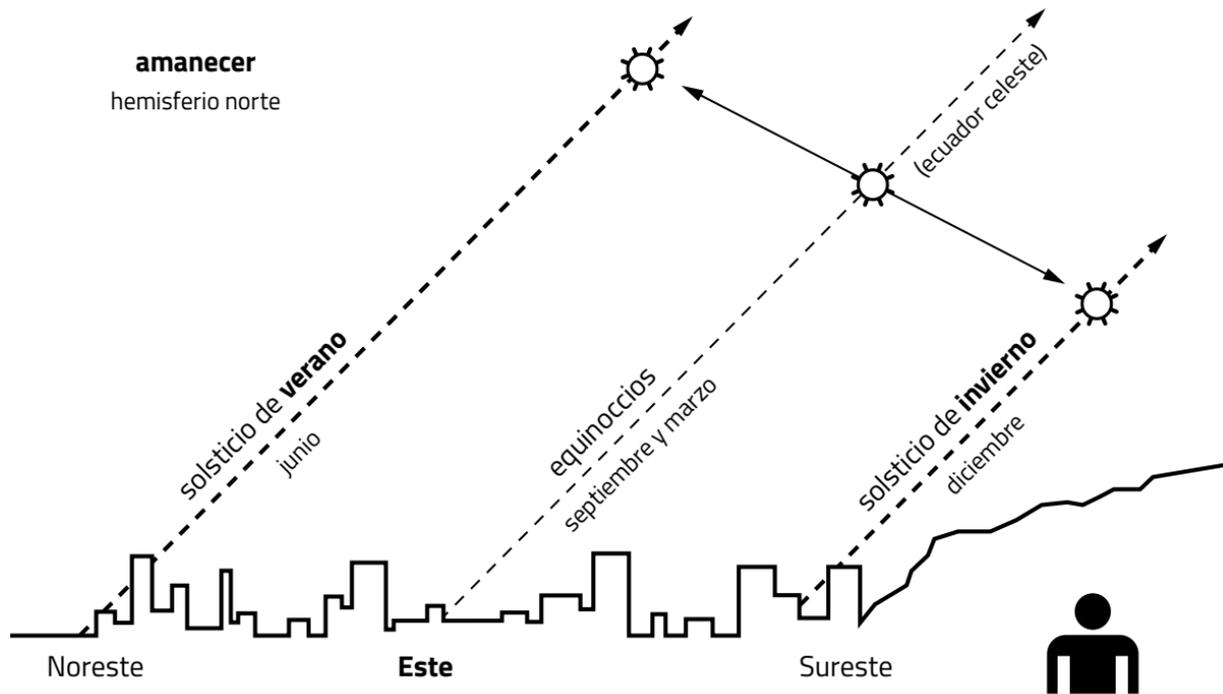


*zona no intertropical

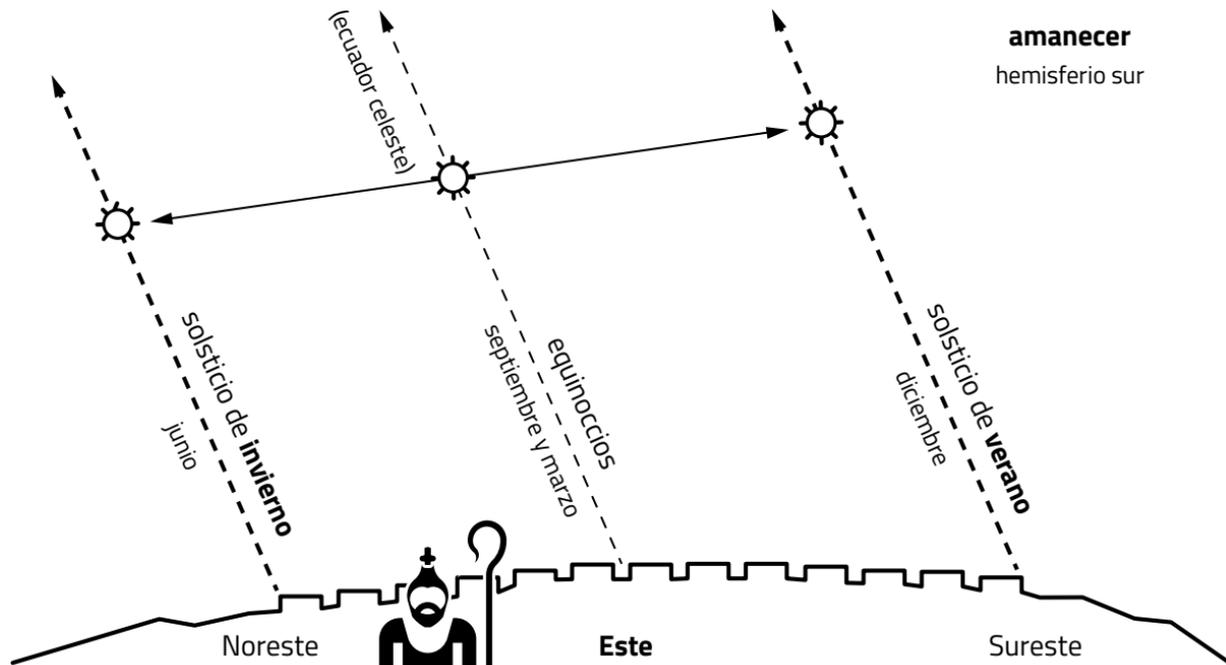
Los equinoccios son los dos momentos del año en los que el día y la noche duran lo mismo. Un día completo son siempre 24 horas, pero ocurre que el Sol hace un recorrido diferente en el cielo cada día. Como consecuencia, en verano los días son más largos que las noches, ayudando a aumentar la temperatura. Durante el invierno sucede lo contrario: los días son más cortos que las noches, contribuyendo a bajar la temperatura.



A medida que transcurren las estaciones del año, el Sol varía su posición de salida y puesta en el horizonte. Sólo durante los equinoccios sale exactamente por el Este y se pone exactamente por el Oeste. Los solsticios y equinoccios acontecen cerca del día 21 de su mes.



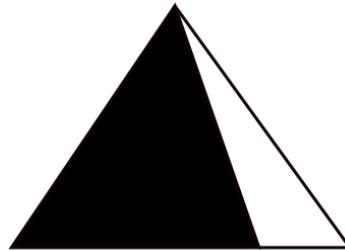
Aprovechando estos fenómenos nuestros ancestros empezaron a medir el paso del tiempo cada vez con mayor precisión. En el siglo IV a.C. en Chanquillo (Perú) los indígenas construyeron 13 torres sobre una colina que les servía de calendario "lunisolar".



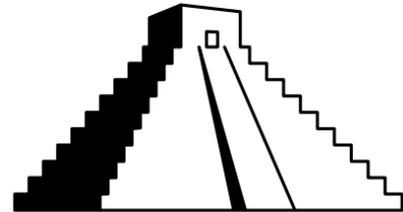
Muchas culturas han construido templos orientados y diseñados específicamente para medir el paso del tiempo, crear efectos lumínicos durante el ciclo solar y llevar a cabo rituales... Especialmente durante el solsticio de verano (celebrando el día más largo del año), durante los equinoccios (llegada de la primavera) y durante el solsticio de invierno (celebrando que el Sol volvía a subir en el horizonte y a alargar sus horas de luz, no abandonándonos a nuestra suerte en una fría noche eterna...)



Stonehenge
≈2500 a.C.
Inglaterra

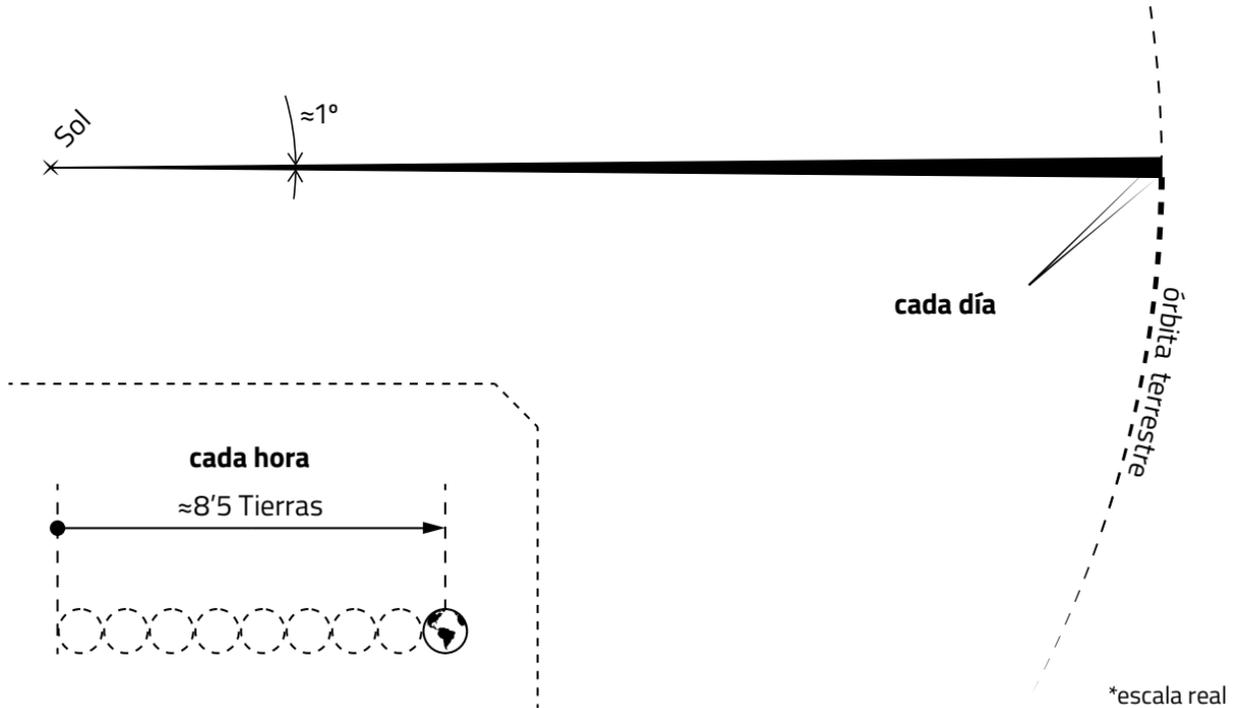


Antiguo Egipto
≈2500 a.C.
Egipto

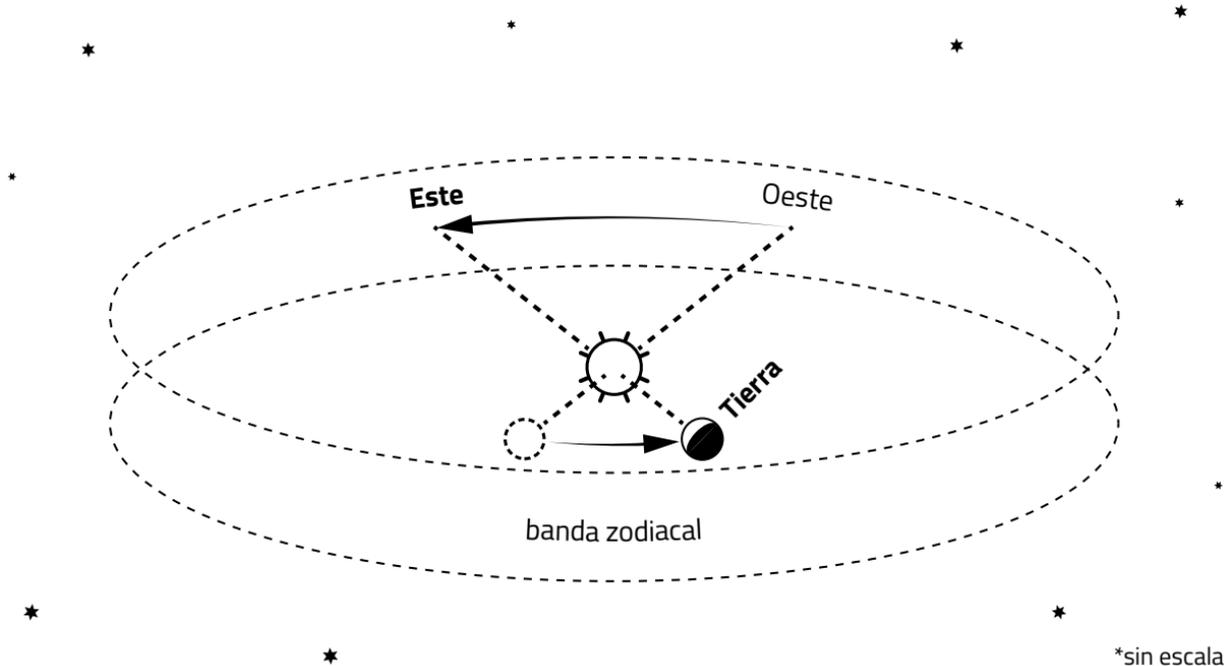


templo azteca
≈1000 d.C.
México

¿Cuánta órbita recorre la Tierra cada día? Puesto que completa 360° en unos 365 días, recorre aproximadamente 1° al día. ¿Y cada hora? Cada hora recorreremos una distancia 8'5 veces el diámetro terrestre.

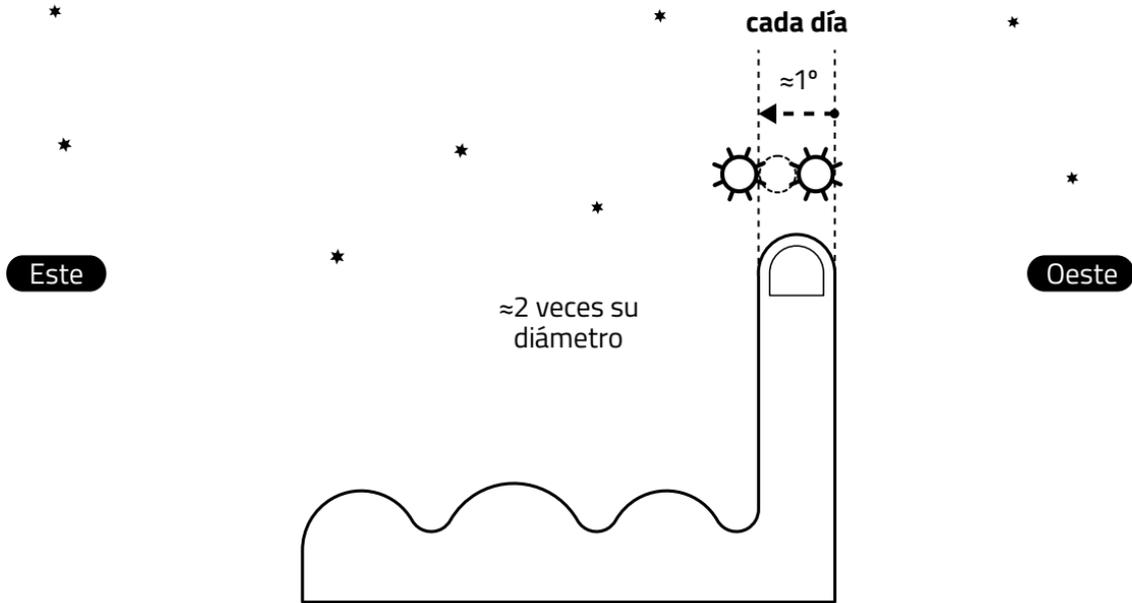


Debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol (traslación), éste se desplaza lentamente hacia el Este en el firmamento. ¡Justo al revés de como parece moverse diariamente por la rotación terrestre! Este efecto no lo podemos ver, ya que el propio Sol nos deslumbra y no podemos usar las estrellas como referencia.



*sin escala

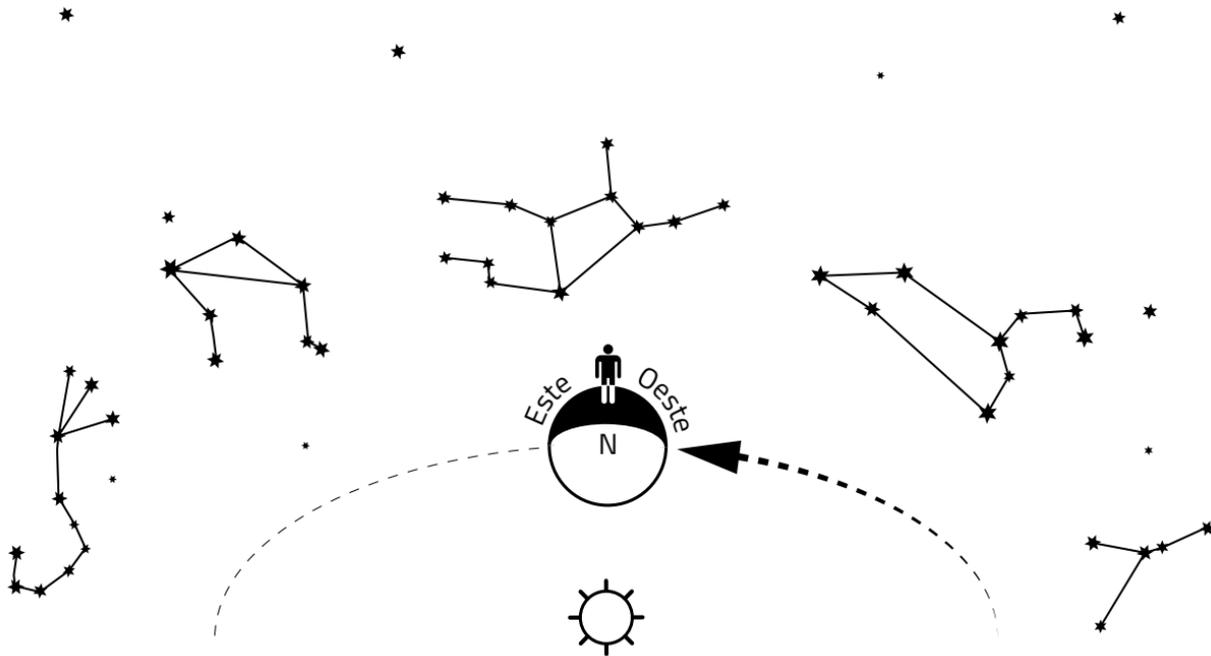
¿Cuánto se desplaza el Sol cada día? Debido a la traslación de la Tierra, el Sol se desplaza diariamente un grado hacia el Este respecto al fondo estrellado (¡aunque no lo veamos!)



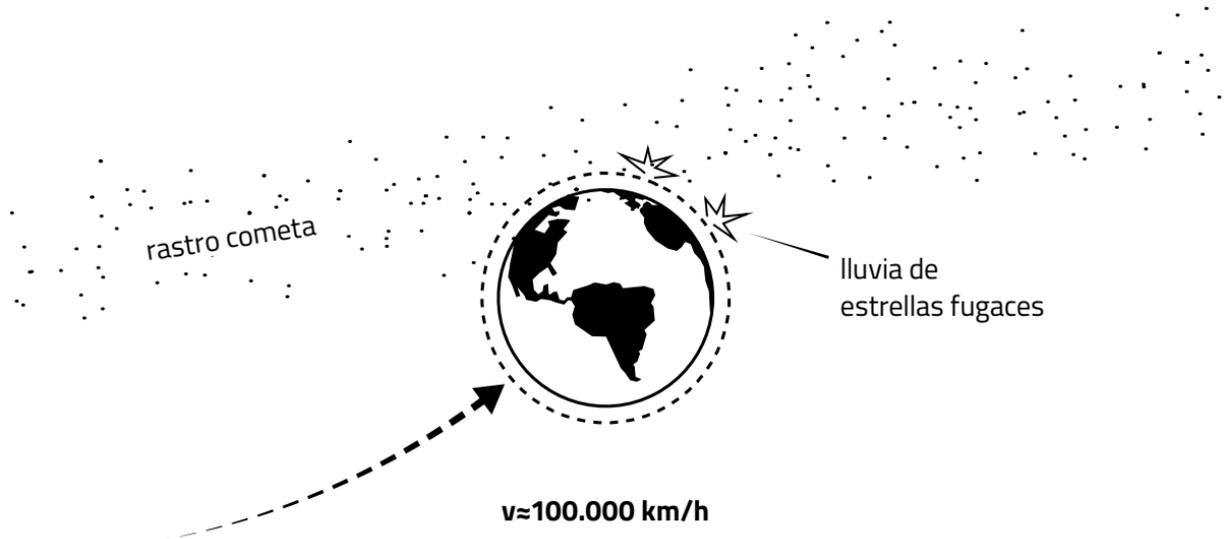
Mirando el cielo nocturno... ¿hacia dónde vamos?

A medianoche mirando a Este vemos ascender las constelaciones hacia las que nos dirigimos a medida que avanza el año.

A Oeste vemos descender las constelaciones que dejamos detrás.



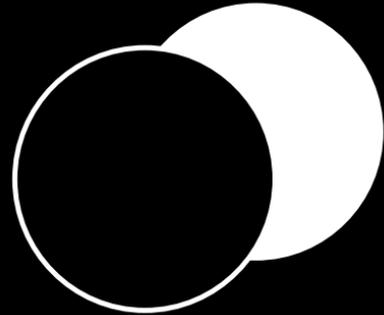
La Tierra se mueve alrededor del Sol a más de 100.000 km/h.
Las lluvias de estrellas fugaces se producen cuando atravesamos
el rastro polvoriento dejado por un cometa en su órbita...
¡Son como mosquitos en el parabrisas del coche!



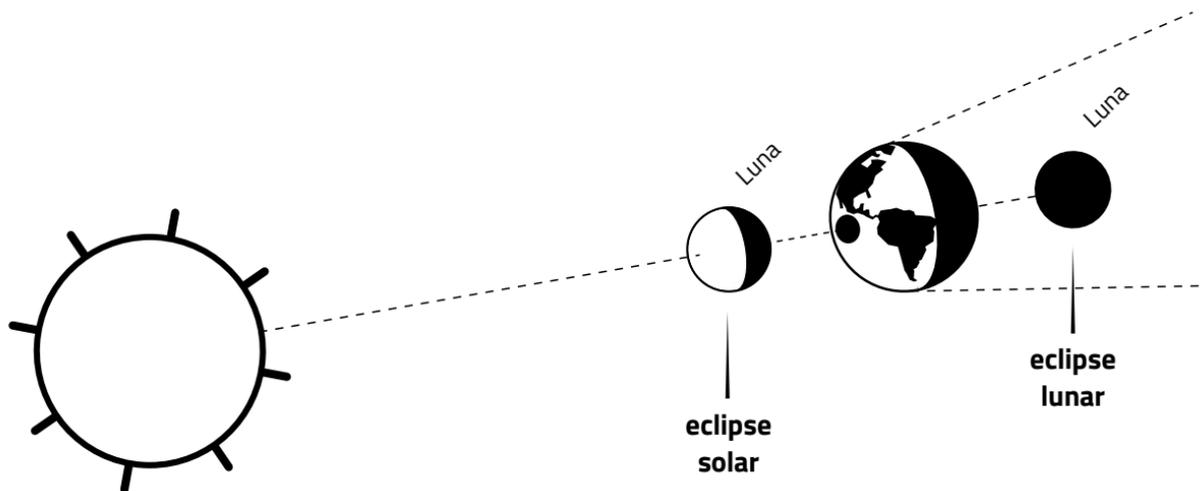
*sin escala

Capítulo 10

Eclipses

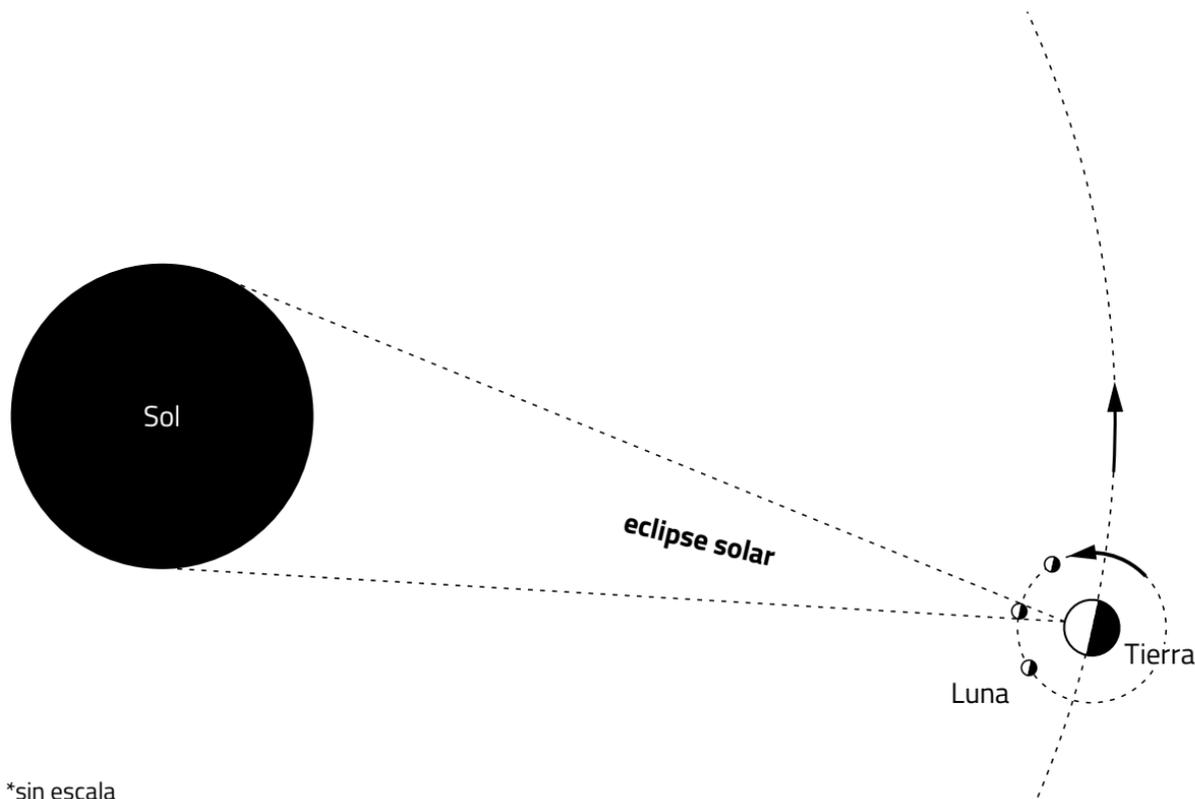


Un eclipse es la proyección de la sombra de un objeto celeste sobre otro.
Para que esto ocurra ambos deben alinearse con la fuente de luz.
Vistos desde la Tierra existen de dos tipos: solares y lunares.



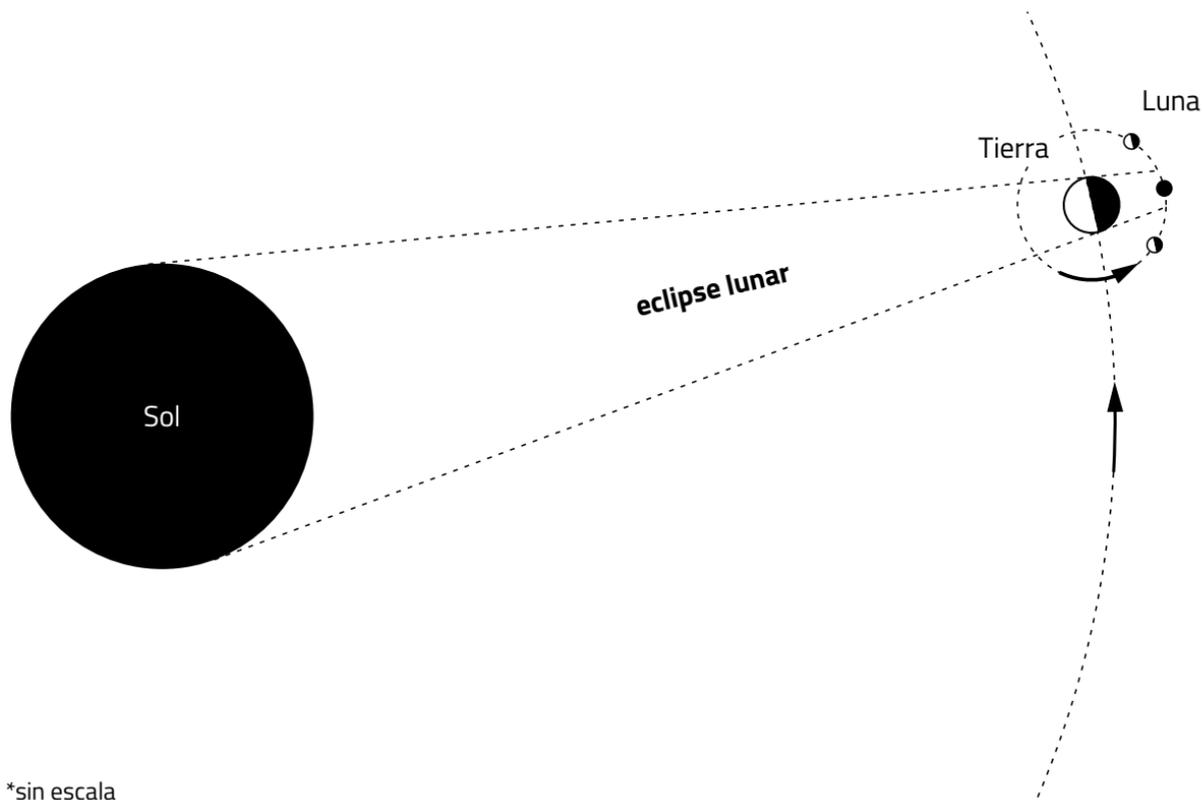
*sin escala

| Los eclipses solares se producen de día, en fase de Luna nueva.



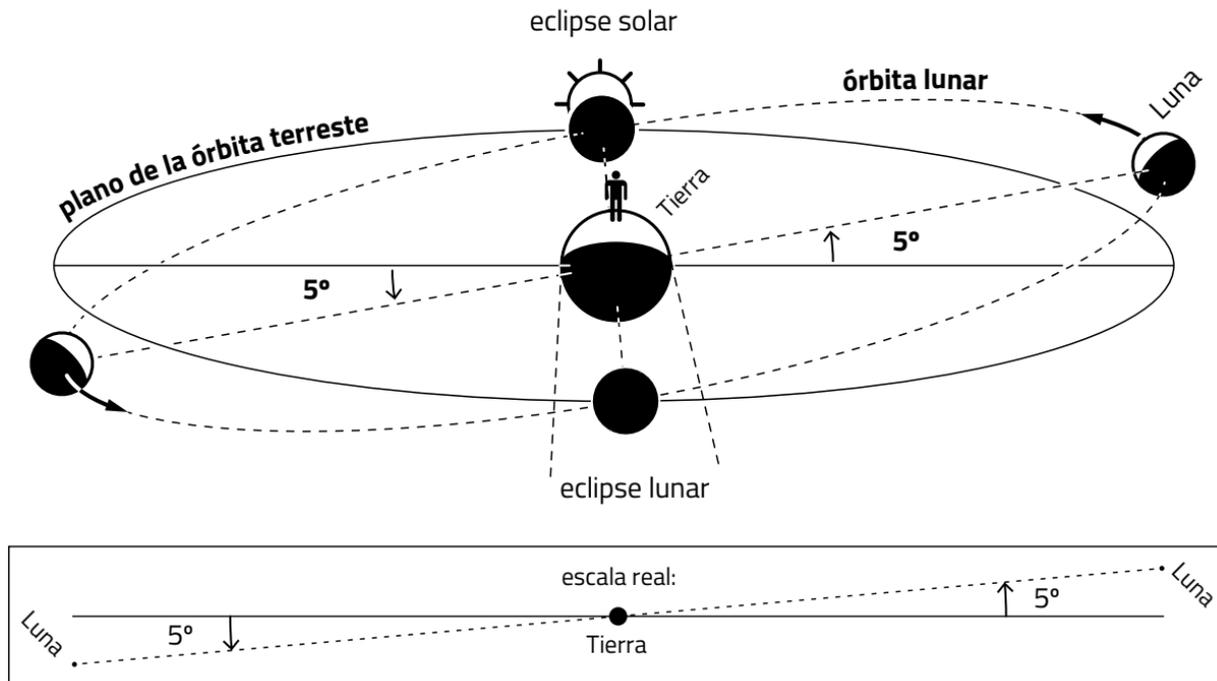
*sin escala

| Los eclipses lunares se producen de noche, durante la Luna llena.



*sin escala

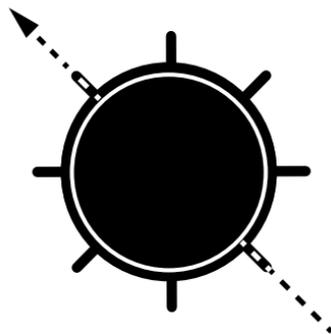
Si las órbitas terrestre y lunar fuesen perfectamente coplanarias se producirían dos eclipses cada mes (uno solar y otro lunar). Pero difieren en 5 grados, por lo que la Luna se encuentra casi siempre por encima o por debajo del plano de la órbita terrestre.



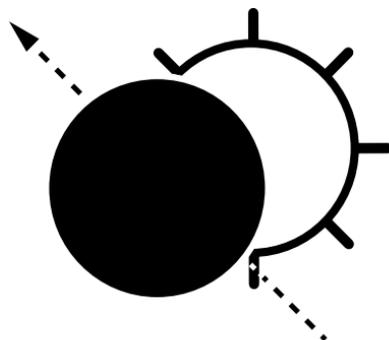
Existen 3 tipos de eclipses solares: parcial, total o anular. Como hemos mencionado, los totales se dan gracias al hecho casual de que el Sol es 400 veces más grande que la Luna y está 400 veces más lejos.

Tipos de eclipse solar:

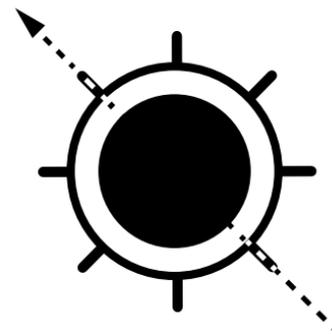
total



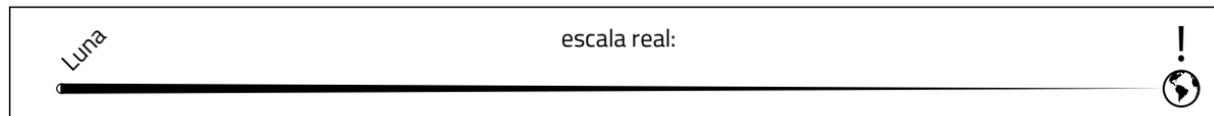
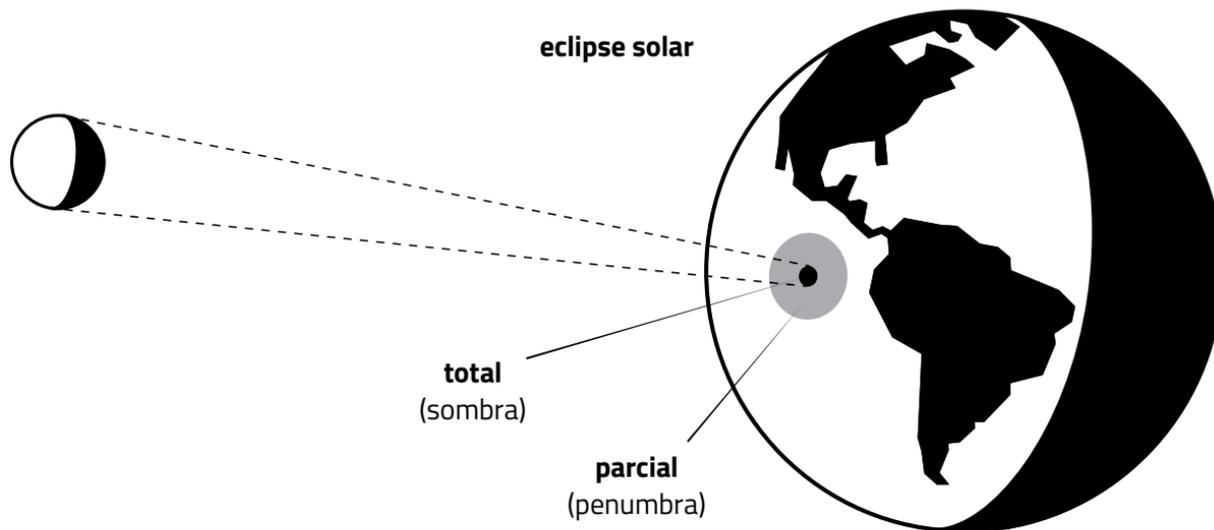
parcial



anular

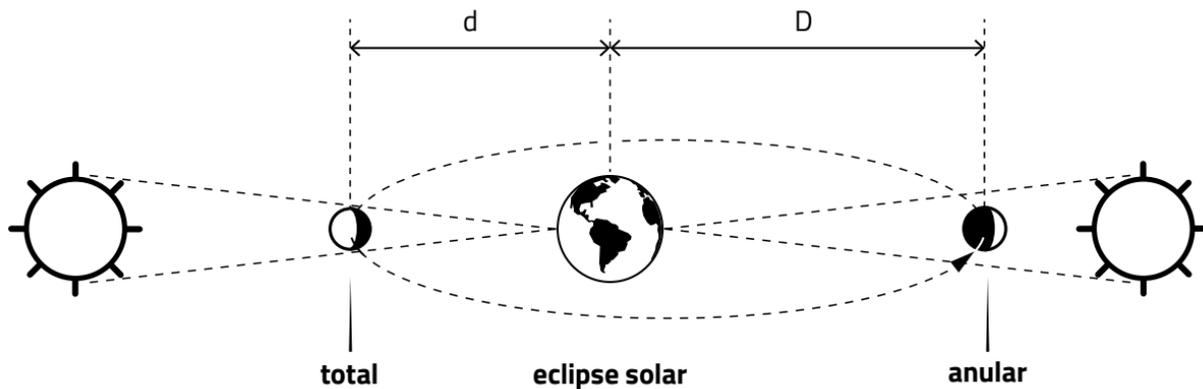


Los eclipses totales se ven desde la zona donde se proyecta la sombra de la Luna. Los parciales se ven desde la zona de penumbra. Es poco frecuente ver eclipses solares en directo porque la sombra lunar ocupa un área muy reducida. Además el 71% de la superficie terrestre es agua.



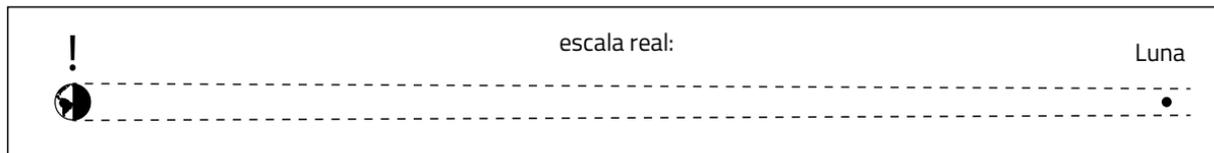
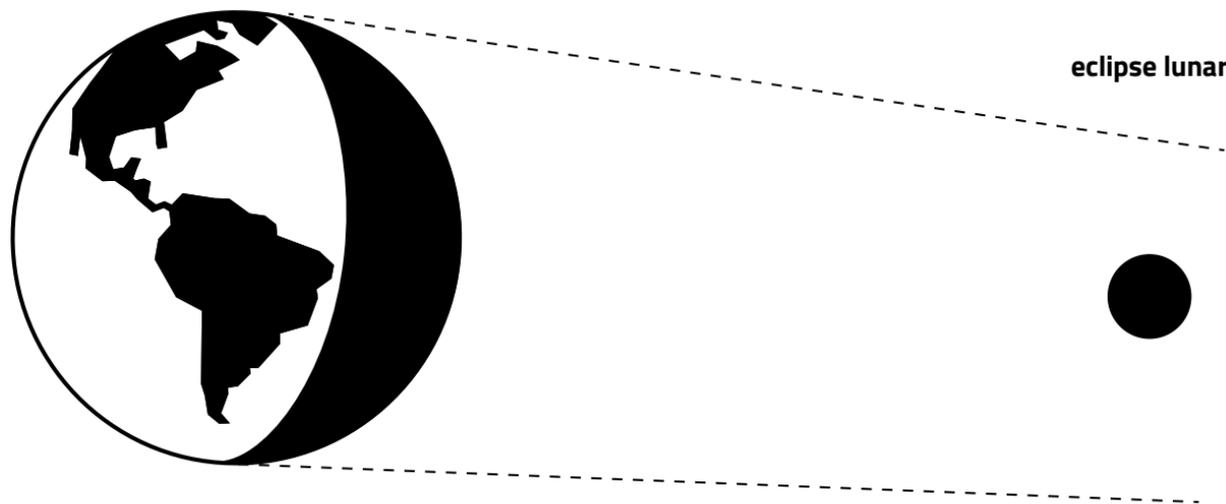
La diferencia entre eclipses totales y anulares se debe a que la órbita lunar es ligeramente elíptica (99'85% esférica y descentrada).

A veces la Luna está más alejada de la Tierra y se ve ligeramente más pequeña, no llegando a cubrir totalmente el Sol y dibujando un anillo.

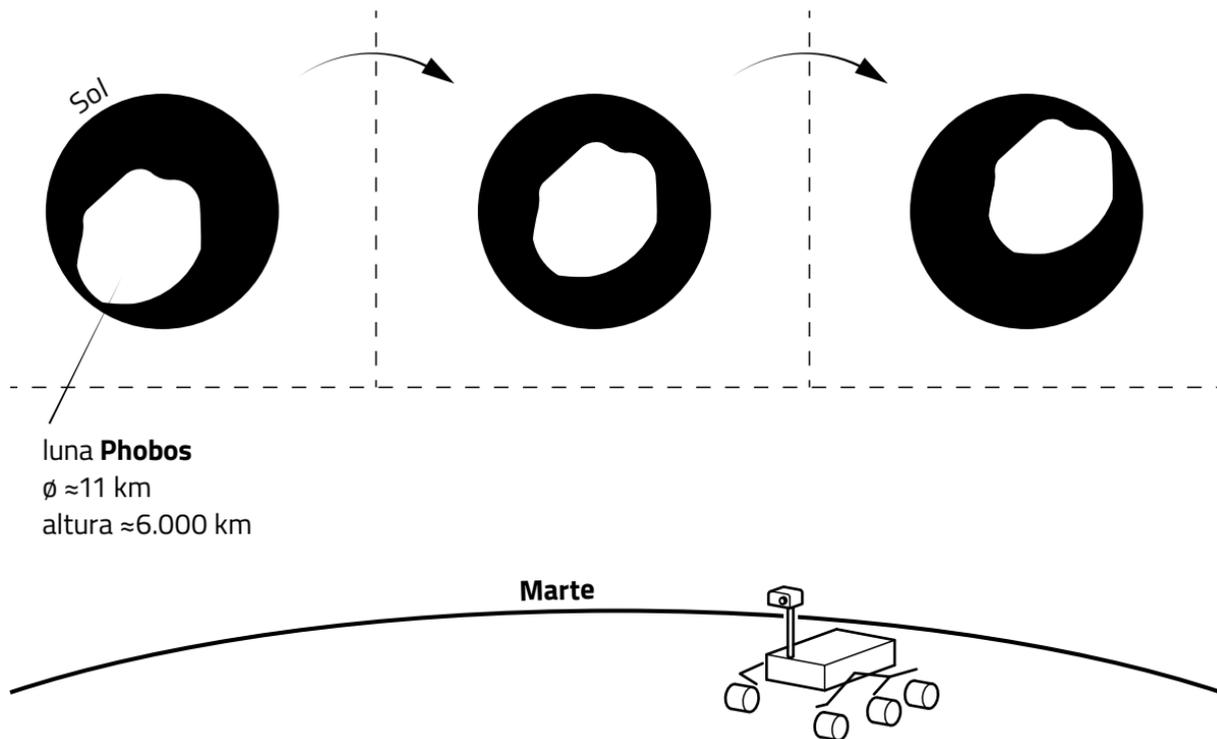


*en perspectiva y sin escala

Es más probable ver un eclipse lunar que uno solar, debido a que cuando se producen son visibles desde más del 50% de la Tierra.



En otras partes del Sistema Solar también se producen eclipses, como por ejemplo este eclipse solar fotografiado por el rover Curiosity en 2013 desde la superficie marciana.

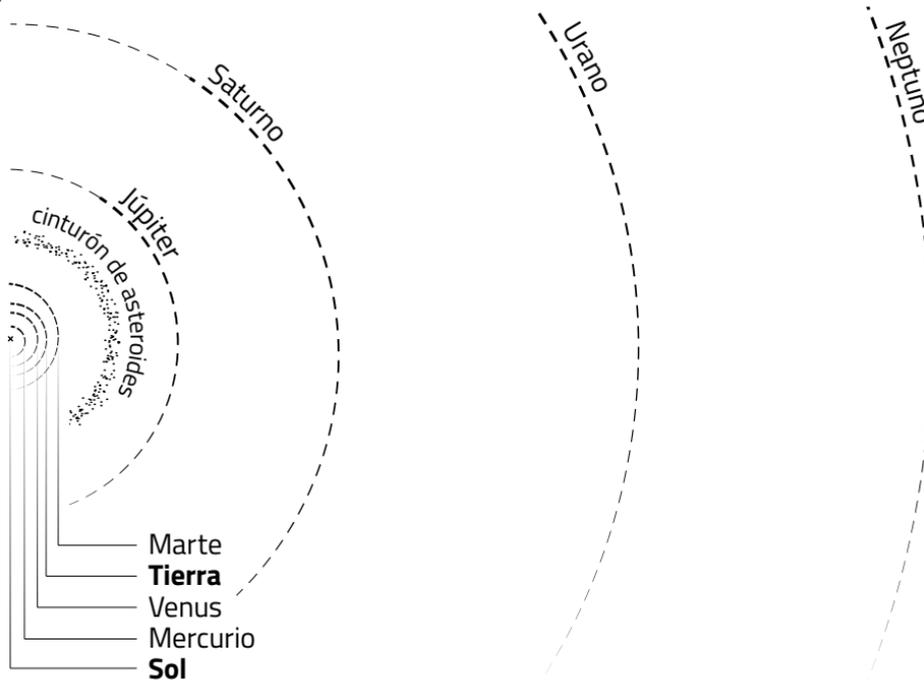


Capítulo 11

Años planetarios

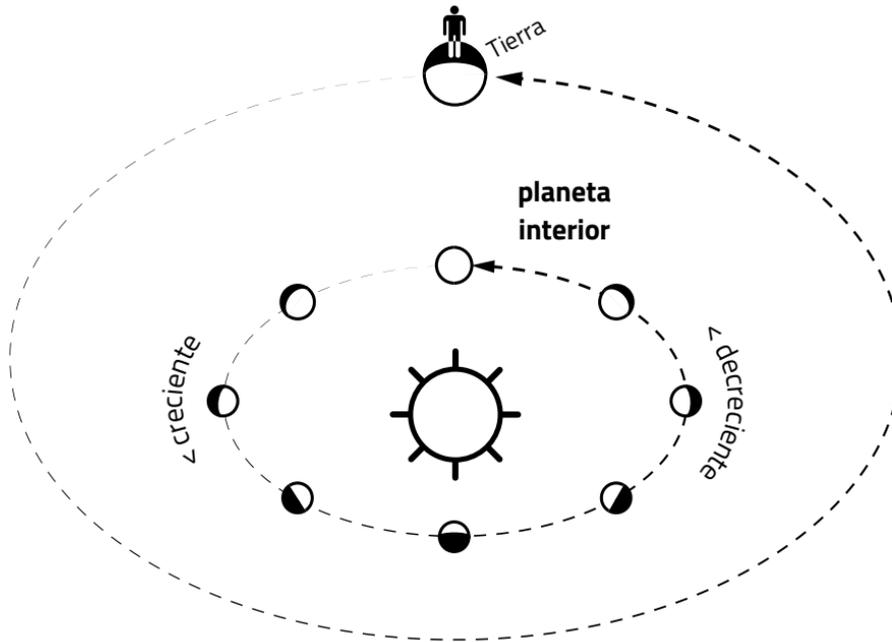


¿Cuánto dura un año en cada planeta? Cuanto más cerca el planeta está del Sol, más rápido orbita y menos tarda en completar una vuelta. Cuanto más alejado, más tiempo emplea. Un año en Júpiter son unos 12 años terrestres y Neptuno, el más alejado, apenas ha completado una vuelta desde su descubrimiento en 1846.

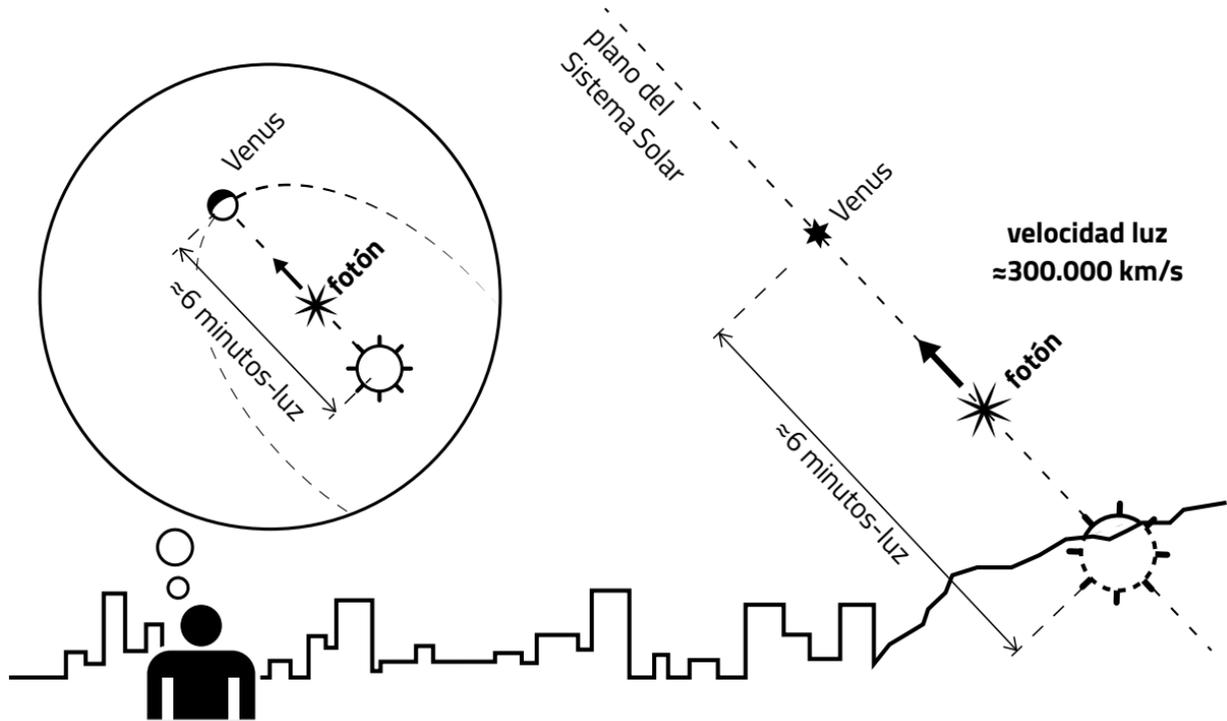


años terrestres	
Neptuno	≈165
Urano	≈84
Saturno	≈30
Júpiter	≈12
Marte	≈2
Tierra	1
Venus	≈0'6
Mercurio	≈0'25

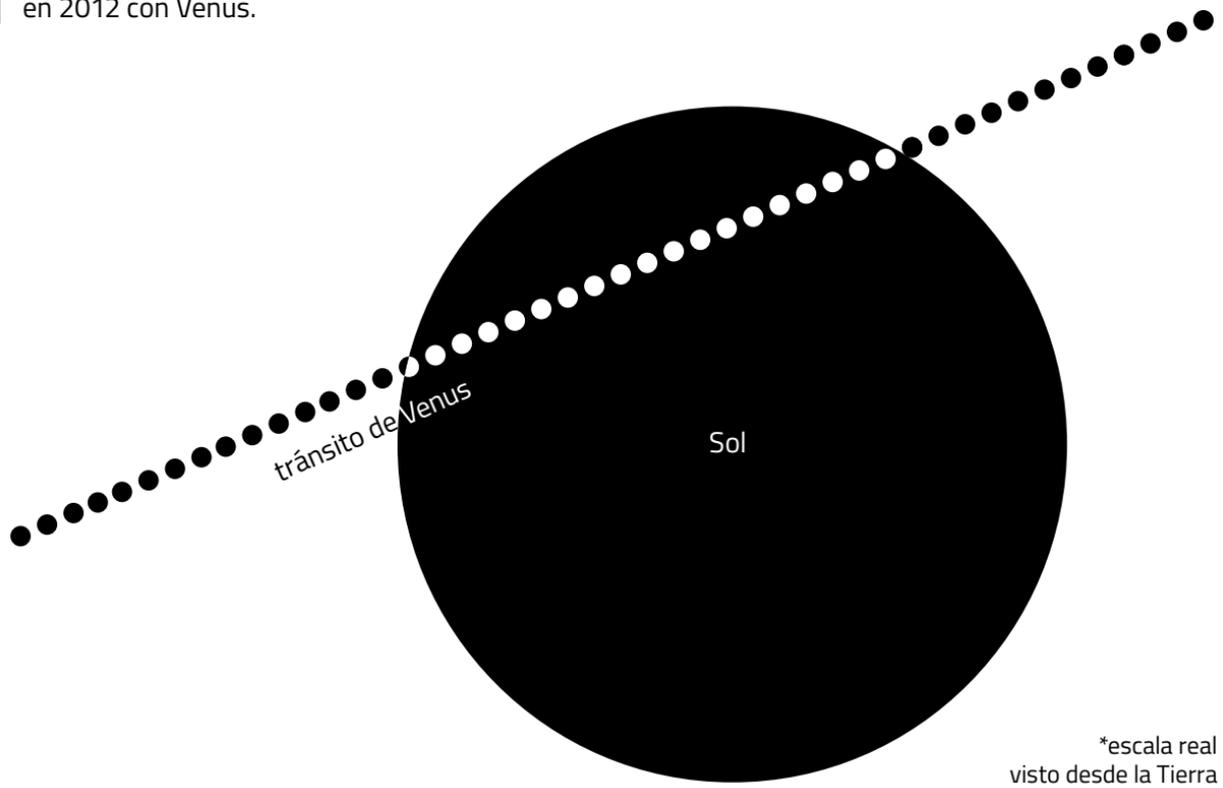
Los planetas no emiten luz y desde la Tierra presentan fases similares a la Luna. Con ayuda de un telescopio vemos a los planetas interiores casi siempre en fase creciente o decreciente. Si lo vemos antes del amanecer, está en fase creciente. Si lo vemos al anochecer, está en fase decreciente.



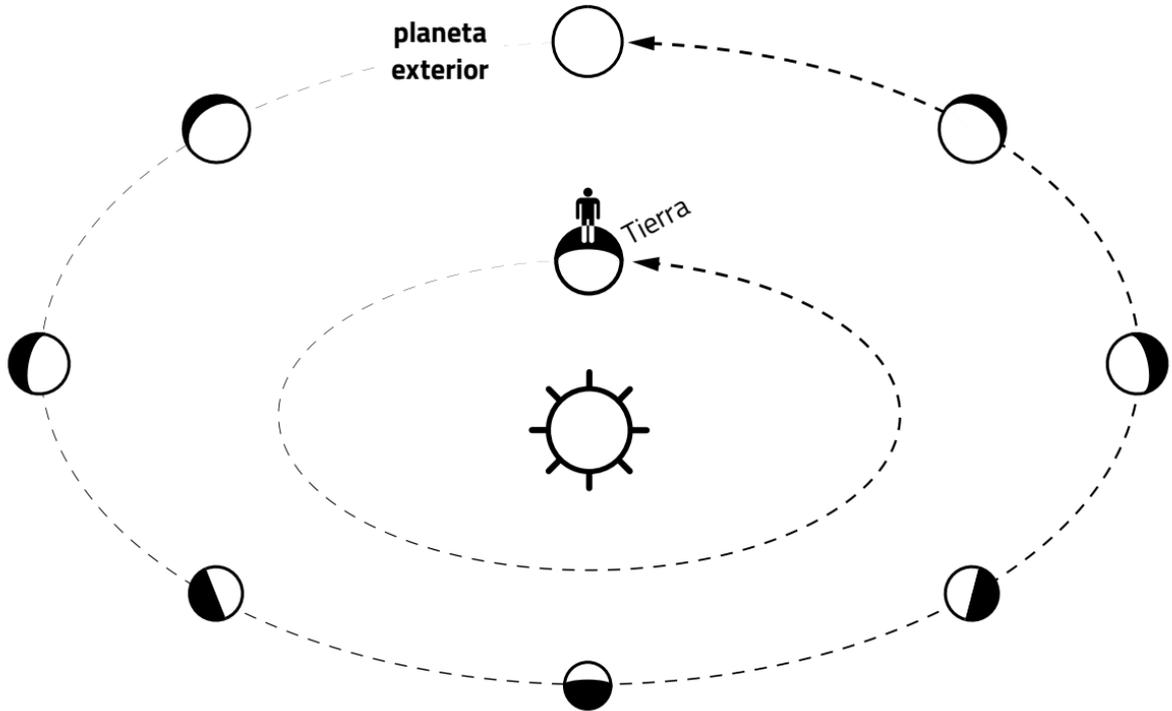
Cuando Venus está alto sobre el horizonte podemos imaginar un único fotón recorriendo la distancia que le separa del Sol. A la velocidad de la luz, dicho fotón, tarda 6 largos minutos en llegar a Venus.



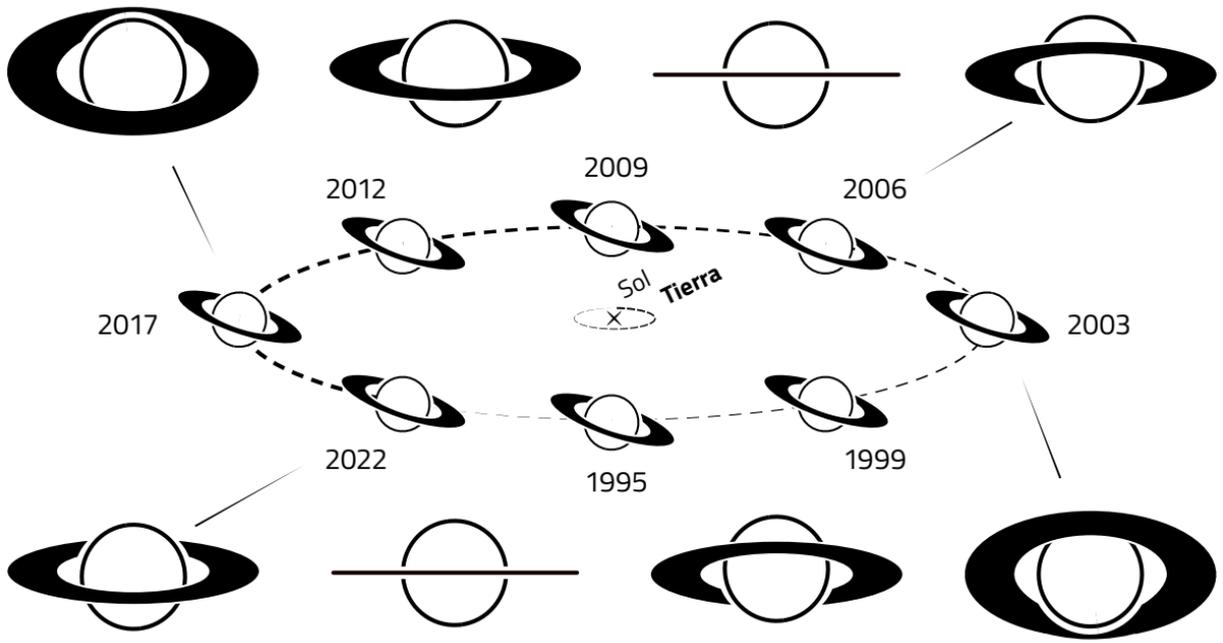
Durante su fase nueva los planetas interiores pueden pasar justo por delante del Sol. Este fenómeno, conocido como "tránsito", se observó en 2012 con Venus.



Sin embargo, los planetas exteriores los vemos casi siempre en fase llena.



Saturno es uno de los objetos celestes más espectaculares de ver con un telescopio. Sus finos anillos en el plano de su ecuador nos muestran cada año una perspectiva diferente a medida que Saturno discurre por su órbita.

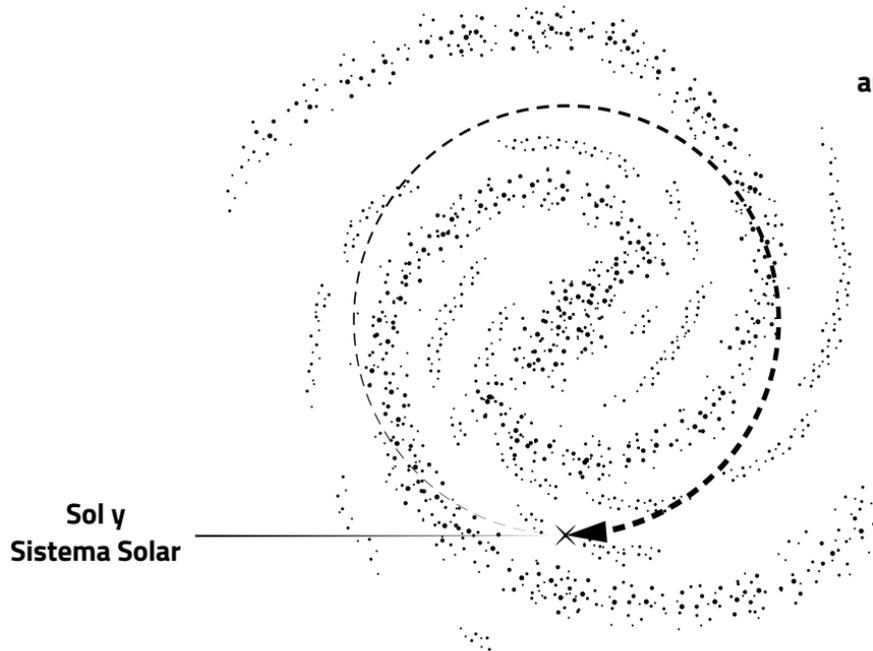


Capítulo 12

Año galáctico



Todas las estrellas orbitan alrededor del centro galáctico. Junto con el Sol, y todo el Sistema Solar, completamos una vuelta cada unos 240 millones de años. El centro de nuestra galaxia se aprecia a simple vista mirando hacia Sagitario. Hace un año galáctico todos los continentes eran uno (Pangea) y los primeros dinosaurios habitaban la Tierra.



año galáctico (1 vuelta)
≈240 mill. años

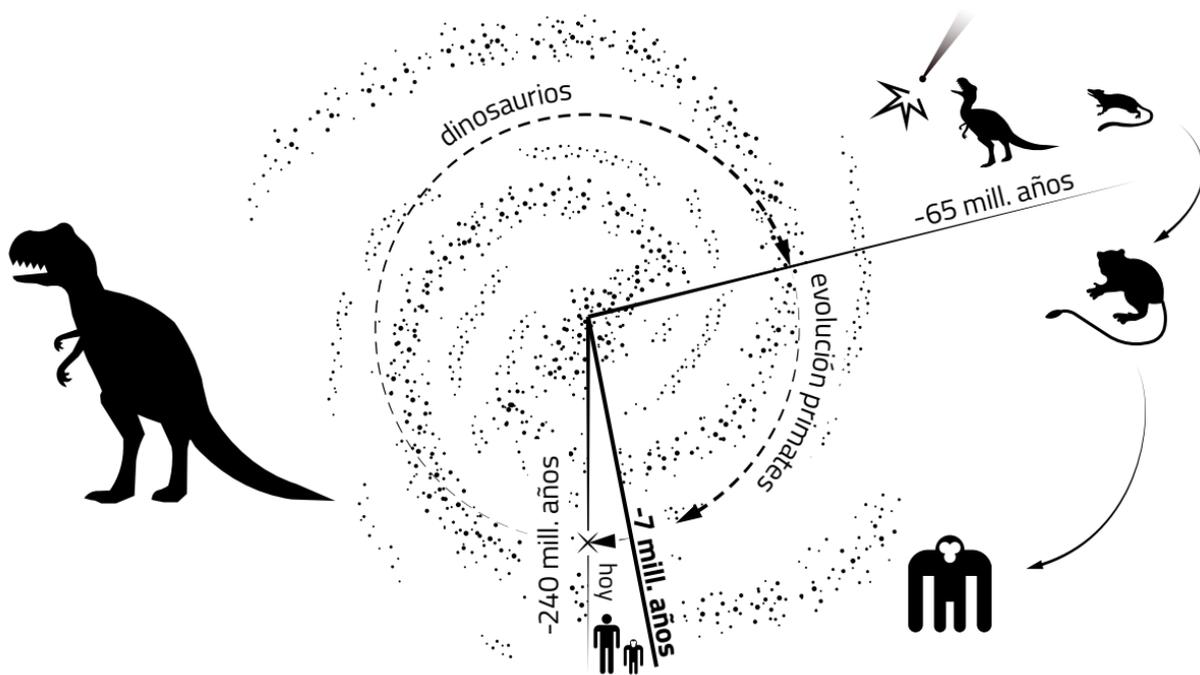
hace 1 año galáctico:

A box containing a timeline of events. At the top is a globe labeled 'Pangea'. Below it are icons of a dinosaur, a cracked egg, and two whole eggs, labeled 'primeros dinosaurios'. Lines connect the globe and the dinosaur to the text 'hace 1 año galáctico:'.

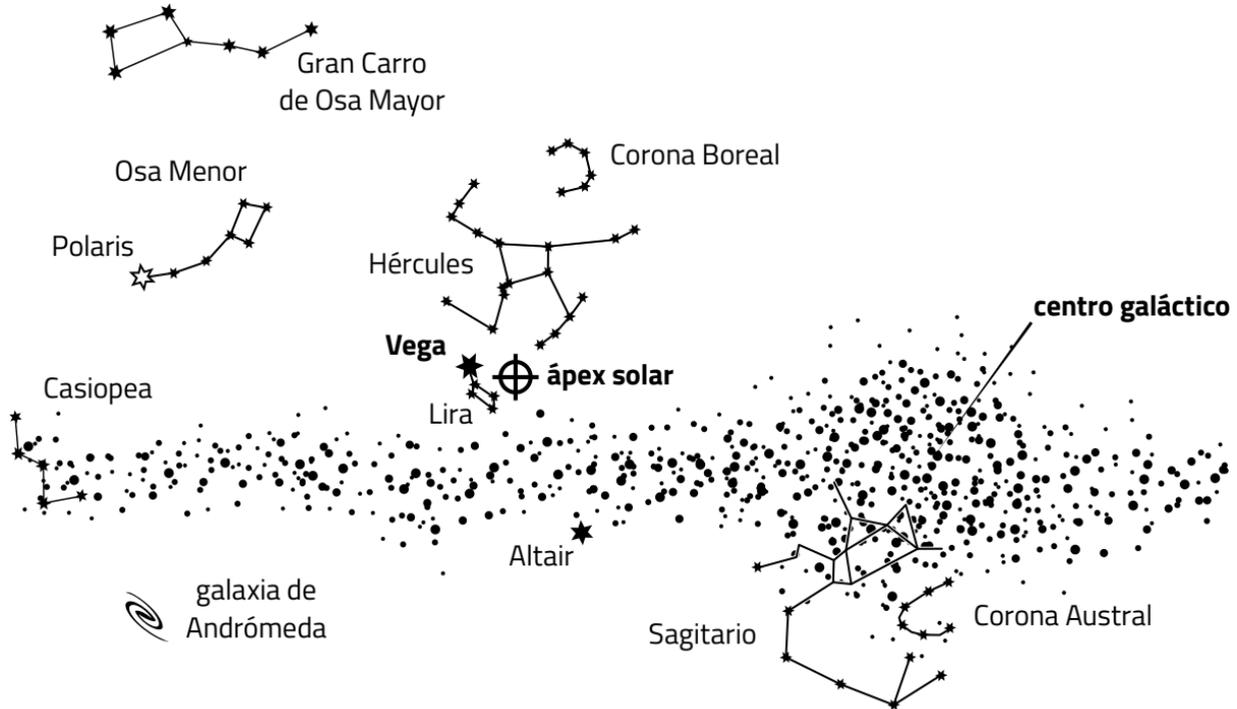
Pangea

primeros dinosaurios

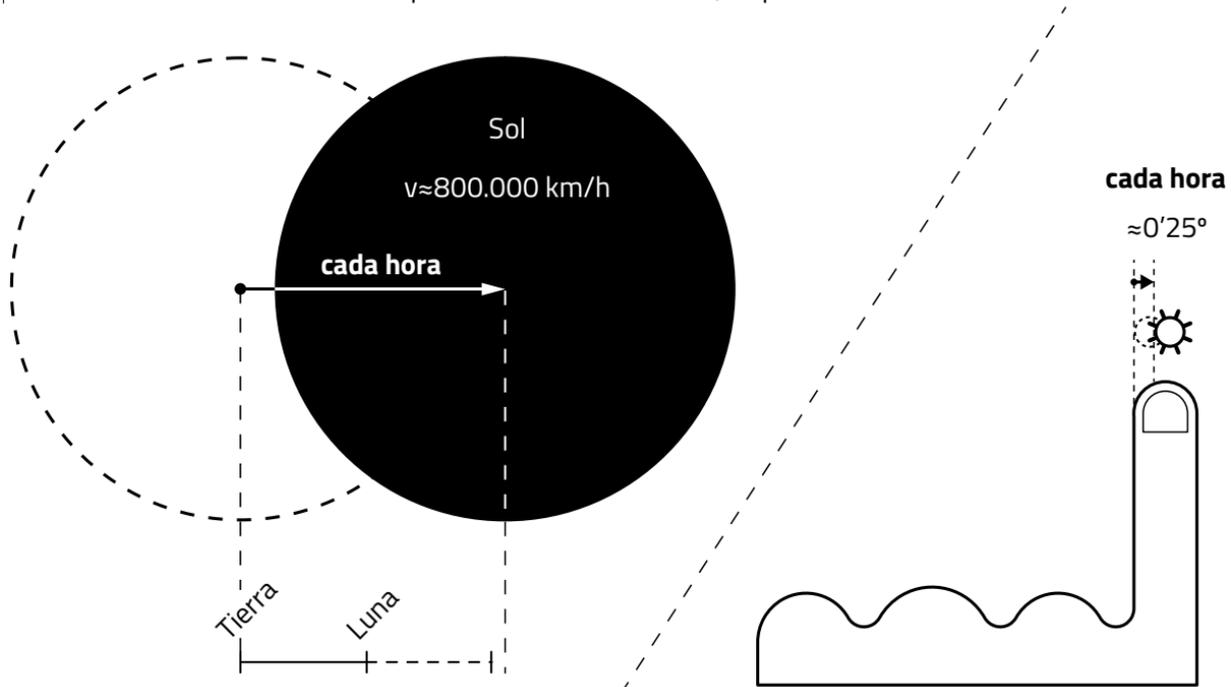
Los dinosaurios se extinguieron hace unos 65 millones de años a causa de la caída de un meteorito de $\varnothing \approx 10$ km en la península de Yucatán (México). Pequeños mamíferos sobrevivieron y evolucionaron a primates. Hace sólo unos 7 millones de años que algunos de estos primates descendieron de los árboles para no volver a subir...



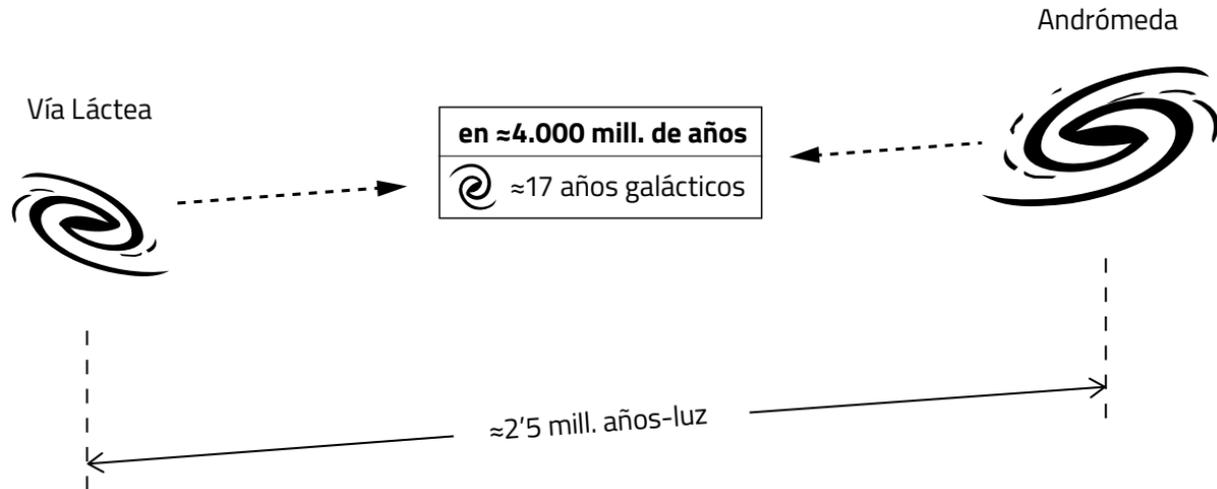
Mirando hacia Vega, la 10ª estrella más brillante del firmamento, estamos mirando hacia donde nos dirigimos junto con el Sol y todo el Sistema Solar a través de la galaxia. A ese punto se le llama ápex solar.



El Sistema Solar se desplaza a casi 800.000 km/h, lo que significa que cada hora nos desplazamos poco más de un radio solar. Más de dos veces la distancia de la Tierra a la Luna. ¡Cada semana recorreremos a través de la galaxia el equivalente a la distancia de la Tierra al Sol! Cada año casi el diámetro de la órbita del último planeta del Sistema Solar, Neptuno.

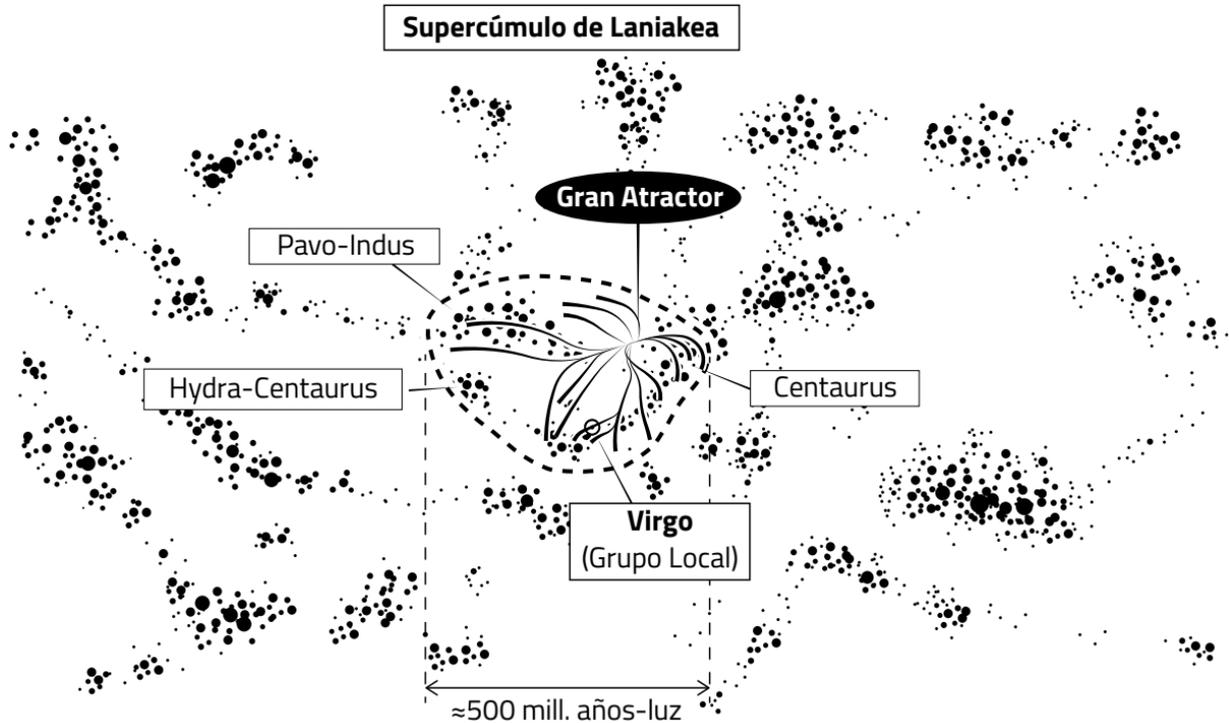


Nuestra galaxia y la galaxia de Andrómeda se están acercando y se estima que se encontrarán, mezclando sus estrellas, en unos 4.000 millones de años (17 años galácticos). La distancia entre las estrellas es tan inmensa que las galaxias no chocan, sino que se entrelazan.



*sin escala

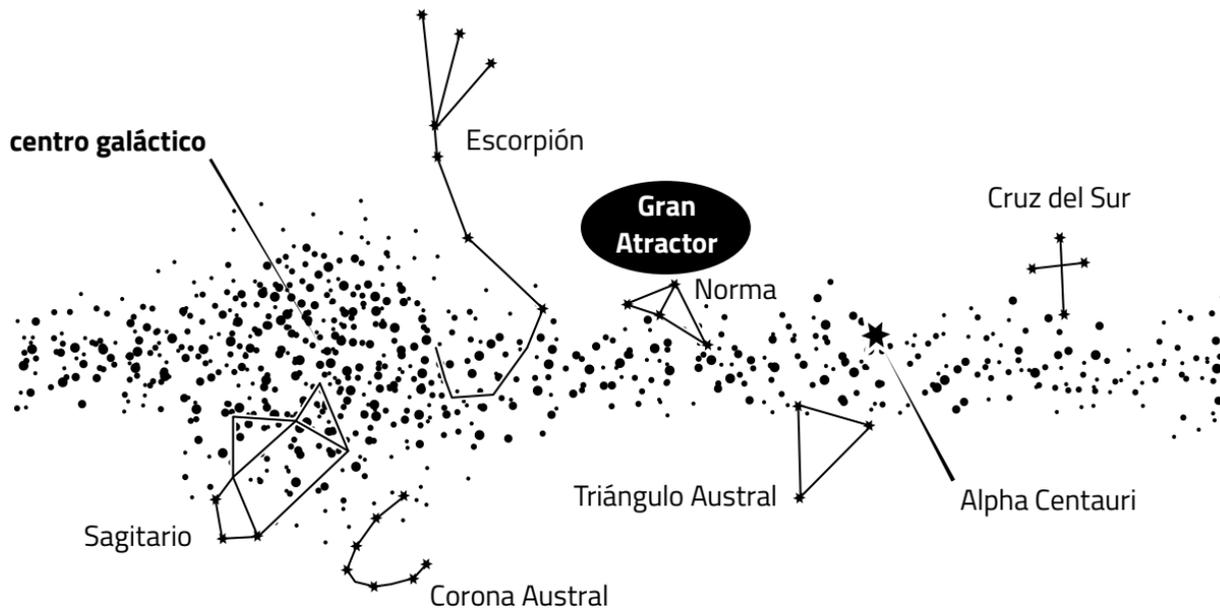
El Grupo Local y todos los grupos de galaxias del Supercúmulo de Laniakea se desplazan hacia una zona del Supercúmulo conocida como el Gran Atractor. Las líneas del dibujo indican hacia dónde se desplazan.



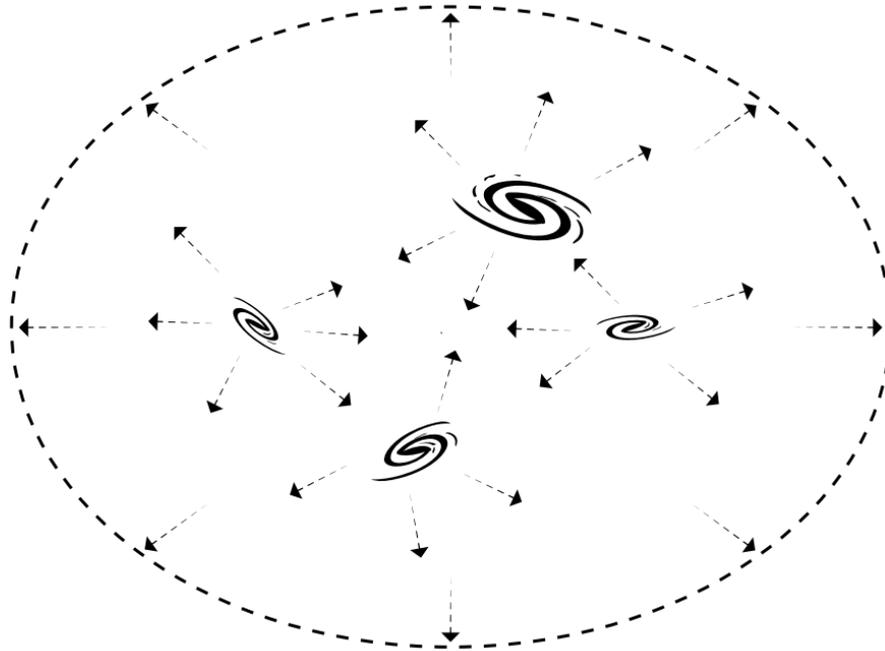
El Gran Atractor es una región a unos 200 millones de años-luz de distancia mirando en la dirección de la constelación de Norma.

Año galáctico

179



El espacio del universo entero se expande de forma acelerada. Todas las galaxias y grupos de galaxias se alejan unos de otros como las pasas de un pastel que crece en el horno o los puntos sobre la superficie de un globo hinchándose; aunque localmente algunas galaxias se acerquen, como la Vía Láctea y Andrómeda.

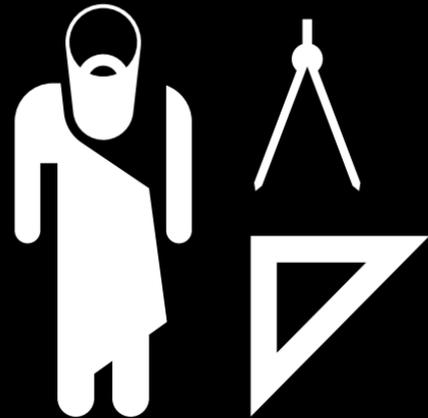


Parte III

CÓMO MEDIMOS EL ESPACIO

Capítulo 13

Grecia clásica



¿Cómo sabemos lo que sabemos de astronomía?

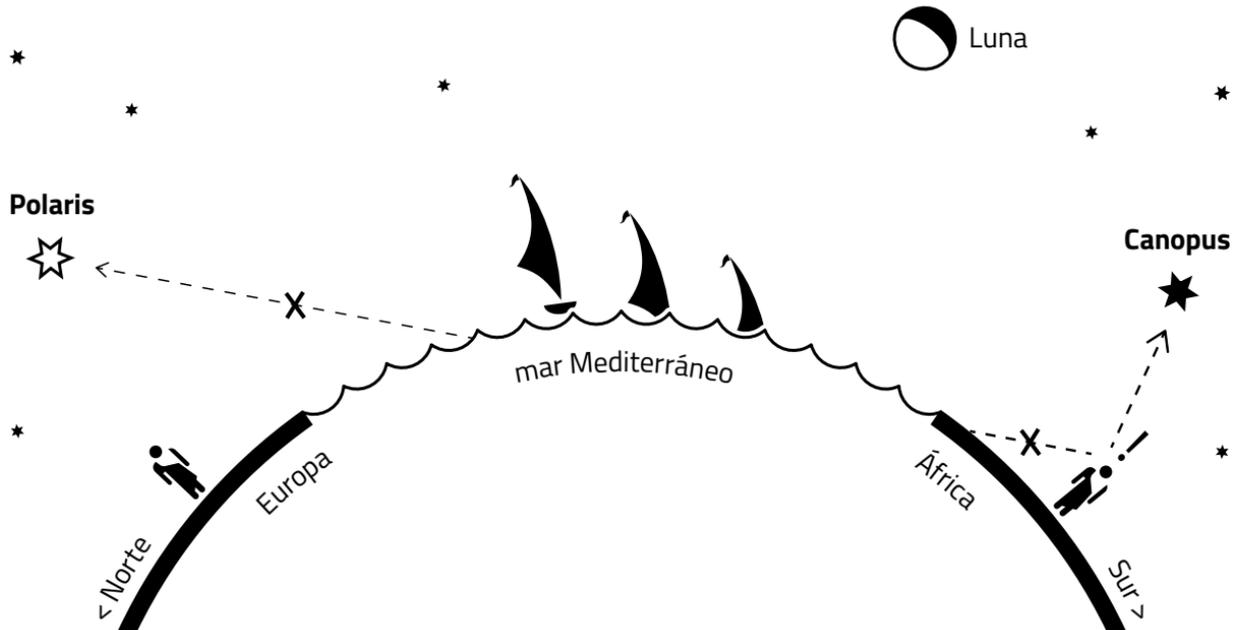
Grecia clásica

183

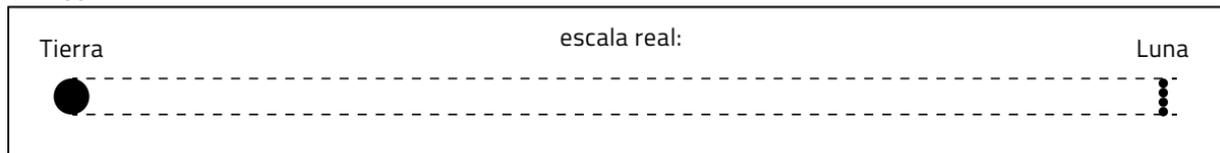
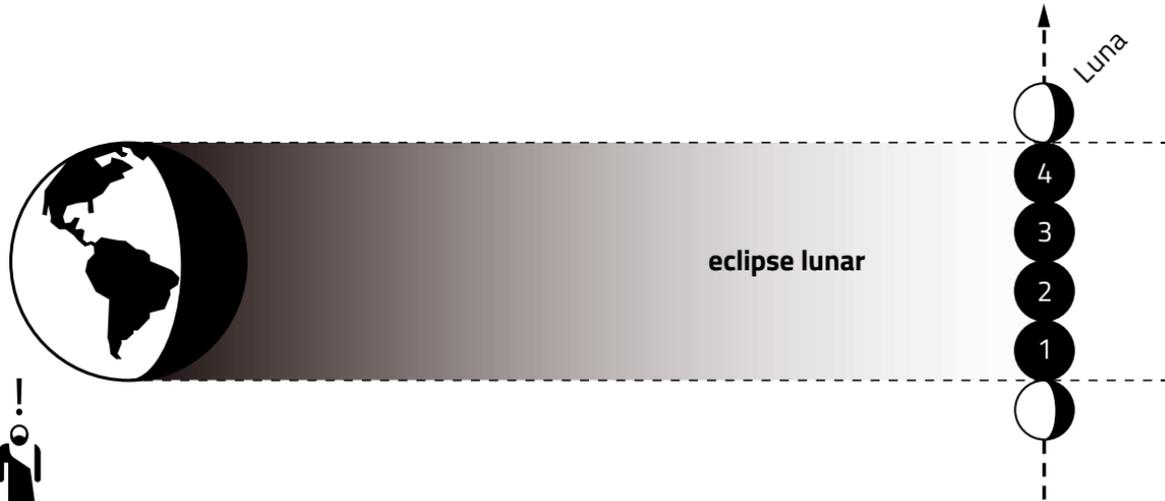
Gracias al desarrollo náutico en el Mediterráneo y al uso de las estrellas para orientarse, en el siglo III a.C. los griegos observaron que cuando bajaban muy al Sur en África dejaban de ver la importante Polaris.

Sin embargo, aparecían muchas estrellas nuevas como Canopus.

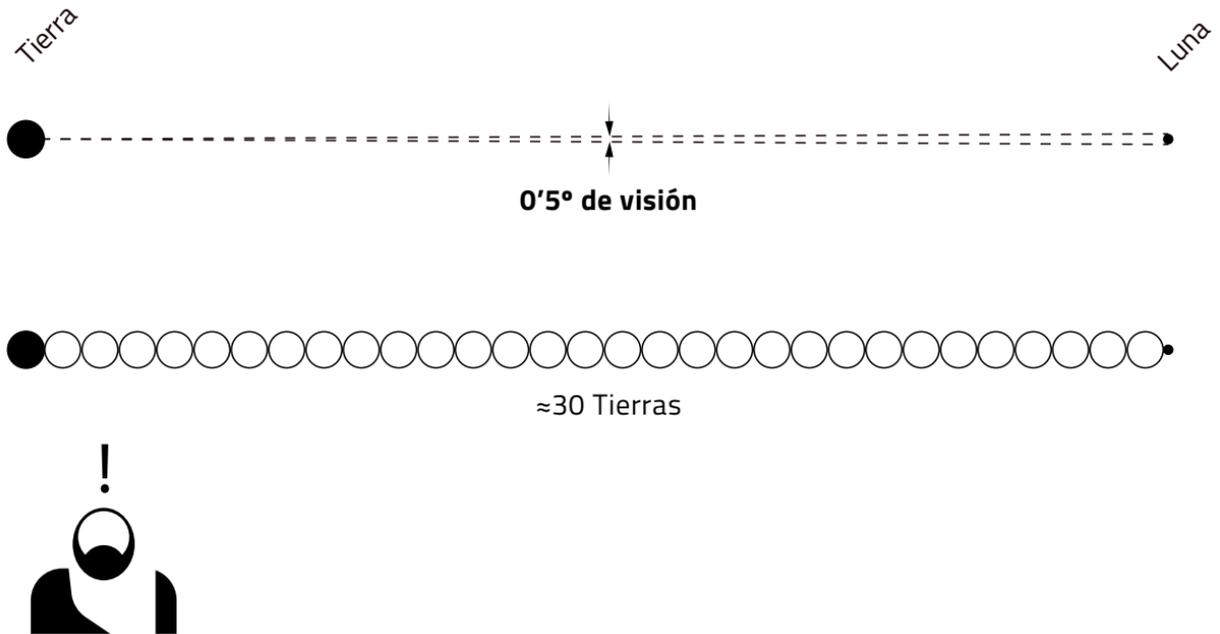
Una explicación posible era que la Tierra no fuese plana...



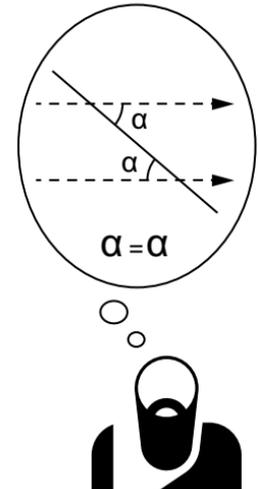
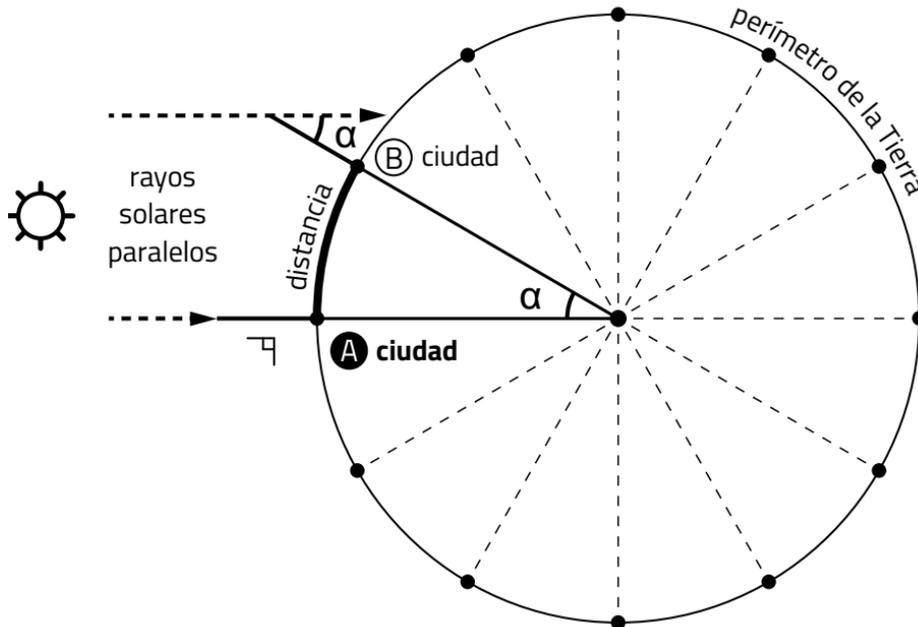
¿La Luna es más grande o más pequeña que la Tierra? Los antiguos astrónomos griegos intuyeron que los eclipses lunares los debía producir la sombra de nuestro mundo. Aristarco observó que la Luna al atravesar la sombra terrestre recorre una distancia de 4 veces su propio diámetro, por lo que la Luna debía ser unas 4 veces menor que la Tierra. Acertó.



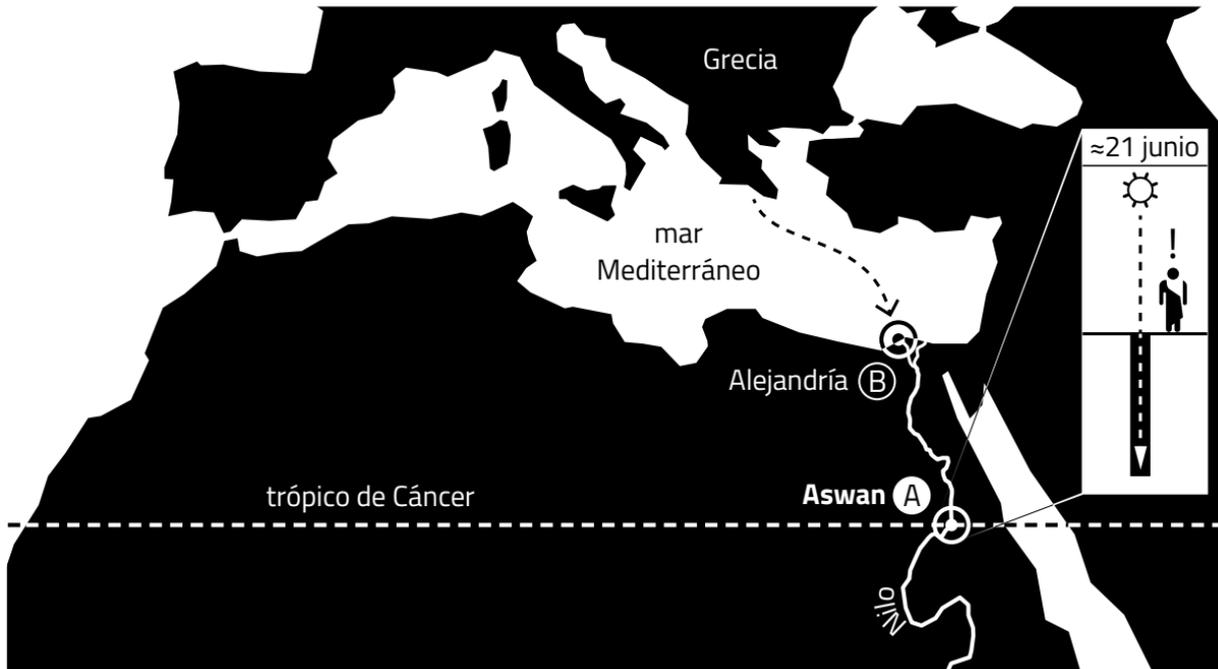
¿Cuánto dista la Luna de la Tierra? Aristarco dibujó un modelo con los datos que tenía: la Luna ocupa $0'5^{\circ}$ de visión y es 4 veces más pequeña. Así dedujo que la Luna debía de encontrarse a unas "30 Tierras" de distancia de nosotros. Y volvió a acertar.



¿Cuál es el tamaño de la Tierra? El astrónomo griego Eratóstenes, también en el siglo III a.C., encontró la respuesta: si el Sol es tan lejano que sus rayos nos llegan en paralelo, necesitamos encontrar una ciudad "A" donde incidan perpendicularmente. Bastará entonces medir el ángulo en otra ciudad "B" y la distancia que las separa para dibujar un círculo completo y obtener el perímetro terrestre.

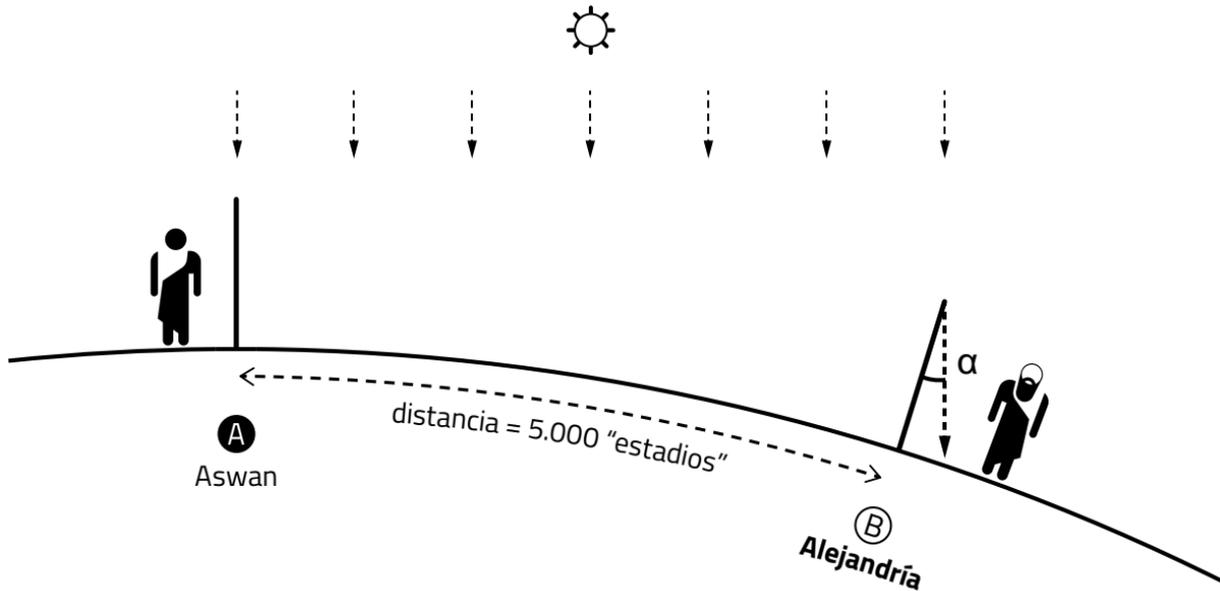


El lugar que Eratóstenes necesitaba fue Aswan, al sur de Alejandría: situada sobre el Trópico de Cáncer, cada ≈ 21 de Junio, durante el solsticio de verano, justo al mediodía, los rayos solares caen perfectamente verticales. Durante unos minutos los obeliscos de la ciudad no proyectan sombra alguna y la luz solar ilumina el agua del fondo de los pozos.

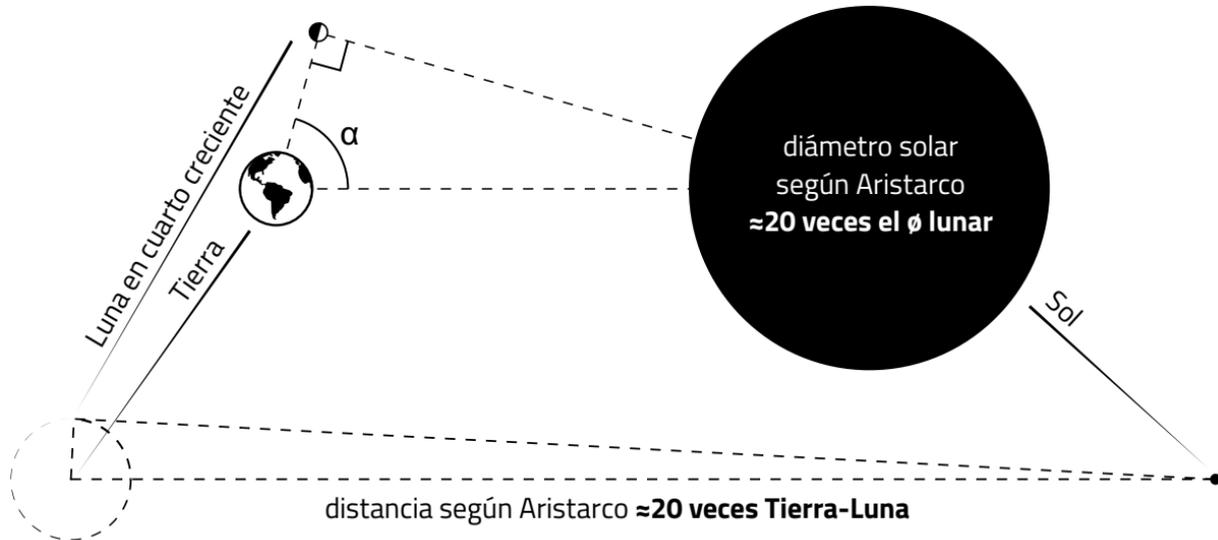


Eratóstenes midió en Alejandría el ángulo de la sombra durante el solsticio de verano y la distancia entre Alejandría y Aswan. Sumando el arco obtenido hasta completar un círculo de 360° dedujo un valor del perímetro de la Tierra muy aproximado a la realidad.

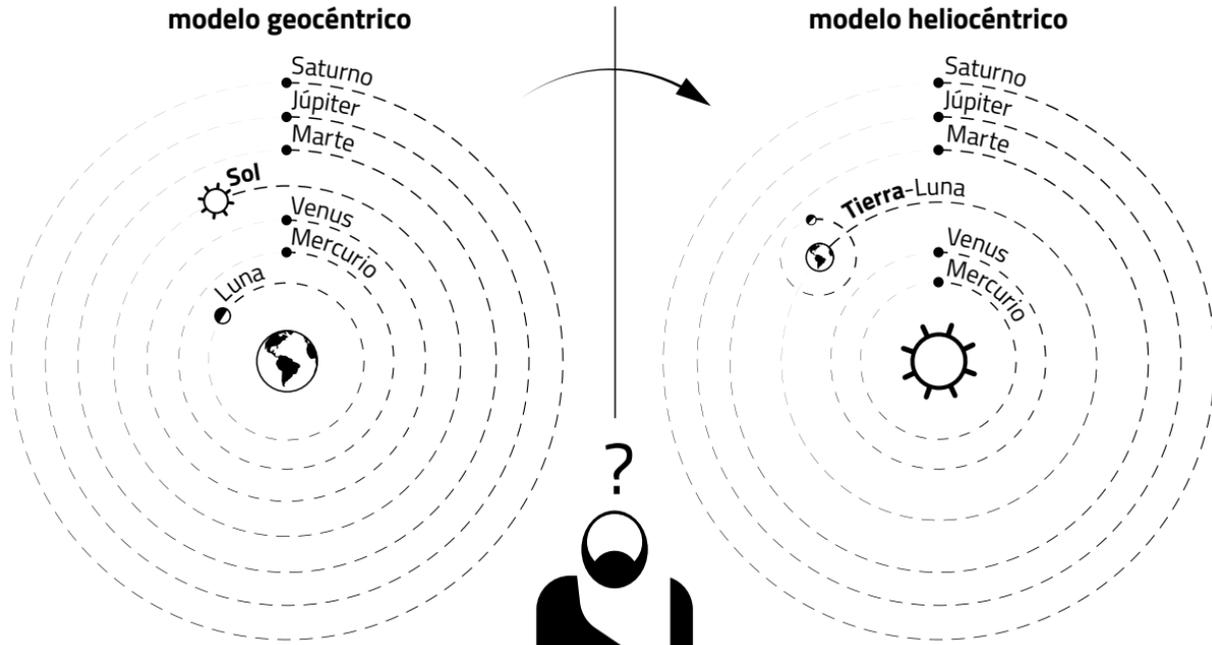
≈21 junio - **solsticio de verano** - mediodía



¿Y el Sol? Aristarco sabía por los eclipses solares que el Sol en el cielo tiene el mismo tamaño que la Luna. Pero está detrás, de modo que ha de ser proporcionalmente más lejano y grande que la Luna... ¿Pero cuánto? Aristarco calculó que el Sol debía ser 20 veces más lejano y 20 veces más grande. Lo hizo midiendo el ángulo cuando la Luna está en cuarto creciente, pero al no tener el instrumental necesario para realizar una medición precisa se equivocó mucho... En realidad, como sabemos, es 400 veces más lejano y 400 veces más grande.



A pesar de este error en el resultado, resultó evidente que el Sol debía ser mucho mayor que nuestro mundo. Por eso a Aristarco le pareció lógico pensar que quizás nosotros lo orbitamos, y no al revés. Sin embargo, el modelo geocéntrico, con la Tierra en el centro del universo, permaneció durante muchos siglos más. Hasta el Renacimiento.



Capítulo 14

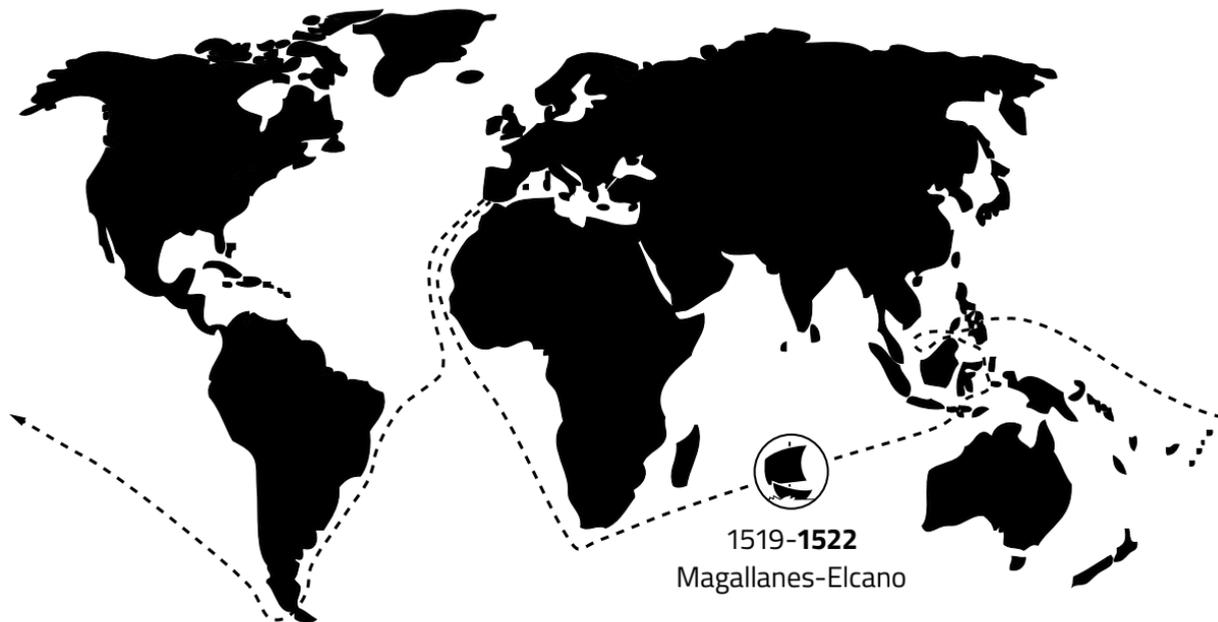
Del Renacimiento a hoy



En 1522 se demostró definitivamente que nuestro mundo es redondo, y no plano: la expedición de Magallanes-Elcano completó la primera circunnavegación a la Tierra.

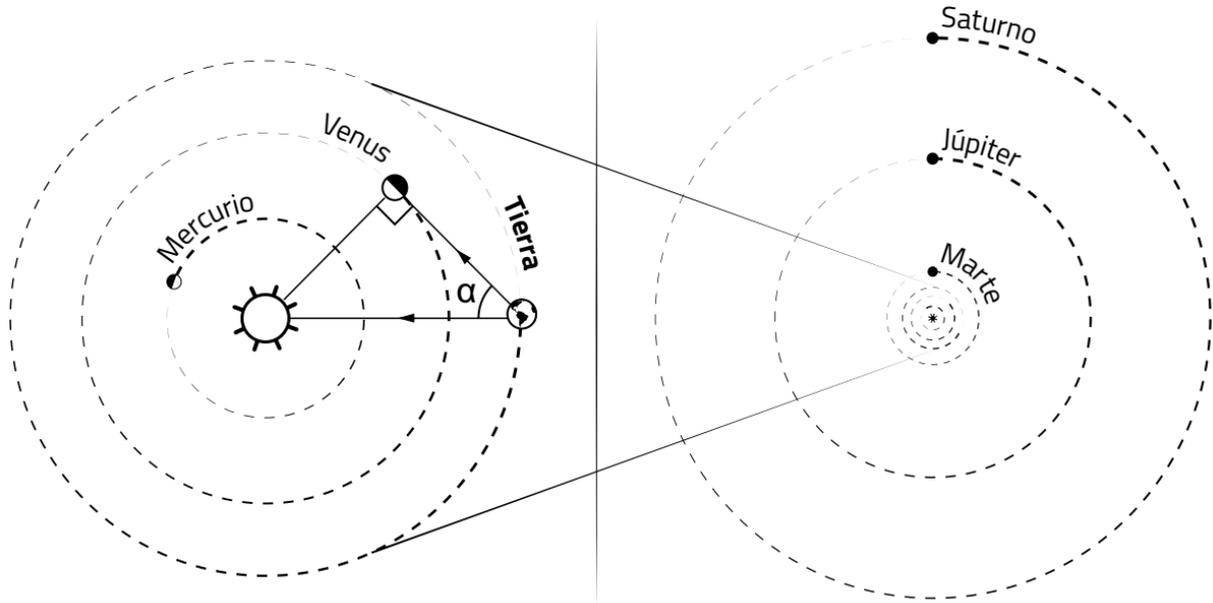
Del Renacimiento a hoy

192

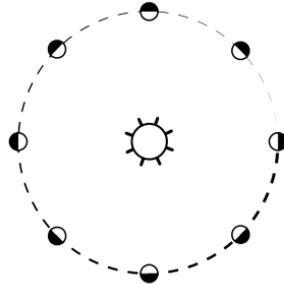
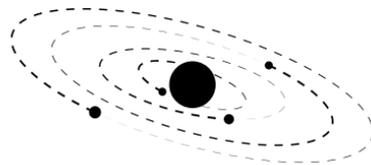


En 1543 Copérnico rescata el modelo heliocéntrico del Sistema Solar de Aristarco. Supone las órbitas circulares, coloca al Sol en el centro y dibuja la posición relativa de los planetas observándolos durante la noche y midiendo sus ángulos respecto al Sol. Su modelo, aunque sin medidas absolutas, tiene unas proporciones muy aproximadas a la realidad.

Sistema Solar de **Copérnico**

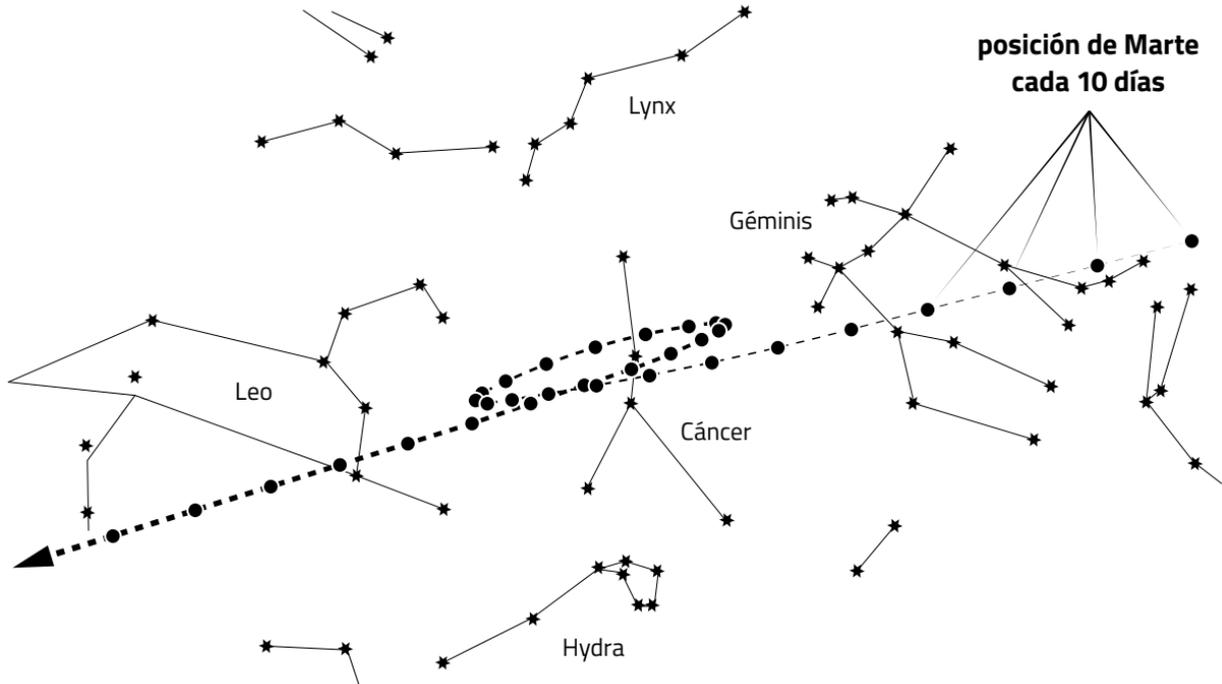


A partir de 1609 Galileo comienza a utilizar el telescopio para llevar a cabo detalladas observaciones astronómicas, con importantes evidencias a favor de la teoría heliocéntrica. Fue el primero en utilizar un telescopio para mirar al cielo.

 Observaciones de Galileo		
la Luna tiene montañas y cráteres	Venus tiene fases y orbita al Sol	Júpiter tiene lunas que lo orbitan
 (dibujo de Galileo)		

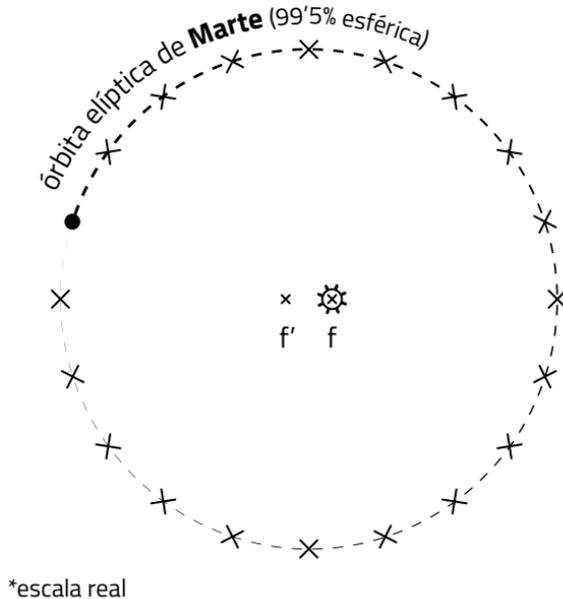
A partir de 1576 Tycho Brahe empieza a realizar las observaciones más precisas hasta la fecha de los movimientos planetarios. Aquí vemos el curioso movimiento retrógrado de Marte en el firmamento visto desde la Tierra, que ocurre cuando “adelantamos a Marte por el interior”.

Del Renacimiento a hoy
195



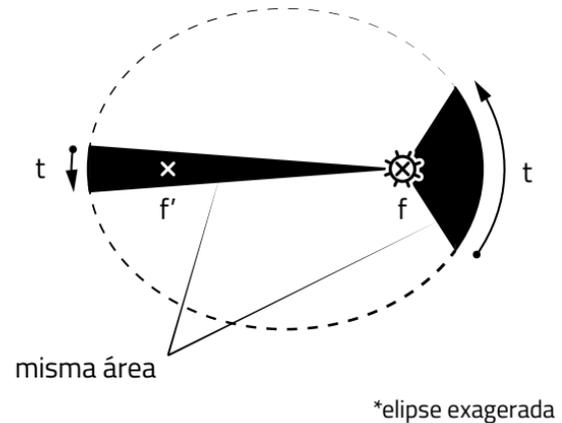
Gracias a los datos de Tycho Brahe, Kepler descubre en 1609 que las órbitas de los planetas tienen una forma ligeramente elíptica, con el Sol en uno de los focos de la elipse. Por entonces, era conocido que los planetas durante su órbita aumentan de velocidad en las proximidades del Sol, y disminuye al alejarse. Kepler resuelve matemáticamente en qué proporción lo hacen.

Kepler

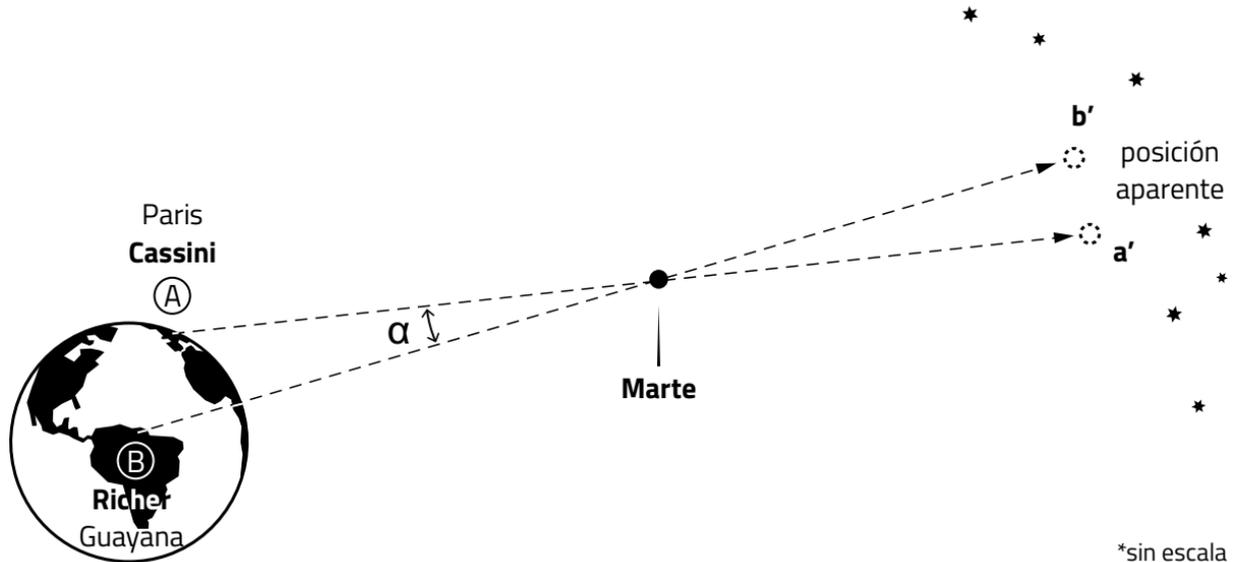


"Los planetas describen áreas iguales en tiempos iguales"

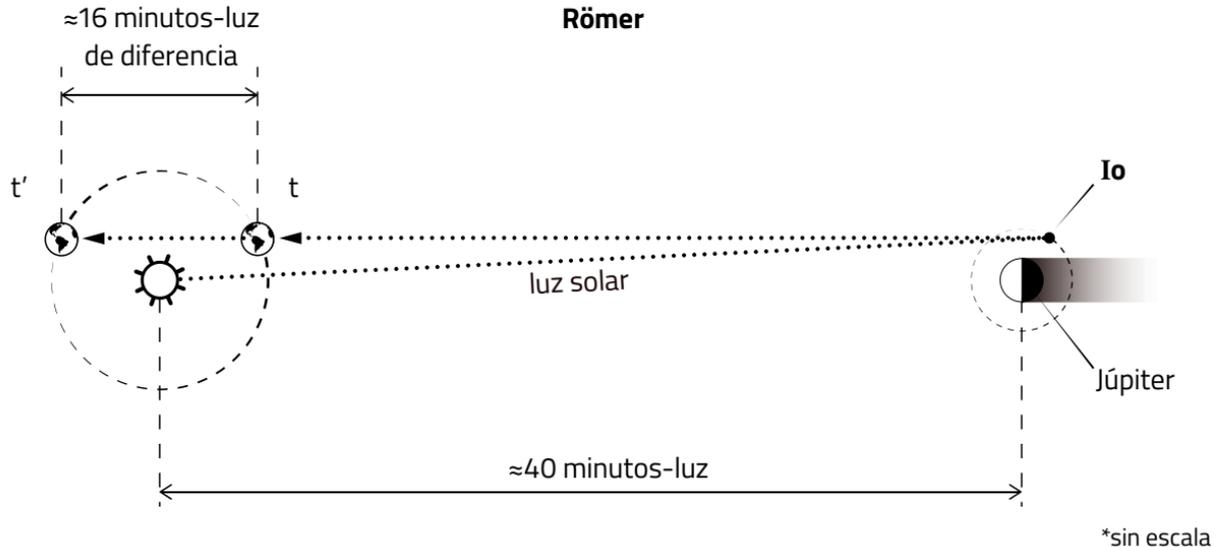
(Por eso se desplazan más velozmente cerca del Sol)



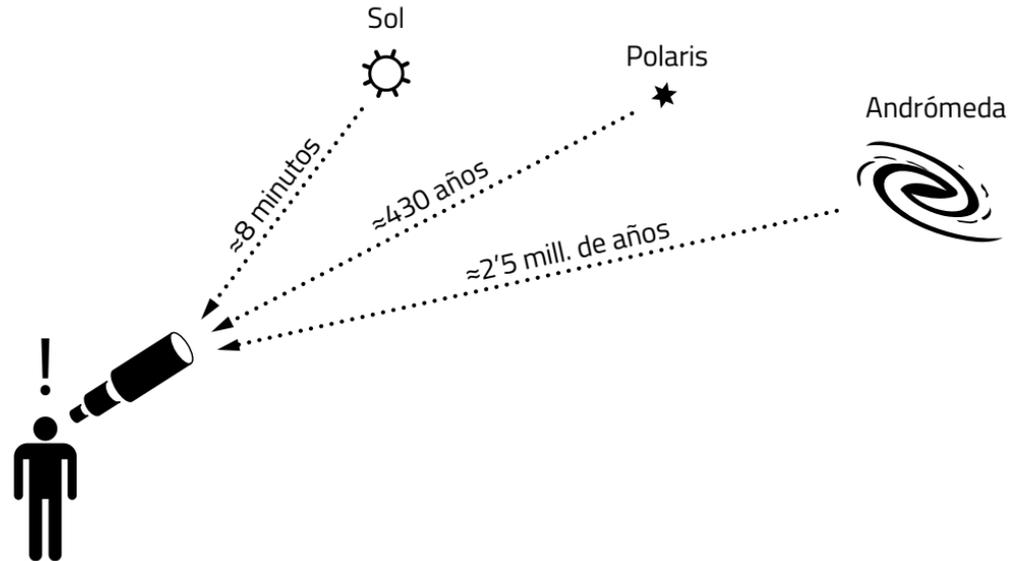
En 1672 Cassini y Richer consiguen medir, por primera vez, la distancia a un planeta: Marte. Lo hacen de forma muy similar a la forma que tiene el cerebro humano de calcular la distancia a un objeto con los ojos, por "paralaje": desde dos puntos cuya distancia se conoce, se observa la diferente posición del objeto respecto el fondo. Puedes probar el efecto con tu pulgar extendido, guiñando los ojos alternativamente. Gracias a este dato se obtiene por primera vez la escala del Sistema Solar: se calcula cuánto dista la Tierra del Sol y del resto de planetas.



En 1676, Römer descubrió que la luz no se transmite de forma instantánea, sino que se "mueve" a cierta velocidad. Estudiando Io, una de las lunas de Júpiter, observó que la luz "necesita" más tiempo para recorrer más distancia. Cuanto más lejos se encontraba la Tierra de Júpiter, con más retraso llegaba la imagen de Io.



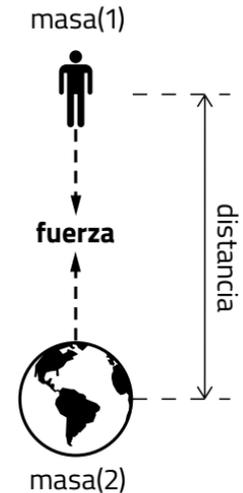
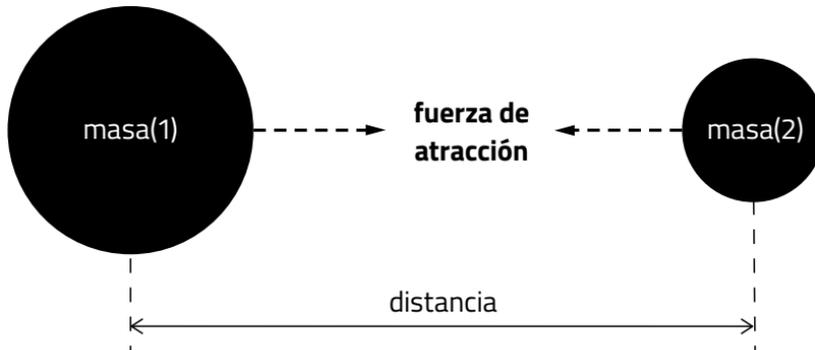
El descubrimiento de Römer es de vital importancia: significa que cuando miramos al cielo vemos los objetos celestes como eran cuando la luz parti6 de ellos. Por ejemplo, el Sol hace 8 minutos y el resto de estrellas hace cientos o miles de a6os. Con ayuda de un telescopio vemos mucho m6s lejos en la distancia y simult6neamente en el pasado. Cualquier imagen de la galaxia de Andr6meda que veamos hoy, nos muestra c6mo era hace unos 2'5 millones de a6os.



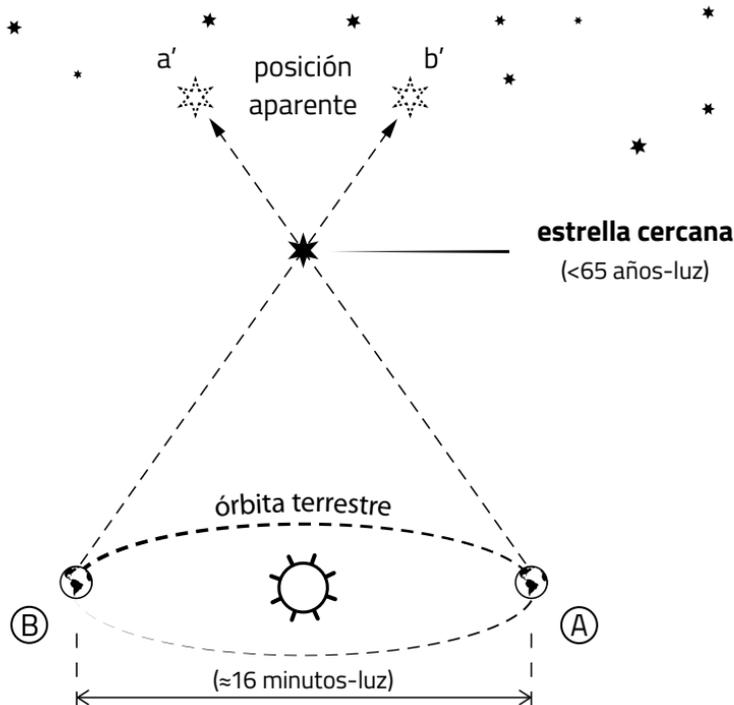
Basándose en el trabajo de Kepler, Newton desarrolla la "ley de la gravitación universal" publicada en 1687: "todos los cuerpos experimentan una fuerza de atracción mutua según su masa y su distancia". El valor de "G", constante de gravitación universal, es una incógnita hasta 1798, cuando se halla experimentalmente.

ley de la gravitación universal de Newton

$$\text{fuerza de atracción} = G \times \frac{\text{masa}(1) \times \text{masa}(2)}{\text{distancia}^2}$$



¿Cómo se mide la distancia a una estrella? A partir de 1838 se emplea el método del paralaje para calcular la distancia a las más cercanas, aprovechando la amplitud de la órbita terrestre. Este método sólo sirve para estrellas muy próximas que disten menos de 65 años-luz.



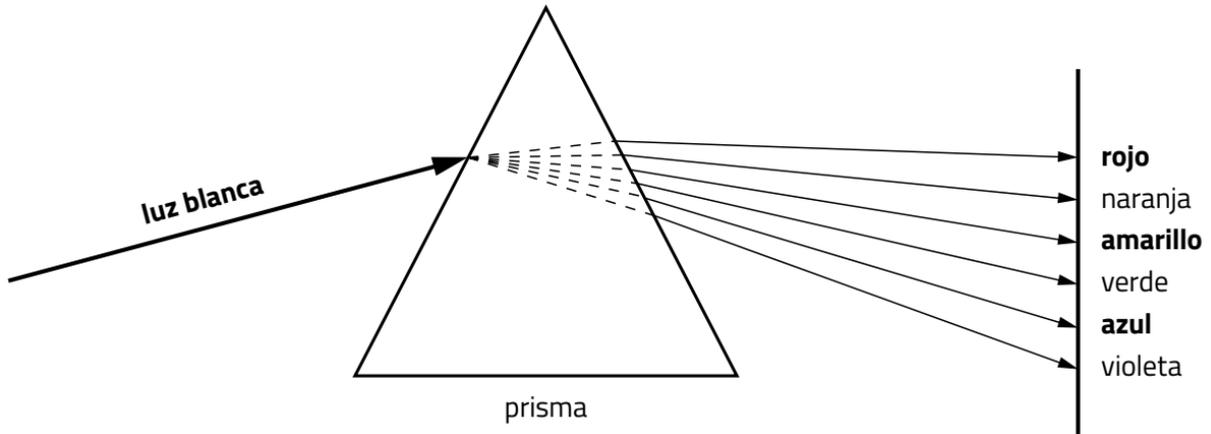
*sin escala

¿Cómo calcular la distancia a estrellas más distantes de 65 años-luz?

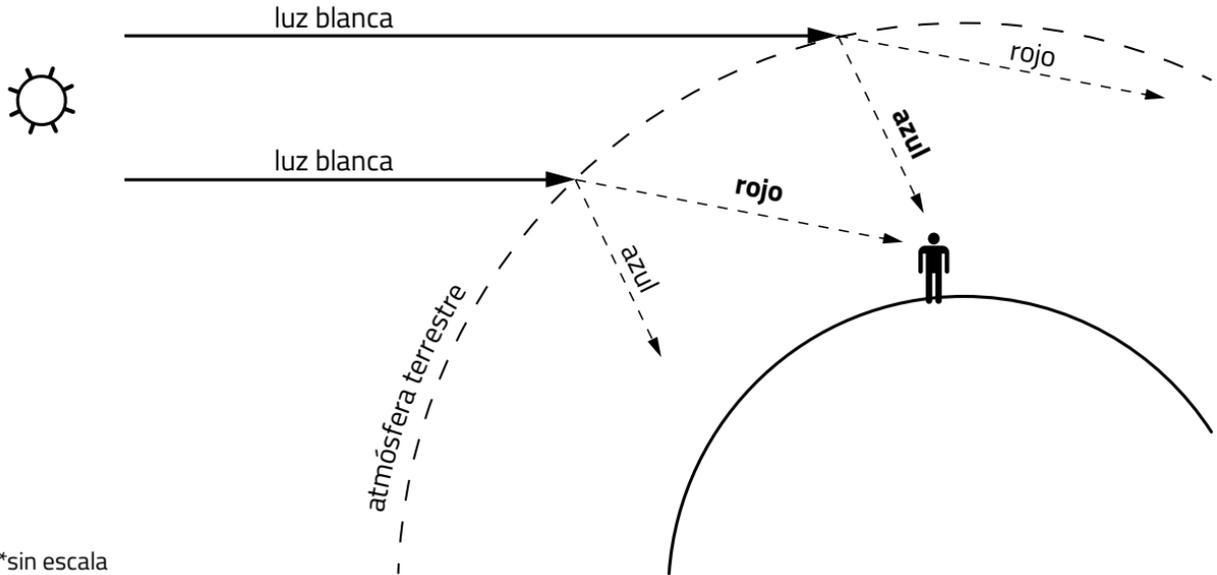
La solución, como veremos, está en la luz de las estrellas. Newton fue el primero en descubrir que la luz se descompone en diferentes "espectros" o "colores". Es el motivo del color de los objetos, que absorben ciertos "colores" y reflejan el resto.

Del Renacimiento a hoy

202

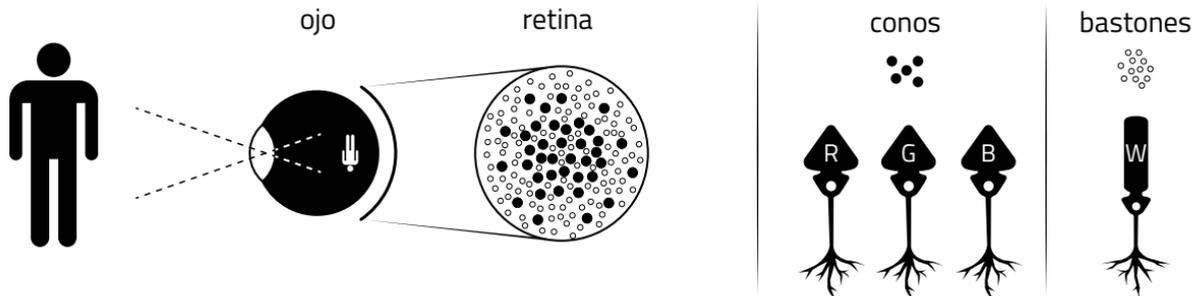


El hecho de que la luz blanca sea en realidad la suma de varios "colores" es responsable también del azul del cielo y del rojo del atardecer. La atmósfera terrestre hace de prisma, refractando y descomponiendo la luz solar que la atraviesa.

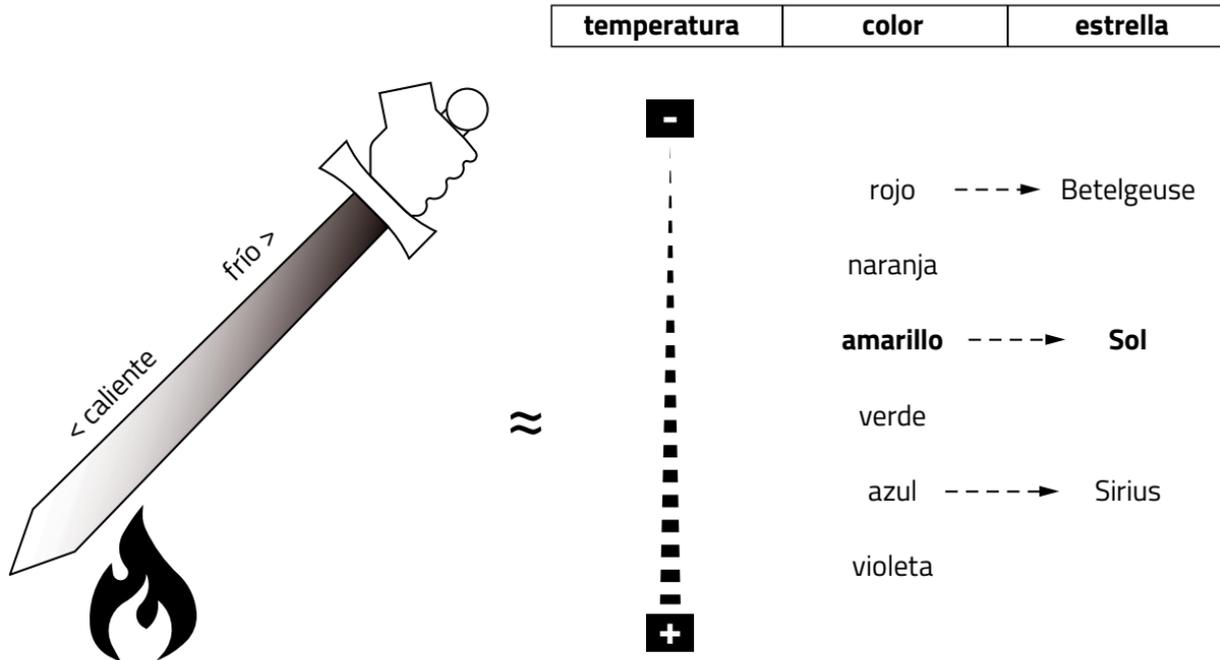


*sin escala

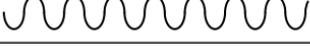
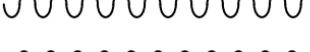
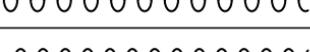
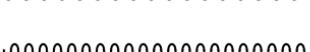
Las células del ojo humano son capaces de detectar sólo 3 colores: rojo, verde y azul. En la retina tenemos los conos y los bastones. Los conos los usamos cuando hay mucha luz, de día. Existen de 3 tipos según detecten rojo, verde o azul. Los bastones los usamos cuando hay poca luz. Son muy sensibles a la luz verde-azulada, que nos transmiten al cerebro como blanca y nos permite ver de noche. Eso sí, en blanco y negro. Al fin y al cabo, los colores son simplemente una representación de los diferentes espectros de la luz en el cerebro de quien observa.



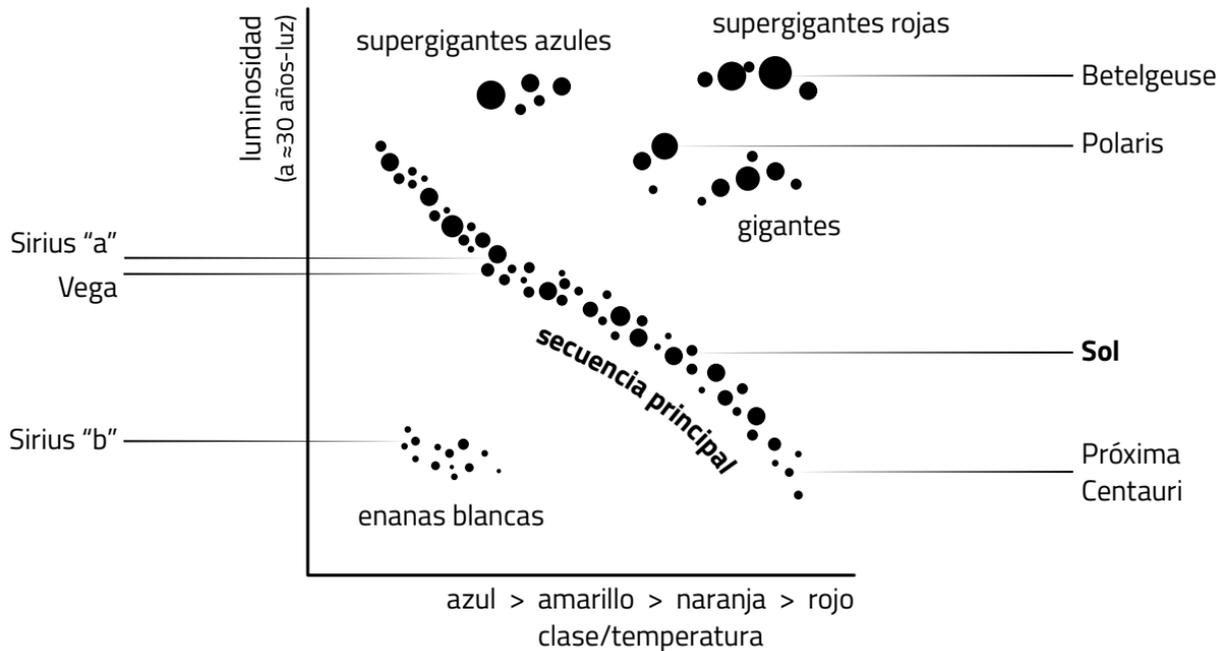
Cada estrella tiene un color característico: algunas son azuladas como Sirius, algunas amarillentas como el Sol, otras rojizas como Betelgeuse... Similar a la forja del metal, las estrellas azuladas tienen una temperatura muy elevada, mientras que las de color rojizo son menos calientes.



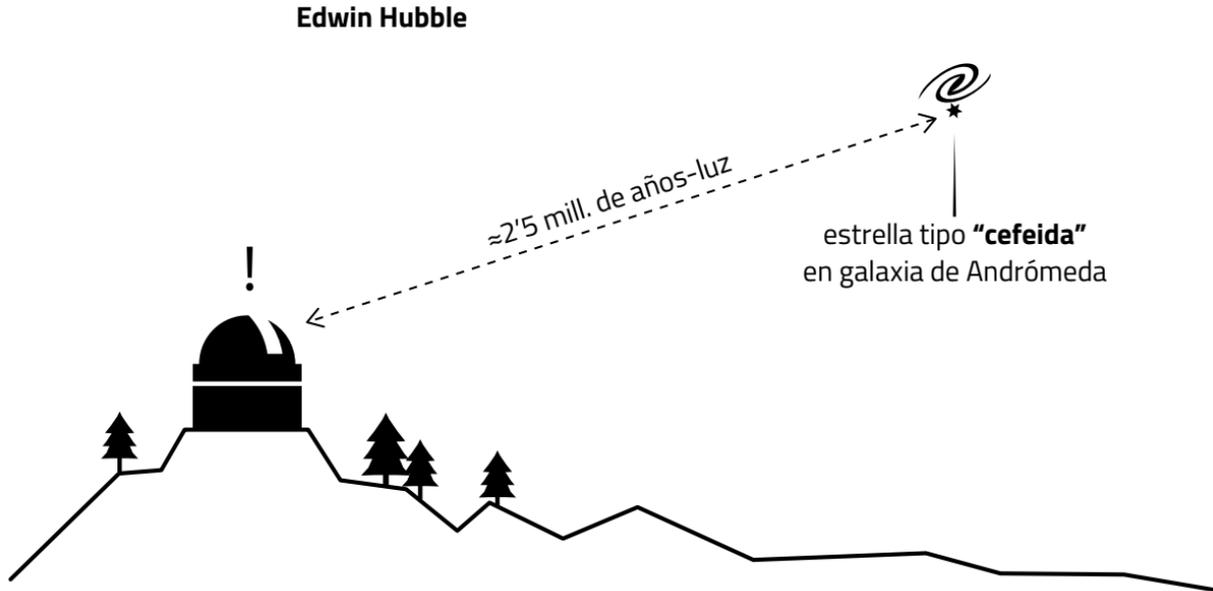
La luz visible para el ojo humano es sólo una parte muy pequeña del espectro electromagnético completo. En 1814 se empezó a utilizar el espectrómetro para analizar la luz en detalle.

tipo de onda	longitud de onda	tamaño aproximado	energía	
...				
radio onda larga		>1 km		
radio		>1 m		
microondas		>1 mm		
infrarrojo		célula humana		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">  luz visible </div>	rojo			
	verde			bacteria
	azul			
ultravioleta		molécula		
rayos x		átomo		
rayos gamma		núcleo atómico		
...				

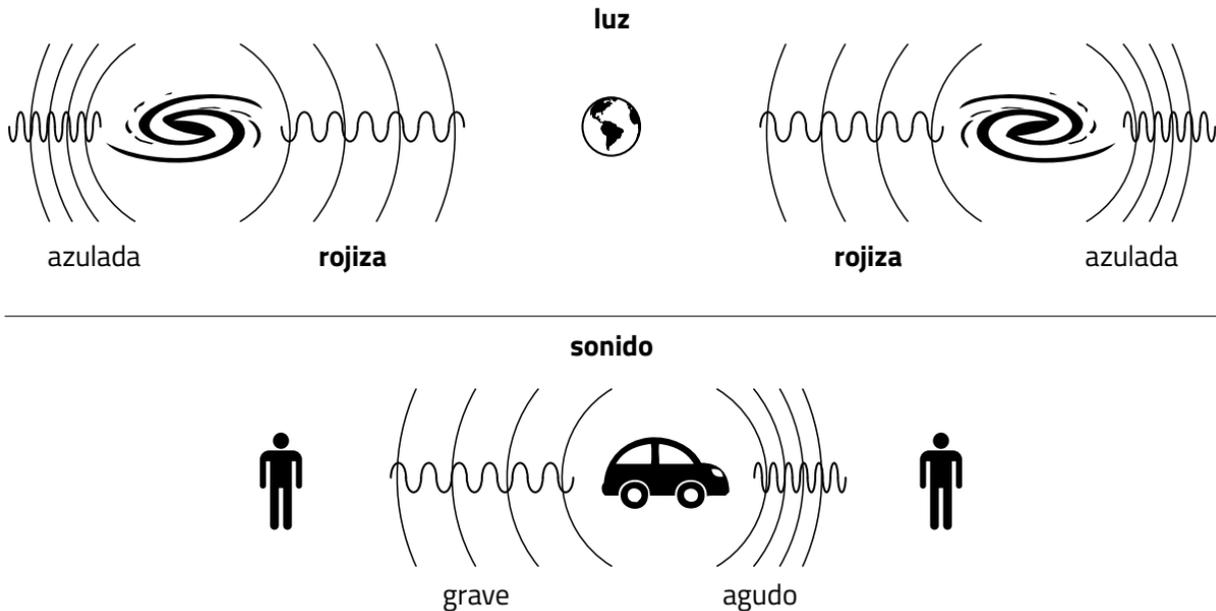
Clasificando las miles de estrellas más cercanas a la Tierra según su luz (espectrómetro) y distancia (paralaje) se crea en 1913 el "diagrama H-R". Con él se puede calcular la distancia a cualquier estrella lejana: se analiza su luz y se compara su brillo con el de otras estrellas de su misma clase cuya distancia conocemos: cuanto menos brille, más lejos está.



En 1924, Edwin Hubble mide por primera vez la distancia a un objeto fuera de nuestra galaxia: la "nebulosa" de Andr6meda pasa a llamarse "galaxia" de Andr6meda y demuestra que el universo se extiende mucho m1s all1 de nuestra V1a L1ctea.

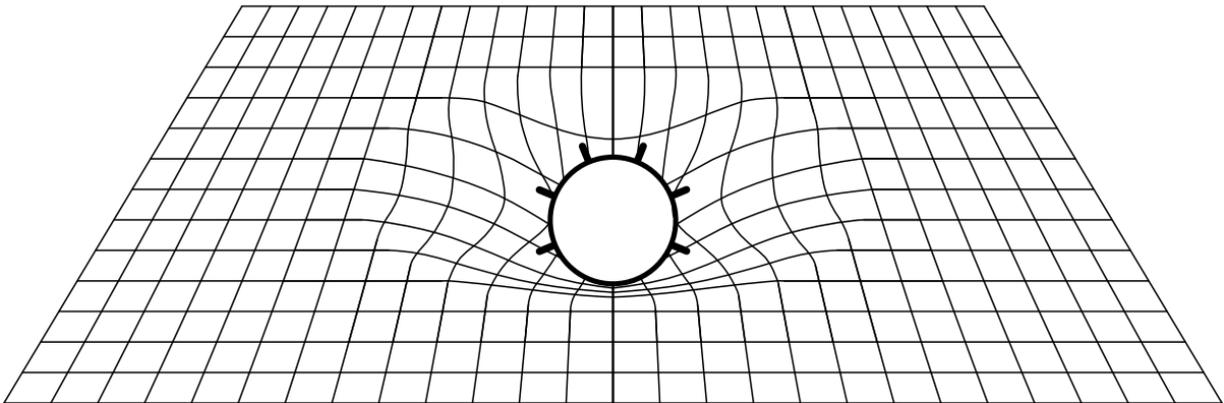


Después Edwin Hubble midió en la luz de numerosas galaxias el conocido "efecto Doppler", demostrando en 1929 que éstas se alejan unas de otras. De forma similar al pitido de un coche que se aleja escuchándose más grave, la luz de las galaxias que se alejan se vuelve rojiza. Es el resultado que se esperaba como consecuencia del desarrollo de las ecuaciones de la teoría de la relatividad de Einstein.



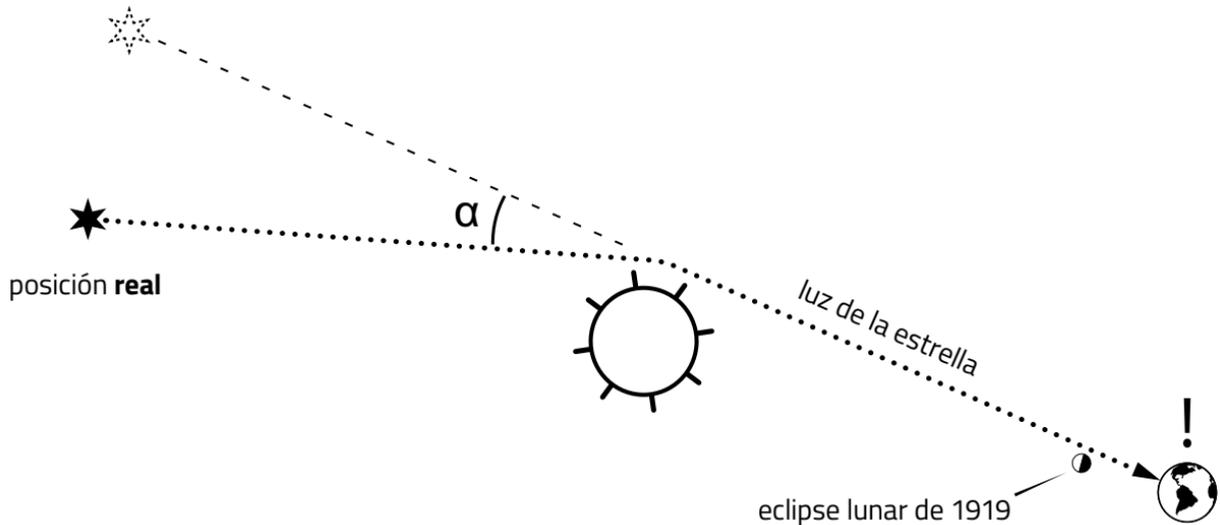
La teoría de la relatividad de Einstein, formulada de 1905 a 1916, cambió radicalmente la forma de entender el cosmos. La masa deforma el espacio y el tiempo: el "espacio-tiempo". Una aproximación puede imaginarse como una malla elástica. De esta forma, la gravedad es el resultado de la curvatura del "espacio-tiempo" provocado por la masa.

representación del "**espacio-tiempo**" como malla

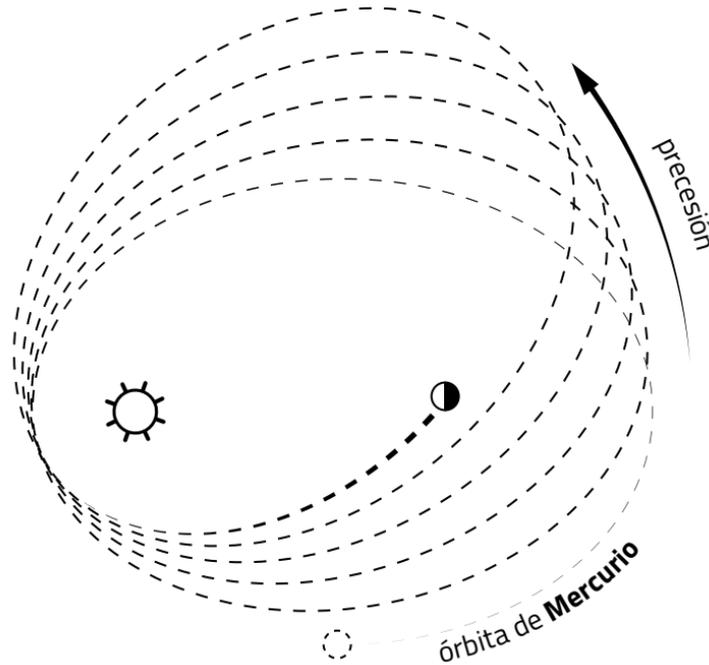


La teoría de la relatividad predice que un objeto tan masivo como el Sol debe ser capaz de desviar incluso la trayectoria de un rayo de luz. Einstein se hace mundialmente famoso en 1919: aprovechando un eclipse solar para poder ver con nitidez las estrellas visualmente cercanas al Sol, se demuestra que efectivamente su luz se desvía y que además su teoría predice correctamente el grado de desviación.

posición **aparente**

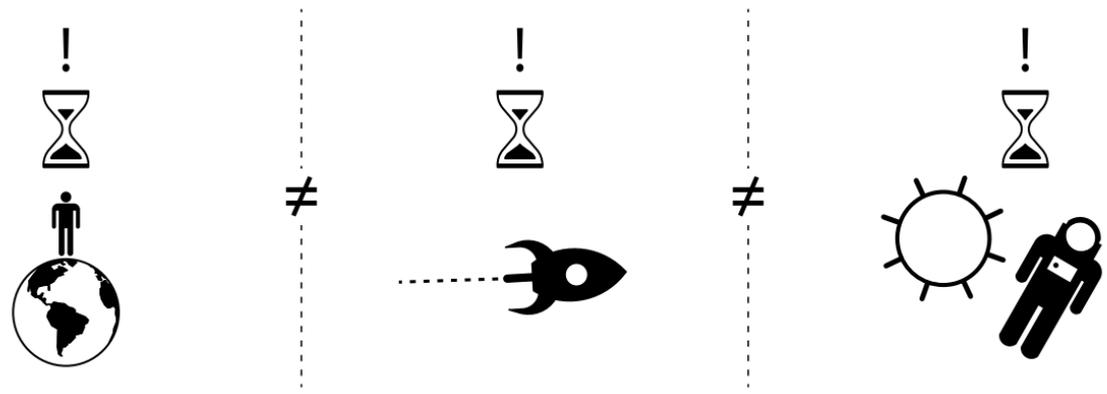


La ley de la gravitación universal de Newton falla calculando el movimiento de precesión de la órbita de Mercurio. Sin embargo, la teoría de Einstein proporciona un modelo preciso, al considerar la deformación del espacio-tiempo provocada por el Sol.

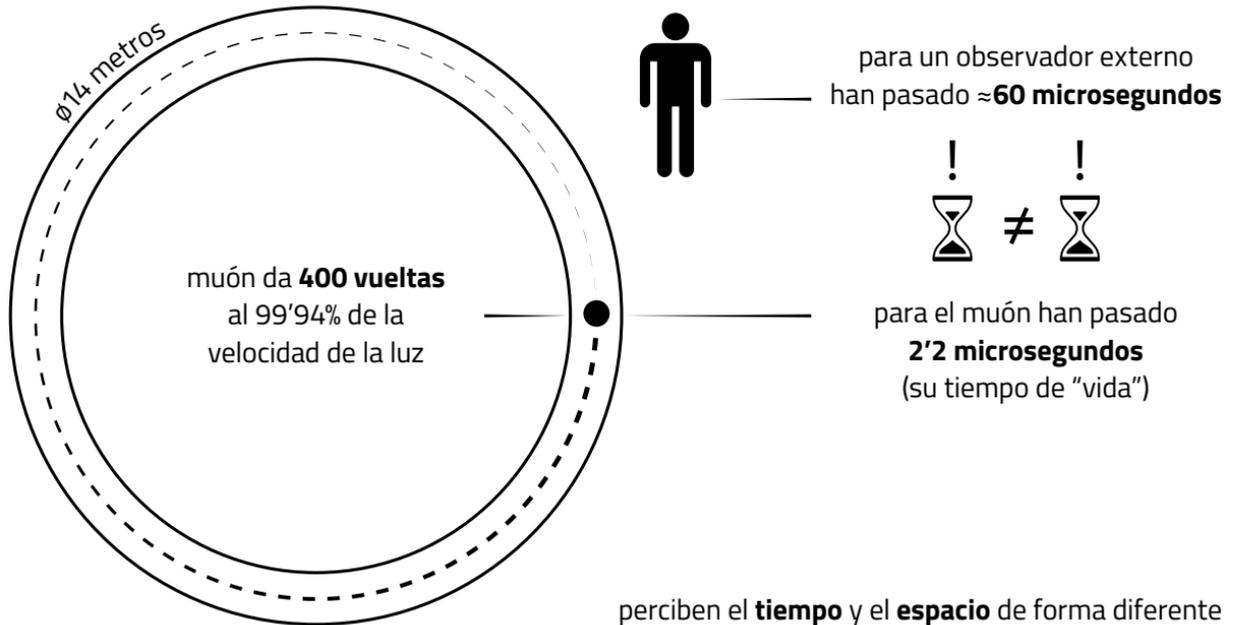


La conclusión de Einstein fue la siguiente: si la velocidad de la luz es una constante universal, como parecen demostrar los experimentos, el paso del tiempo no puede ser un valor absoluto. Tampoco las dimensiones del espacio pueden serlo.

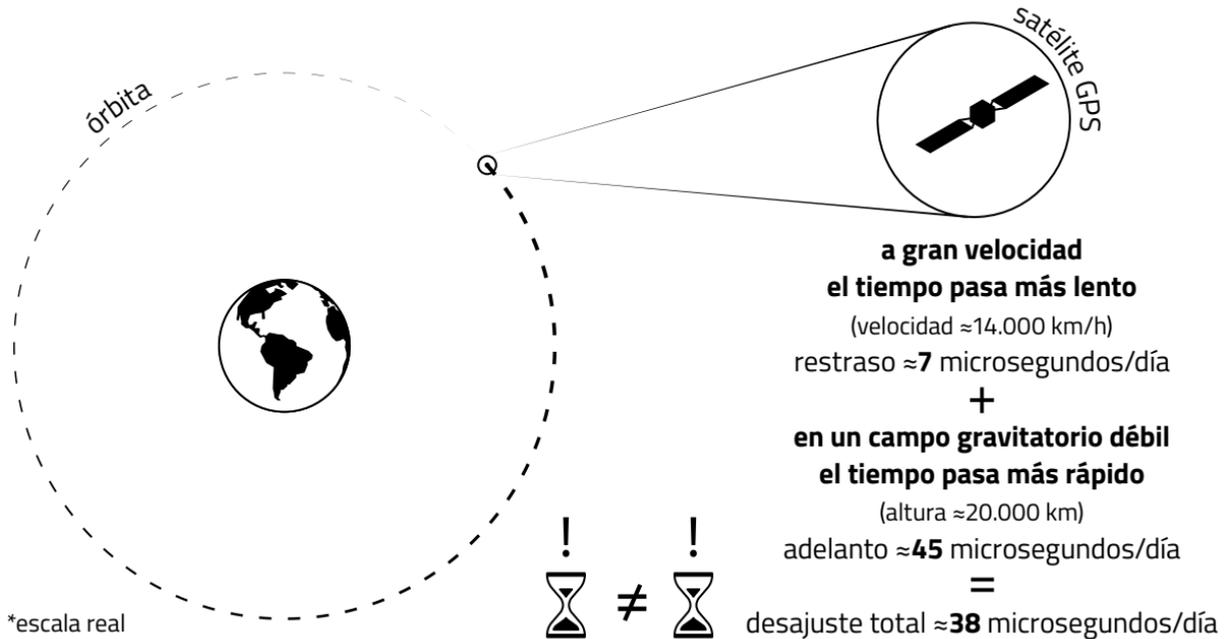
El paso del tiempo y la percepción del espacio son relativas: dependen del observador, depende de la velocidad a la que nos desplazemos y de dónde nos encontremos respecto otros cuerpos masivos. El efecto es especialmente notable a velocidades próximas a la velocidad de la luz y en campos gravitatorios extremos. El paso del tiempo no es igual en la Tierra, en un cohete a gran velocidad o cerca del Sol...



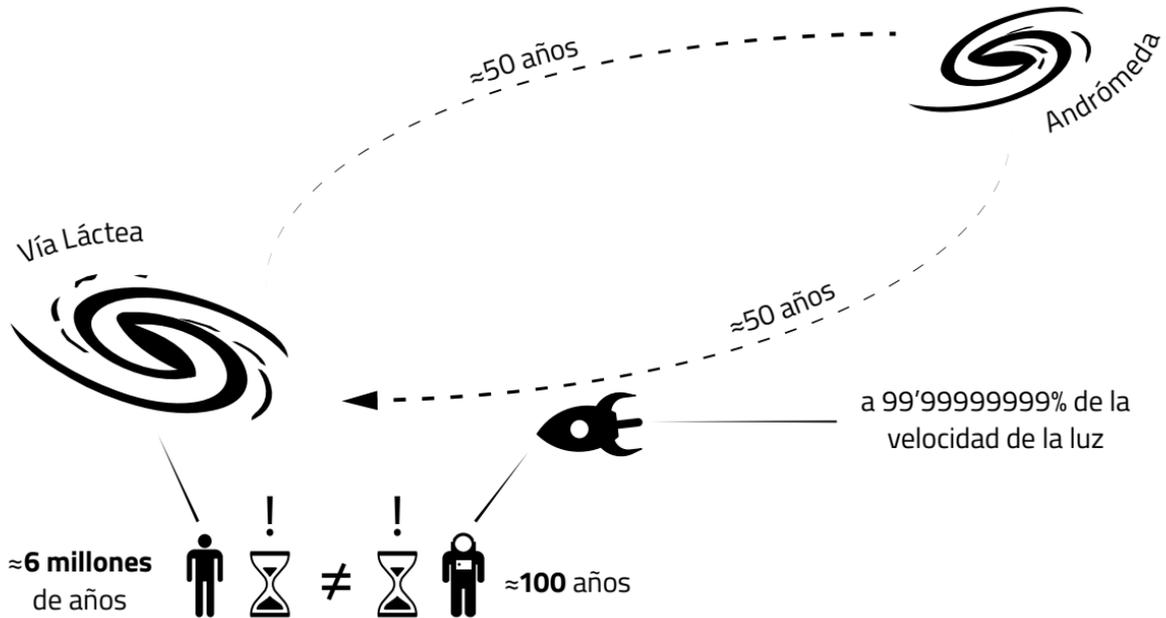
Un buen ejemplo es el "muón". Es una partícula subatómica que en reposo "vive" 2'2 microsegundos, nunca más tiempo. Sin embargo, al 99'94% de la velocidad de la luz "vive" unos 60 microsegundos y le da tiempo a dar 400 vueltas a un círculo de $\varnothing 14$ m antes de "morir". Para el muón, sin embargo, en su reloj han pasado sólo 2'2 microsegundos y el círculo era más pequeño ya que también ha dado 400 vueltas.



Otro ejemplo es el sistema GPS. Esta es la órbita real a escala de uno de sus satélites. Orbitando a gran velocidad, el tiempo pasa más lento y su reloj se retrasa ligeramente respecto a los relojes en la Tierra. Sin embargo, tan lejos, el campo gravitatorio es mucho más débil, el tiempo pasa más rápido y su reloj se adelanta. Para que el GPS sea útil hay que ajustar el tiempo usando la teoría de la relatividad de Einstein.



La paradoja de los gemelos representa cómo dos gemelos, uno en la Tierra y otro viajando a una velocidad próxima a la velocidad de la luz, envejecerían a un ritmo muy diferente. El gemelo astronauta completaría un viaje de ida y vuelta a la galaxia de Andrómeda en unos 100 años. A su regreso en la Tierra habrían pasado ¡casi 6 millones de años!



Einstein inició el proceso que llevó a entender la equivalencia entre masa y energía: "La masa de un cuerpo es una medida de su contenido de energía". La famosa ecuación $E=m \cdot c^2$ nos dice que masa y energía son proporcionales, manifestaciones diferentes del mismo fenómeno. Similar a la electricidad y el magnetismo. "c" es el límite cósmico de velocidad, la velocidad máxima permitida en nuestro universo, una constante de proporcionalidad, la velocidad de la luz en el vacío, casi 300.000 km/s.

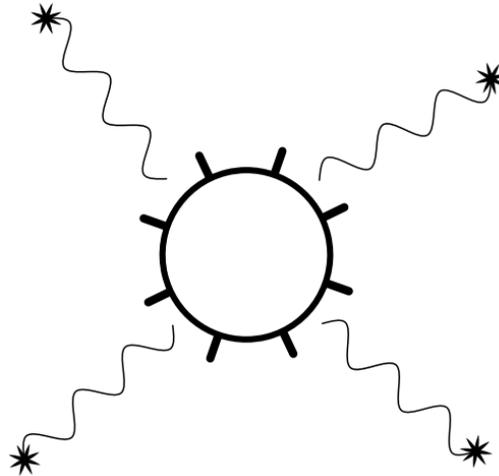
$$E = m \cdot c^2$$

energía

masa

límite cósmico de velocidad
(velocidad de la luz ≈ 300.000 km/s)

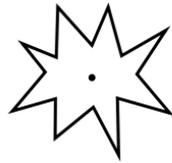
La masa constituye por tanto una fuente potencial de energía. Es lo que ocurre, por ejemplo, en las estrellas. Mediante la fusión nuclear pierden continuamente una pequeña parte de su masa, liberando una enorme cantidad de energía en forma de luz. El Sol transforma cada segundo 4 millones de toneladas de masa en energía. Una porción minúscula de su masa considerando sus colosales dimensiones.



transforma **masa en energía** ($E=m \cdot c^2$)

⌈ ⌋
* fotón (luz)

De forma inversa, la energía también puede transformarse en masa.
De alguna forma es lo que se piensa que sucedió en el Big Bang.



En 1998 se descubre gracias a un tipo especial de supernovas y al telescopio espacial Hubble que el universo no sólo se está expandiendo, sino que además lo hace de forma acelerada. Es decir, el universo crece cada vez más y más rápido.



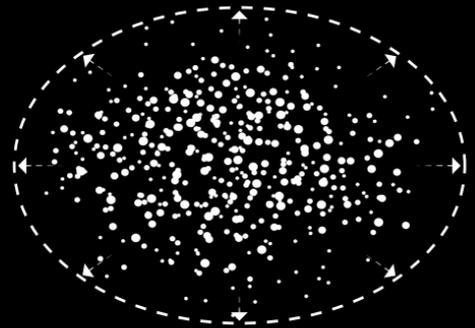
Observando cómo es el universo hoy, retrocediendo en el tiempo mediante modelos teóricos y con imágenes de poco después del Big Bang se calcula que se produjo hace unos 13.800 millones de años...

Parte IV

DÓNDE ESTAMOS EN EL TIEMPO

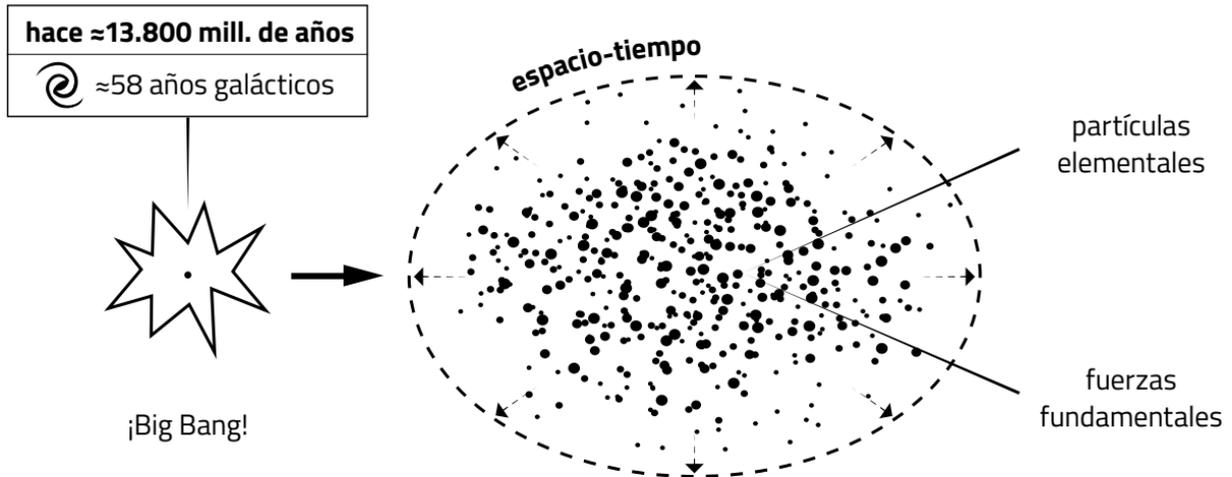
Capítulo 15

¡Big Bang!



¿Qué pasó en el Big Bang?

Se piensa que dio origen al "espacio-tiempo". Se teoriza que se inició a partir de un punto infinitesimalmente pequeño, expandiéndose. Contenido en él ya estaban todas las "partículas elementales" y las "fuerzas fundamentales" que dan forma a nuestro universo.



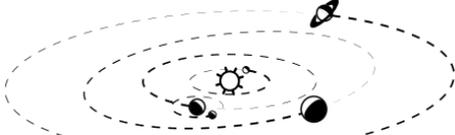
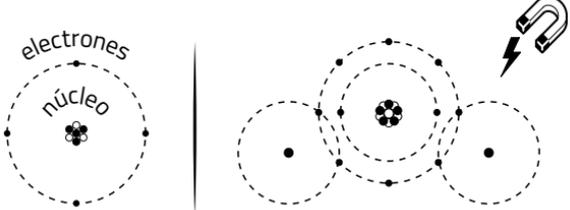
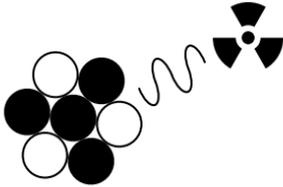
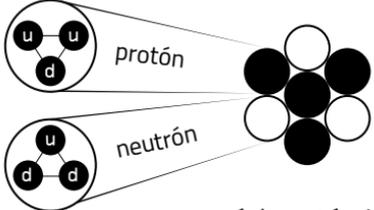
¿Qué son las “partículas elementales”?

En el Modelo Estándar los “fermiones” forman la materia y los “bosones” son los portadores de la fuerza. El Modelo Estándar no incluye la fuerza de la gravedad, cuyo portador sería el hipotético “gravitón”.

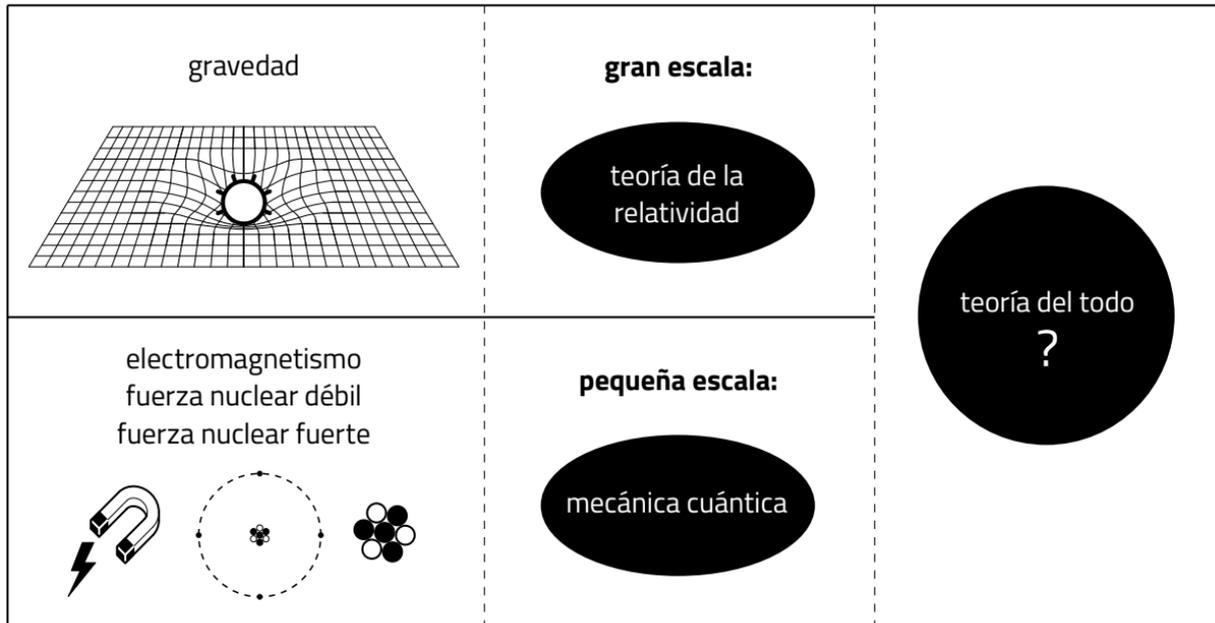
partículas elementales del Modelo Estándar				
materia (fermiones)				portadores fuerza (bosones)
quarks	u arriba (up)	c encanto	t cima	γ fotón (fuerza electromagnética)
	d abajo (down)	s extraño	b fondo	g gluón (fuerza nuclear fuerte)
leptones	ν_e neutrino electrónico	ν_μ neutrino muónico	ν_τ neutrino tauónico	Z (fuerza nuclear débil)
	e electrón	μ muón	T tauón	W (fuerza nuclear débil)

¿Qué son las “fuerzas fundamentales”? Son los cuatro tipos básicos de interacciones entre partículas. Cada una prevalece sobre las otras según la escala: del mundo subatómico a todo el universo.

¡Big Bang!
224

gravedad	electromagnetismo
 <p data-bbox="259 550 576 578">objetos y cuerpos celestes</p>	 <p data-bbox="850 550 1093 578">átomos y moléculas</p>
fuerza nuclear débil	fuerza nuclear fuerte
 <p data-bbox="302 899 544 927">tipo de radiactividad</p>	 <p data-bbox="1045 899 1228 927">núcleo atómico</p>

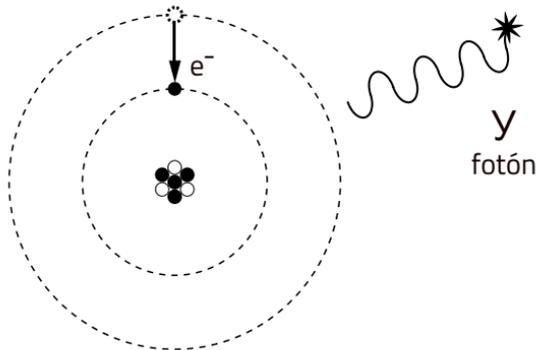
La "teoría de la relatividad" describe correctamente el efecto de la gravedad a "gran escala". Para describir los efectos del resto de fuerzas a "pequeña escala" necesitamos la "mecánica cuántica". Ninguna de las dos es una teoría completa que explique el universo por sí misma. Hoy en día se trabaja para unificar ambas y otras teorías en una "teoría del todo".



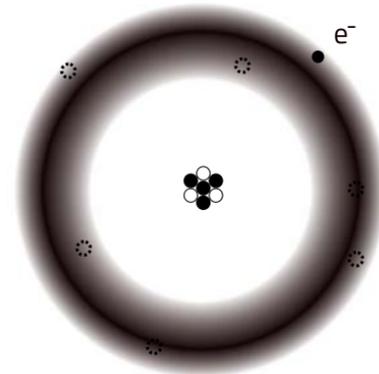
Todas las partículas elementales se comportan al mismo tiempo como onda y como partícula, como los fotones de la luz.

La mecánica cuántica proporciona una descripción matemática de gran parte de este comportamiento dual de las interacciones entre materia y energía. La mecánica cuántica es probabilística, a diferencia de la "causa y efecto" de la mecánica clásica.

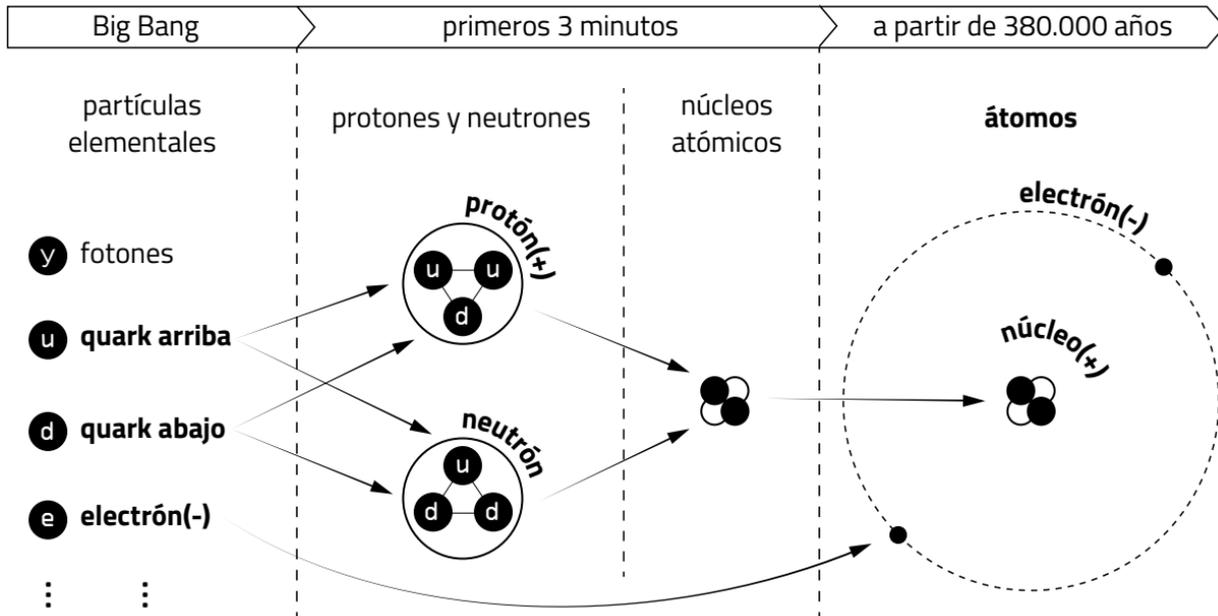
Las partículas son paquetes finitos (quantum) de energía (no son como canicas) y se pueden "solapar" como las olas (ondas) del mar.
p.e. el fotón (la luz)



El electrón no orbita el núcleo del átomo como un planeta al Sol, sino que está alrededor de él en una especie de nube de probabilidades.

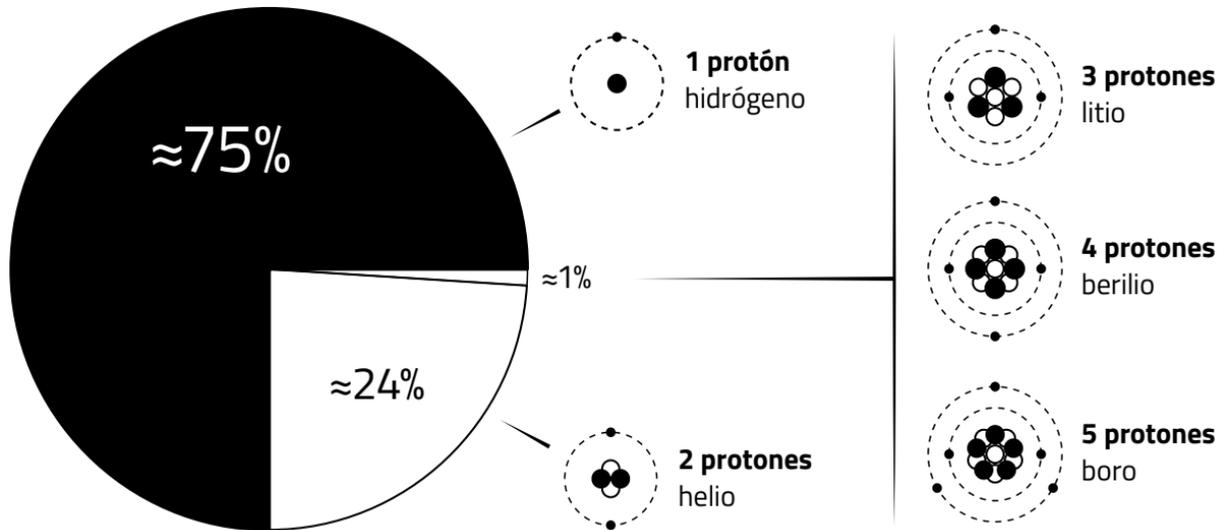


¿Qué pasó después del Big Bang? Se piensa que durante los 3 primeros minutos se generaron gran cantidad de "protones" y "neutrones" a partir de "quarks arriba" y "quarks abajo". Éstos se unieron formando los primeros núcleos atómicos ligeros. Unos 380.000 años después el espacio fue lo bastante "amplio" para que se uniesen con los electrones y se formaran los primeros átomos estables del universo.



El universo primigenio estaba básicamente compuesto por átomos de hidrógeno. Con un solo protón, es el átomo más sencillo y abundante del universo. Es 3 veces más abundante que el Helio, con 2 protones. Se formaron también algunos átomos más pesados con 3, 4 y 5 protones. Todavía hoy la proporción de hidrógeno y helio se mantiene casi igual.

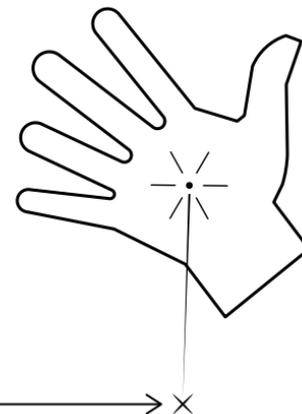
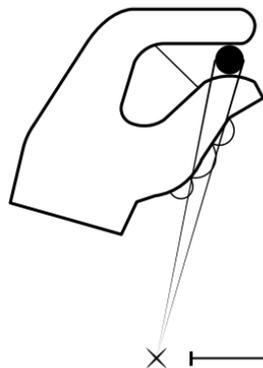
composición del universo primigenio



¿Cómo de pequeño es un átomo? Si el núcleo fuera del tamaño de 1 cm, el electrón sería una mota de polvo a 1 km. El 99'9999999% del volumen del átomo es vacío... ¡estamos vacíos!

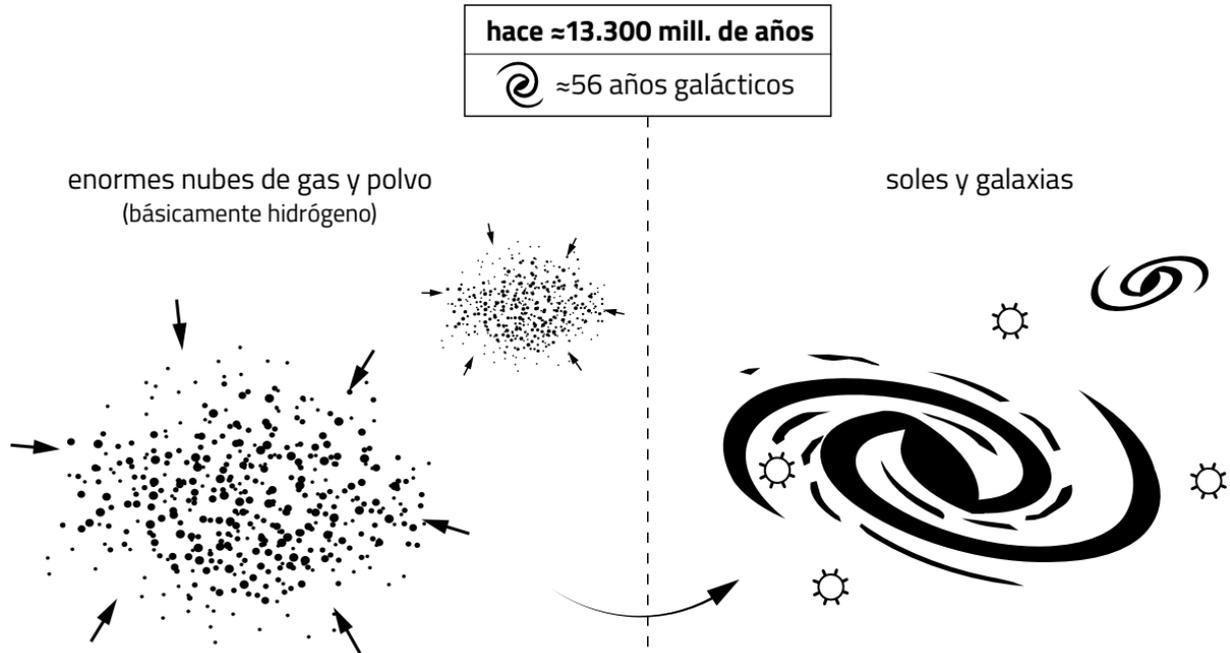
Si el **núcleo atómico** fuese de **∅1 cm...**

...el **electrón** sería una **mota de polvo**.

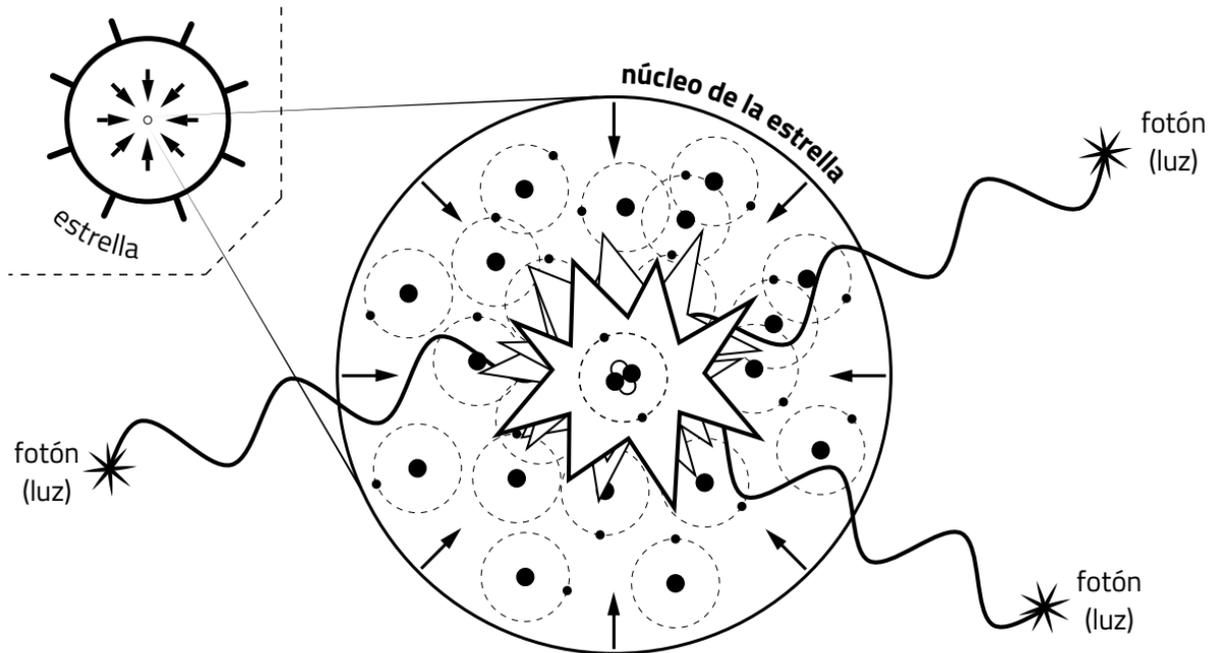


Y estarían a **≈1 km**
(12 minutos andando a 5 km/h)

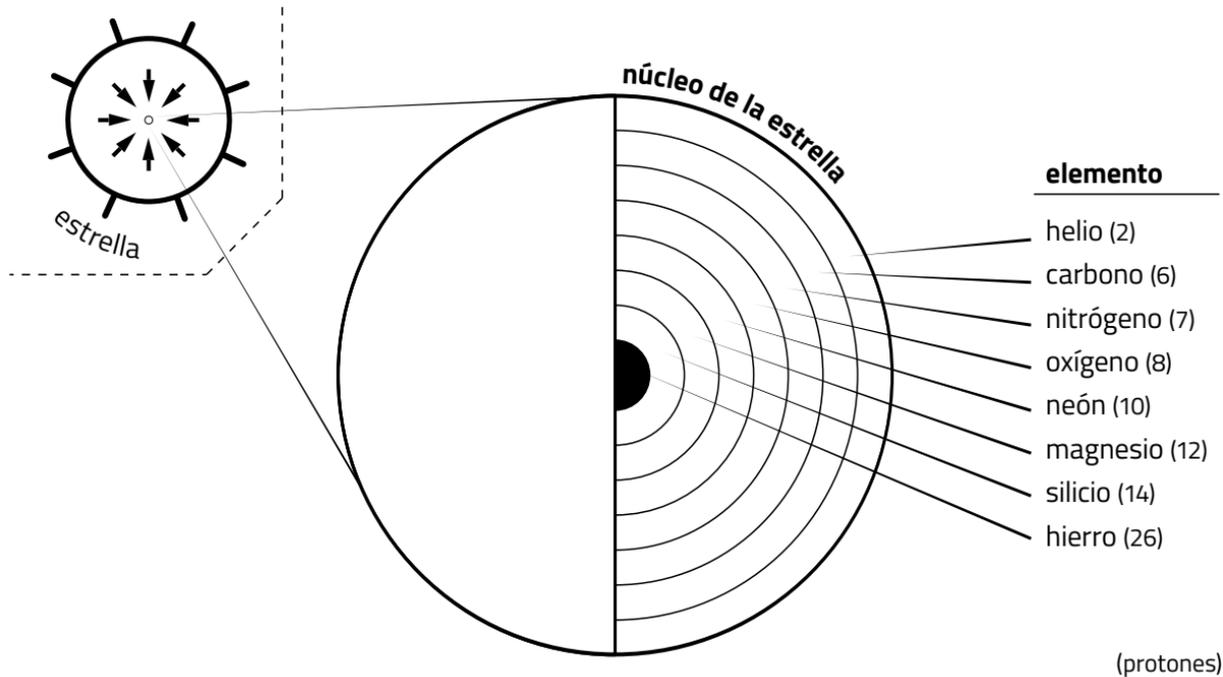
¿Cómo se formó la Vía Láctea? El espacio-tiempo continuó aumentando. Enormes nubes de hidrógeno se concentraron por efecto de la gravedad formando soles y galaxias. De forma aproximativa, podemos decir que los orígenes de nuestra galaxia se remontan unos 13.300 millones de años. Tan solo unos 500 millones de años después del Big Bang.



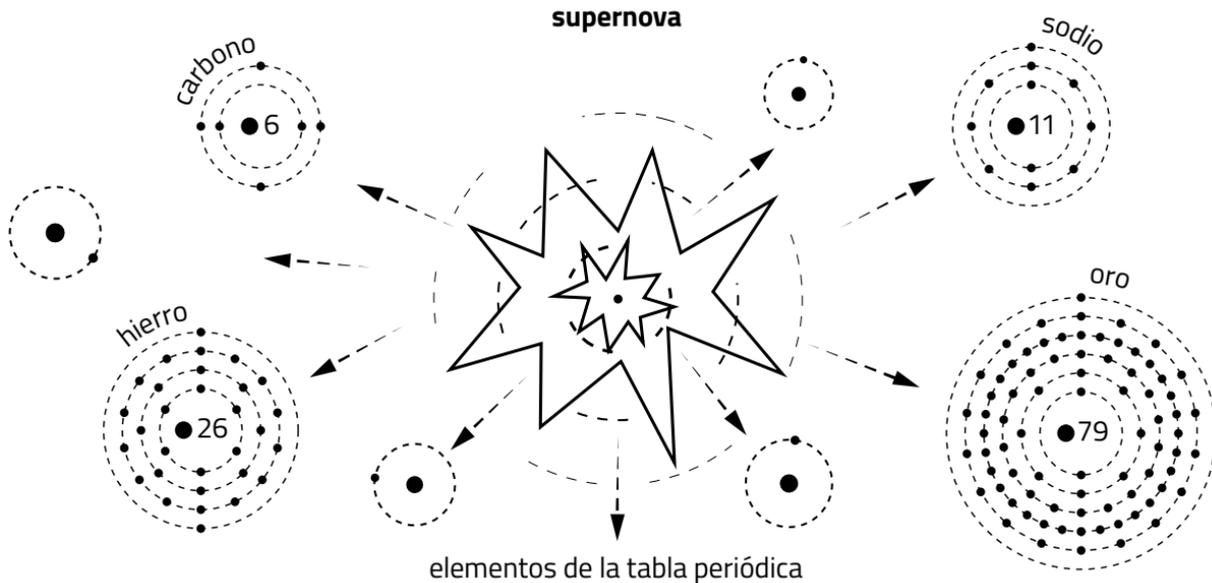
¿Qué es una estrella? Es una acumulación de materia, sobre todo hidrógeno, tan enorme que en su núcleo la presión y la temperatura reorganizan las partículas subatómicas del hidrógeno creando átomos de helio. En esta fusión se pierde una parte de materia, que es expulsada en forma de energía: fotones (luz). Siempre siguiendo la relación $E=m \cdot c^2$.



Durante miles de millones de años la estrella seguirá emitiendo luz, a base de transformar materia en energía y “apretar” los átomos formando nuevos elementos cada vez más pesados con varios protones en su núcleo, hasta llegar al hierro.



¿Se apagan las estrellas? Sí, después de millones o miles de millones de años las estrellas agotan su combustible. Las más masivas viven poco y mueren con una violenta explosión: una "supernova". Aquí se fabrican casi todos los elementos de la tabla periódica, de los más ligeros a los más pesados. La estrella expulsa sus cenizas al espacio interestelar, enriqueciendo la galaxia con los elementos que forman la naturaleza y la vida compleja.



Una estrella es una especie de enorme fábrica química.

La tabla periódica de los elementos es una sencilla clasificación de los distintos tipos de átomos que existen en el universo.

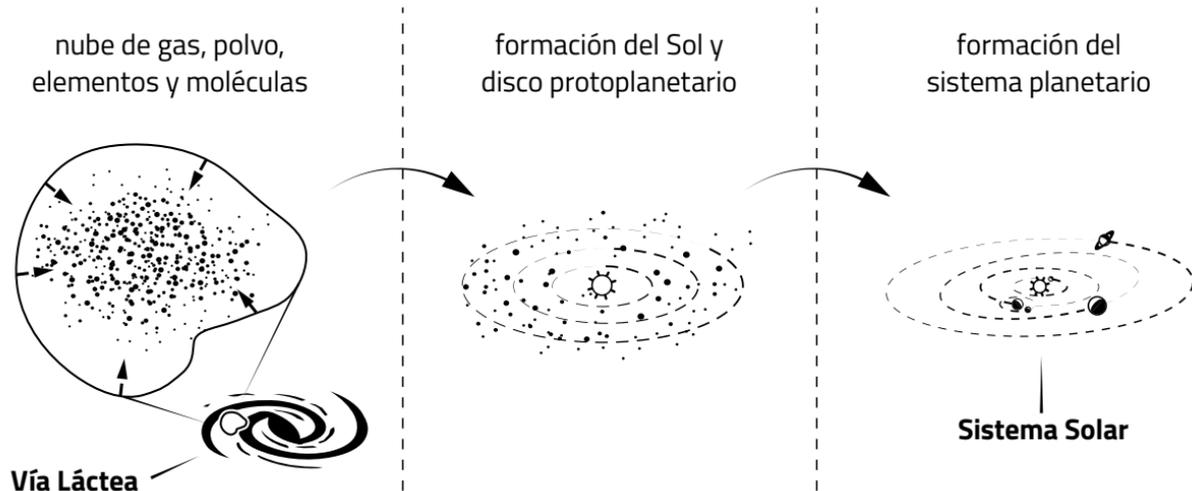
El "número atómico" nos indica cuántos protones tiene su núcleo.

tabla periódica de los elementos

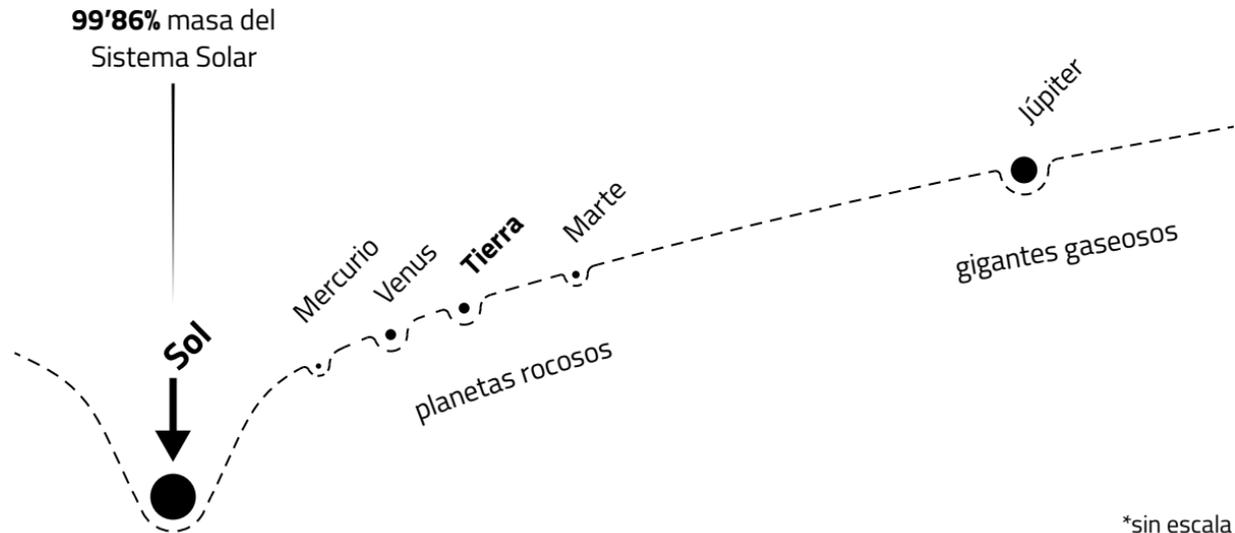
1																	2				
H	▲ creados en el Big Bang																He				
3	4	▼ creados en las estrellas														5	6	7	8	9	10
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
11	12															13	14	15	16	17	18
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
55	56			72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86			
Cs	Ba			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn			
87	88			104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118			
Fr	Ra			Kf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo			
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71							
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103							
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr							

¿Cómo se formó el Sistema Solar? Hace unos 4.500 millones de años una enorme nube de gas y polvo, ceniza de estrellas, elementos pesados, agua y moléculas complejas, colapsó sobre sí misma por efecto de la gravedad creando una estrella: el Sol. El material circundante se distribuyó formando un disco protoplanetario, similar a los anillos de Saturno, que se concentró formando los planetas.

hace ≈4.500 mill. de años  ≈19 años galácticos

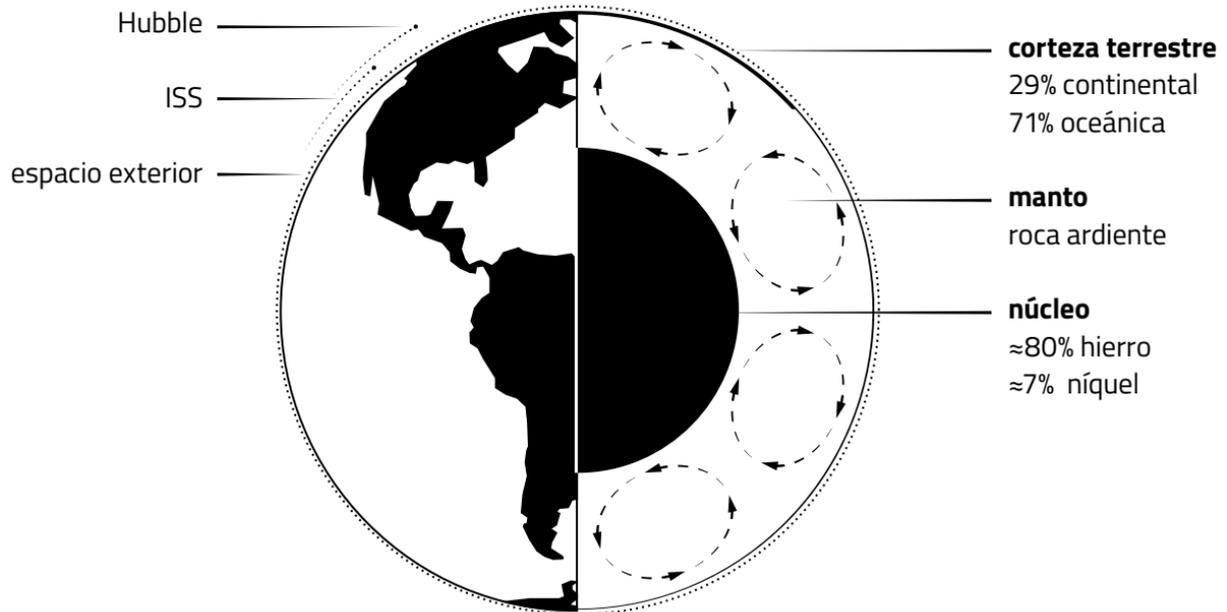


Puedes imaginar el efecto de la gravedad como una tela elástica sobre la que apoyan los planetas creando una depresión en el espacio-tiempo según su masa. En el Sistema Solar, el Sol es el objeto más masivo con mucha diferencia y crea la mayor "depresión".

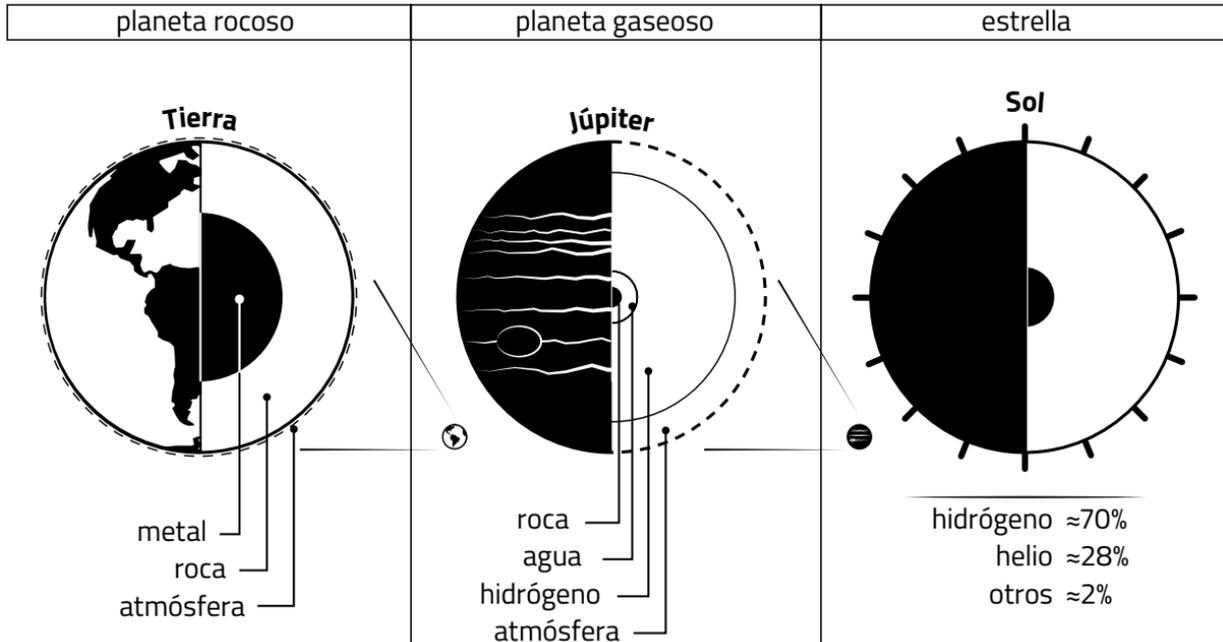


*sin escala

La Tierra está envuelta por una delgadísima capa sólida llamada corteza terrestre, en su mayoría oceánica, sobre un enorme manto de roca ardiente. La Tierra alberga en su interior un gigantesco núcleo de metal abrasador. Los ligeros átomos que forman la atmósfera no escapan al espacio gracias a la atracción gravitatoria de la masa terrestre.

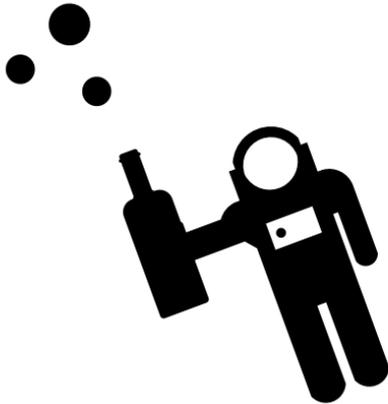


Mientras que los planetas rocosos están prácticamente desprovistos de su atmósfera, los planetas gaseosos están formados mayoritariamente de hidrógeno. Si Júpiter fuese unas 10 veces mayor, tendría suficiente masa para iniciar los procesos de fusión nuclear y emitir luz como una estrella.

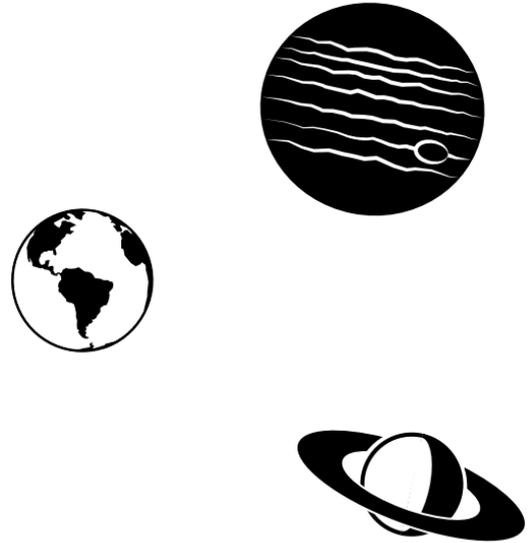


Se dice que los planetas están en “equilibrio hidrostático”, ya que en ellos incluso la roca se comporta de forma plástica. Puedes imaginarlos como enormes gotas líquidas esféricas flotando en gravedad cero.

gotas de agua

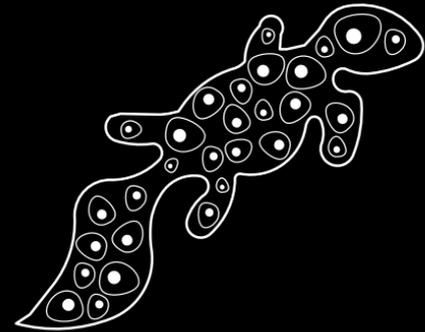


planetas



Capítulo 16

Vida

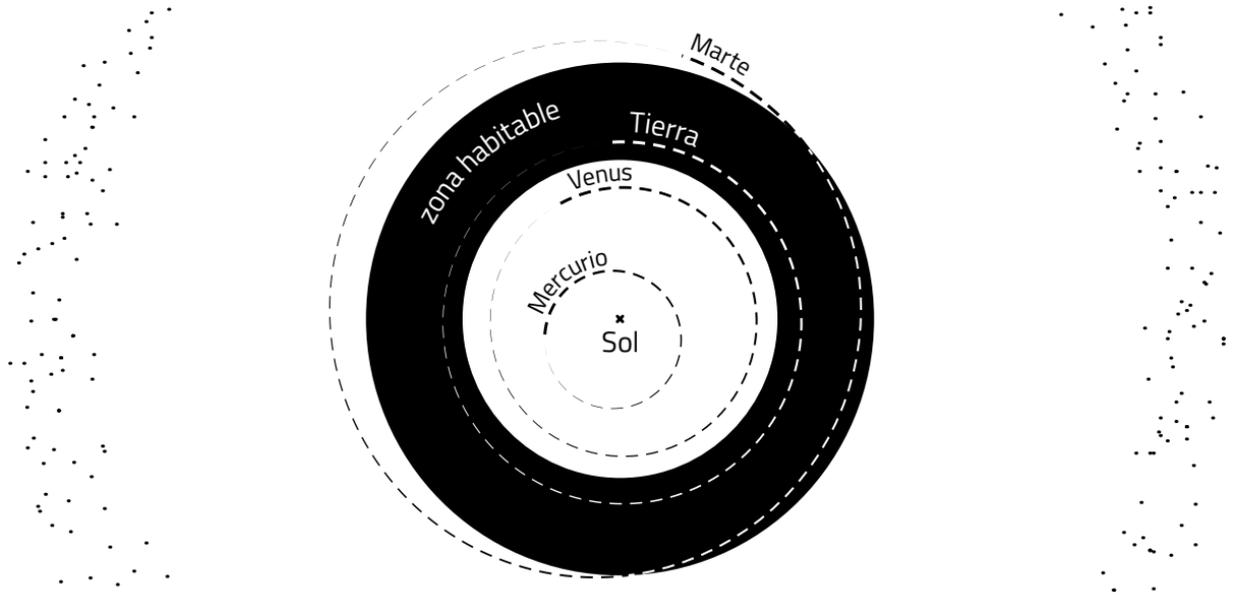


¿Cómo comenzó la vida en la Tierra?

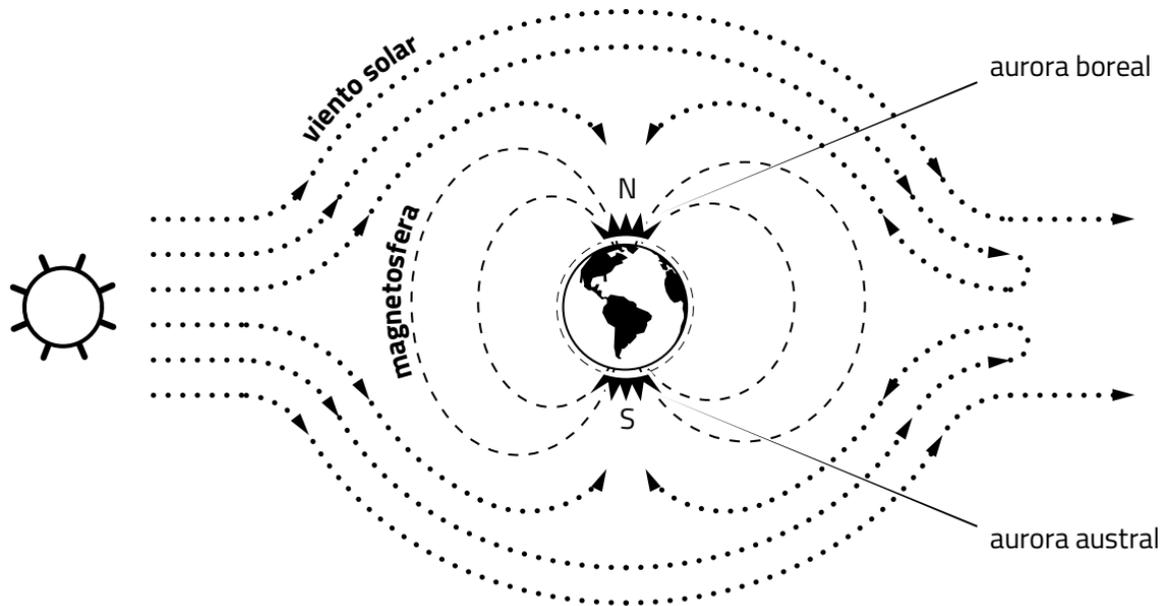
Nadie lo sabe con certeza, pero existe. Y existe porque es posible.

Se dan las condiciones necesarias. Ni demasiado cerca ni demasiado lejos del Sol el agua puede encontrarse en estado líquido entre 0° y 100°C.

A esta zona se le denomina "zona habitable" de una estrella.



La Tierra genera un campo magnético, la magnetosfera, que protege a la atmósfera del viento solar. La atmósfera es crucial para la vida: nos protege de las temperaturas extremas, de pequeños asteroides y de la radiación ultravioleta del Sol. Las partículas solares arrastradas a los polos crean las auroras. En Marte el viento solar arrastró gran parte de su atmósfera debido a que el planeta se enfrió y dejó de generar su campo magnético.



Se piensa que la vida apareció por primera vez en la Tierra en las fumarolas oceánicas, hace unos 3.800 millones de años. No se sabe cómo, pero parece que a “fuego lento” se inició un proceso de autorreplicación de moléculas cada vez más complejas.

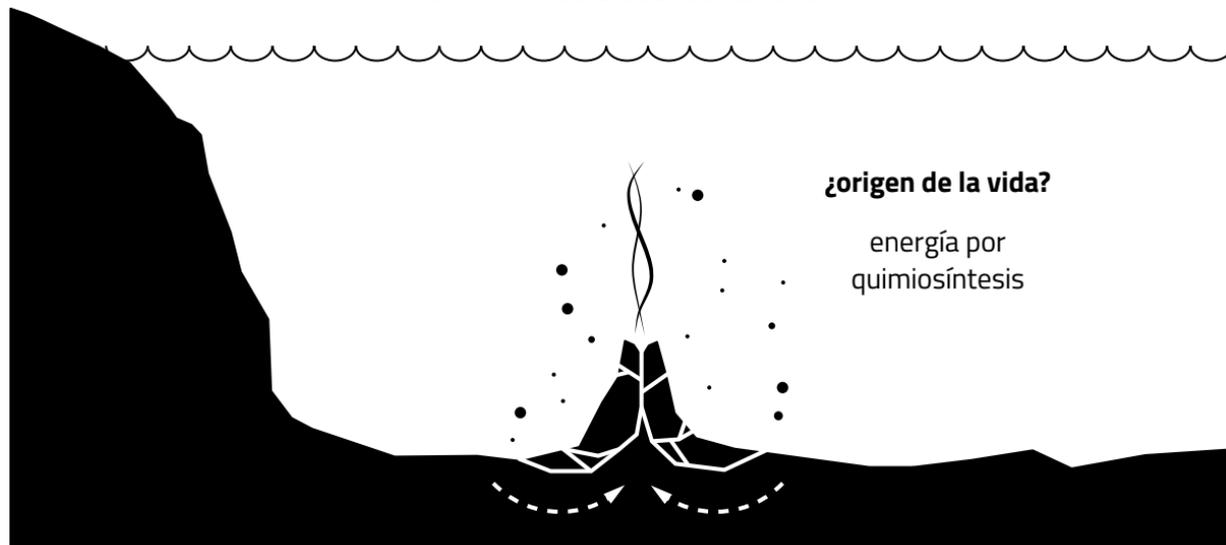
hace **≈3.800 mill. de años**



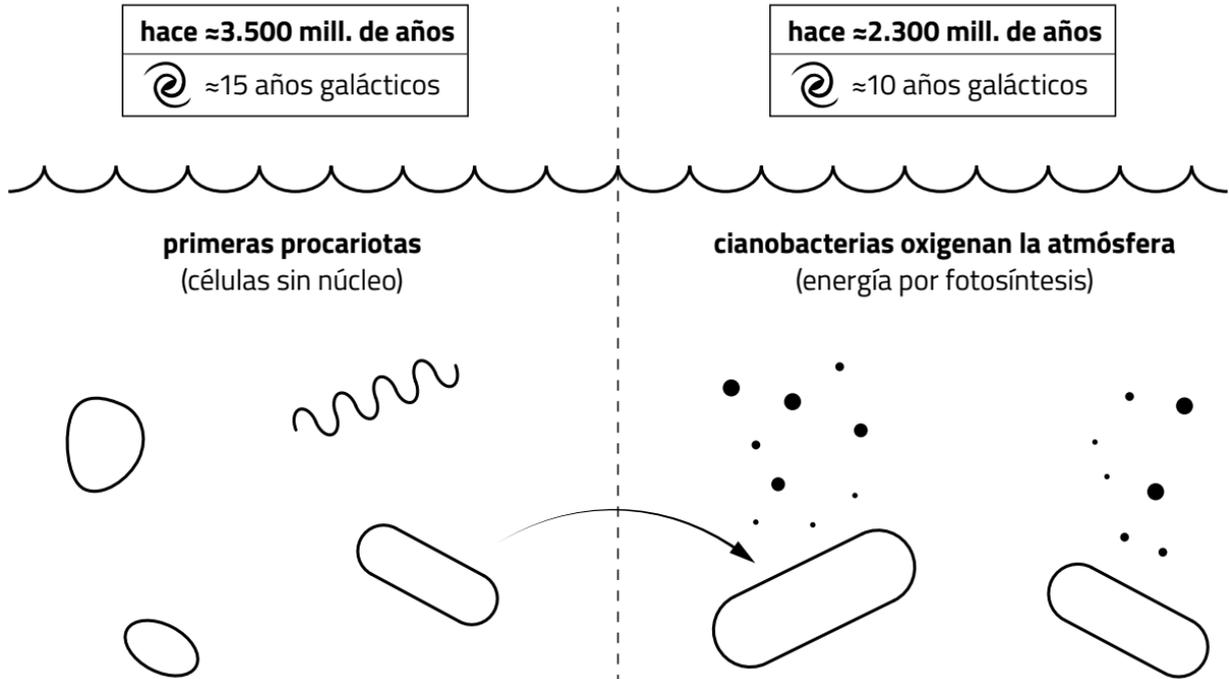
≈16 años galácticos



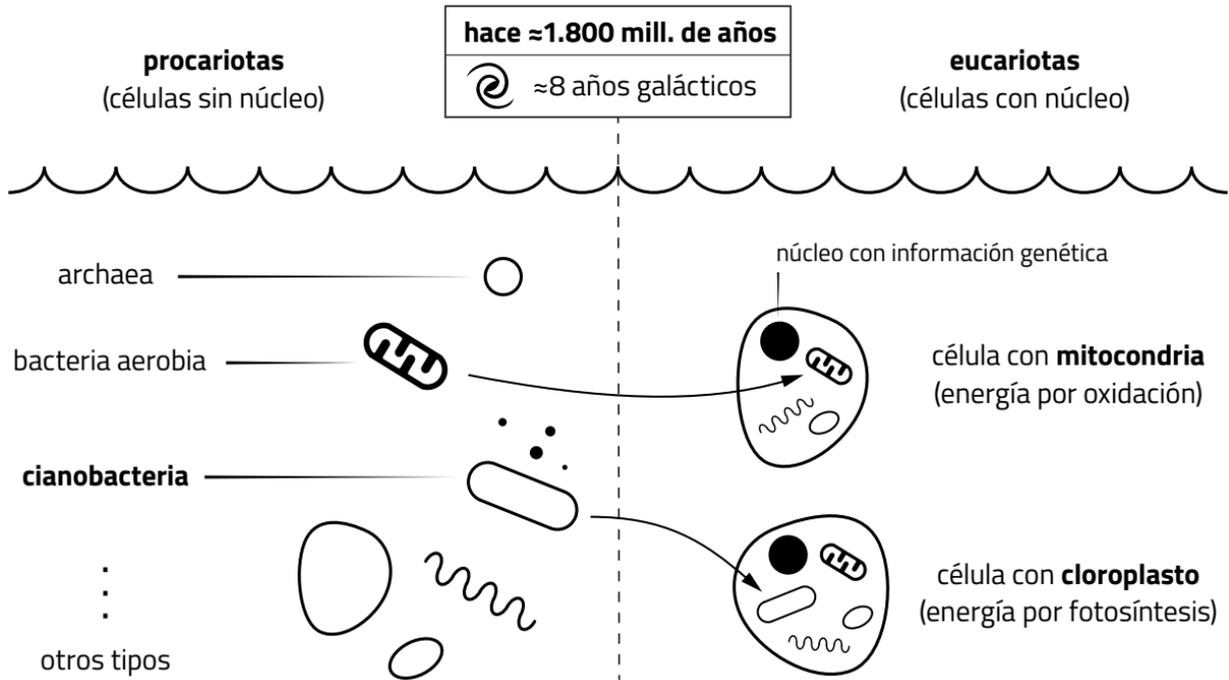
atmósfera de dióxido de carbono



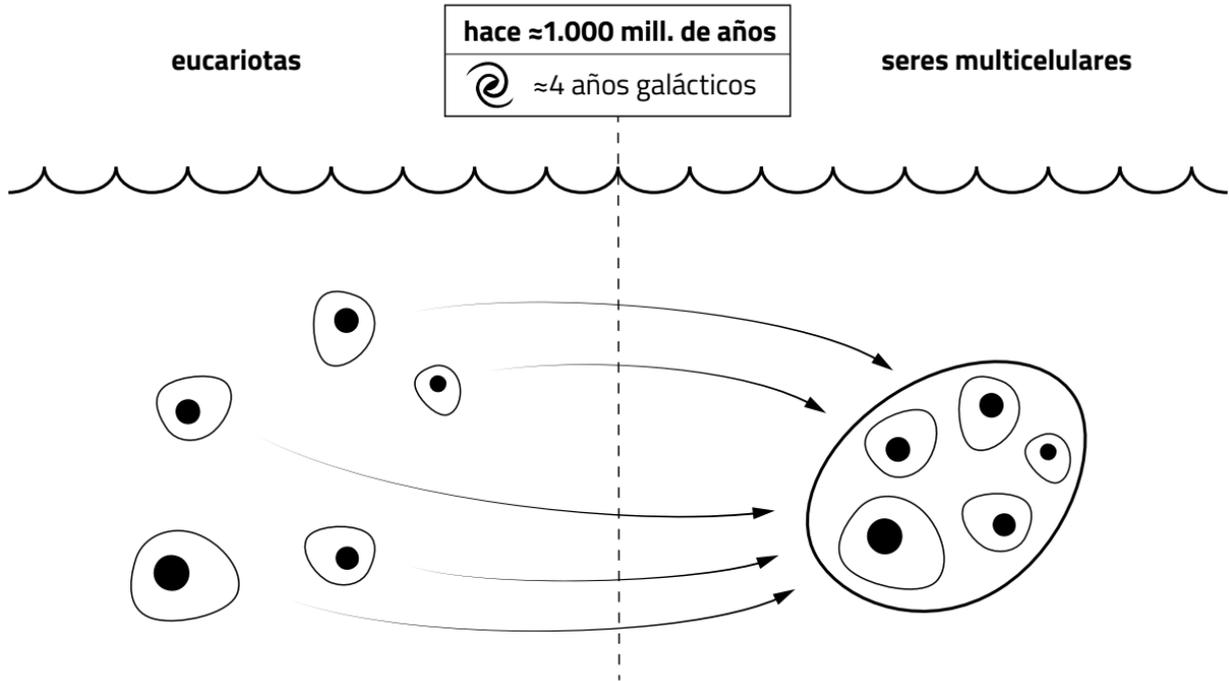
Hace unos 3.500 millones de años aparecieron las primeras procariotas: células sin núcleo. Algunas evolucionaron más tarde en cianobacterias capaces de utilizar luz solar y dióxido de carbono para obtener energía, expulsando oxígeno: la fotosíntesis. La atmósfera se llenó de oxígeno.



Se piensa que hace unos 1.800 millones de años diferentes procariotas se asociaron creando las primeras células con núcleo: las eucariotas. Un tipo de éstas adquirió de las cianobacterias la capacidad de realizar la fotosíntesis. Las eucariotas prosperaron en los océanos...



Hace unos 1.000 millones de años las exitosas células eucariotas empezaron a formar comunidades: los primeros seres multicelulares.

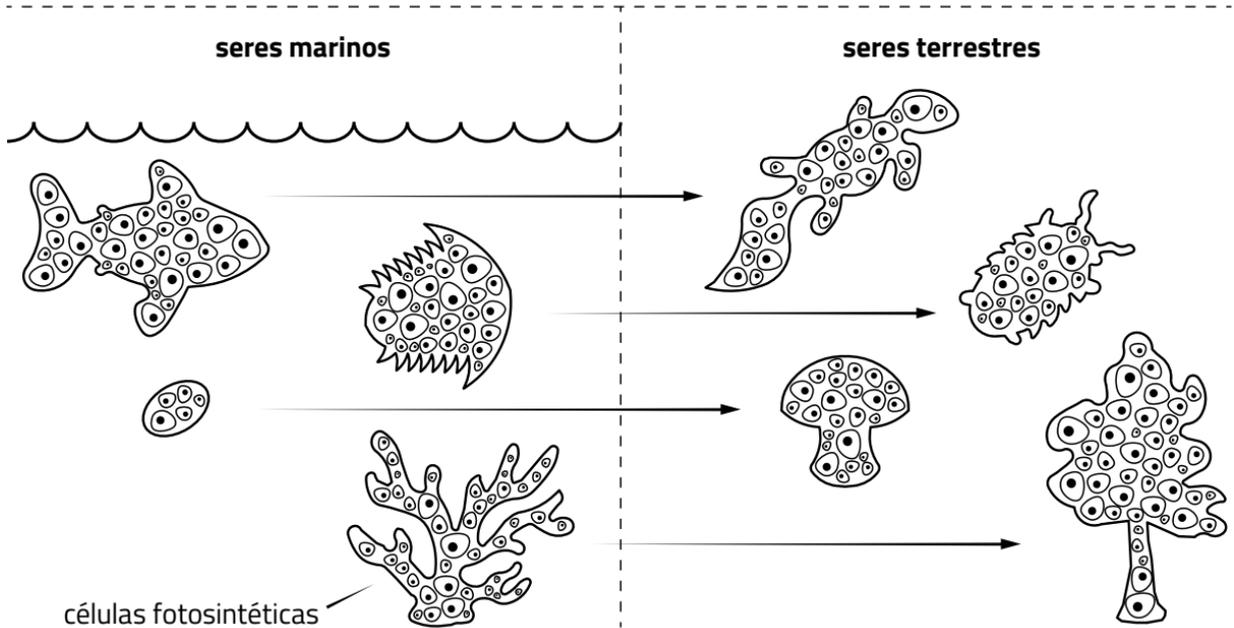


Hace unos 500 millones de años los seres multicelulares comenzaron a evolucionar creando una enorme biodiversidad, en la llamada "explosión cámbrica". Estas comunidades de eucariotas conquistaron mar y tierra.

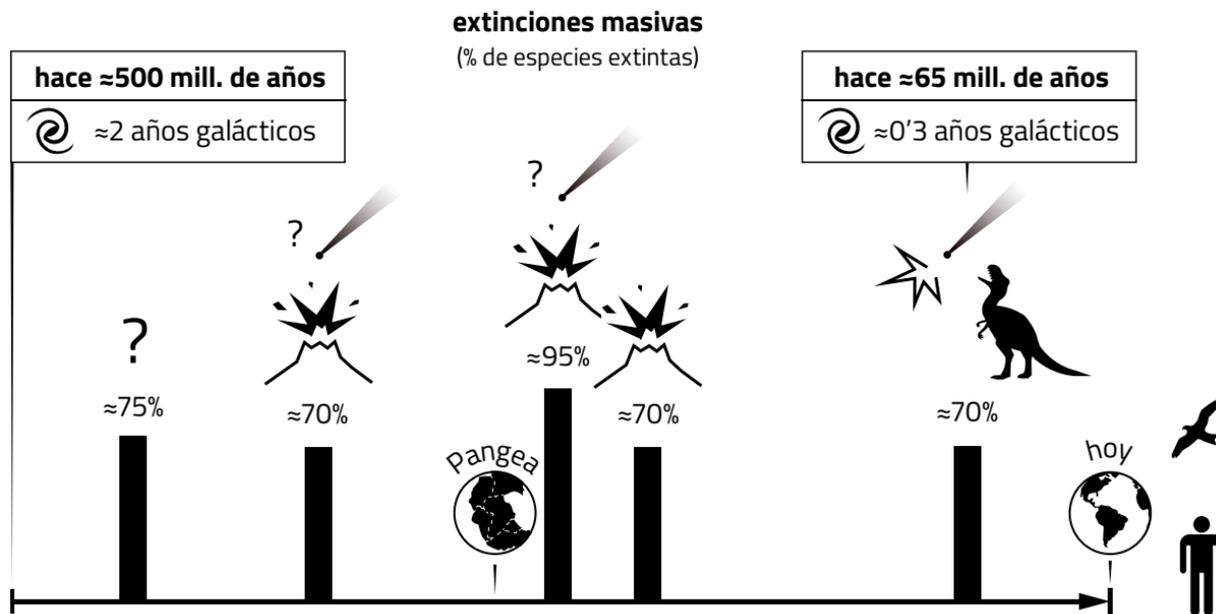
a partir de hace ≈ 500 mill. de años



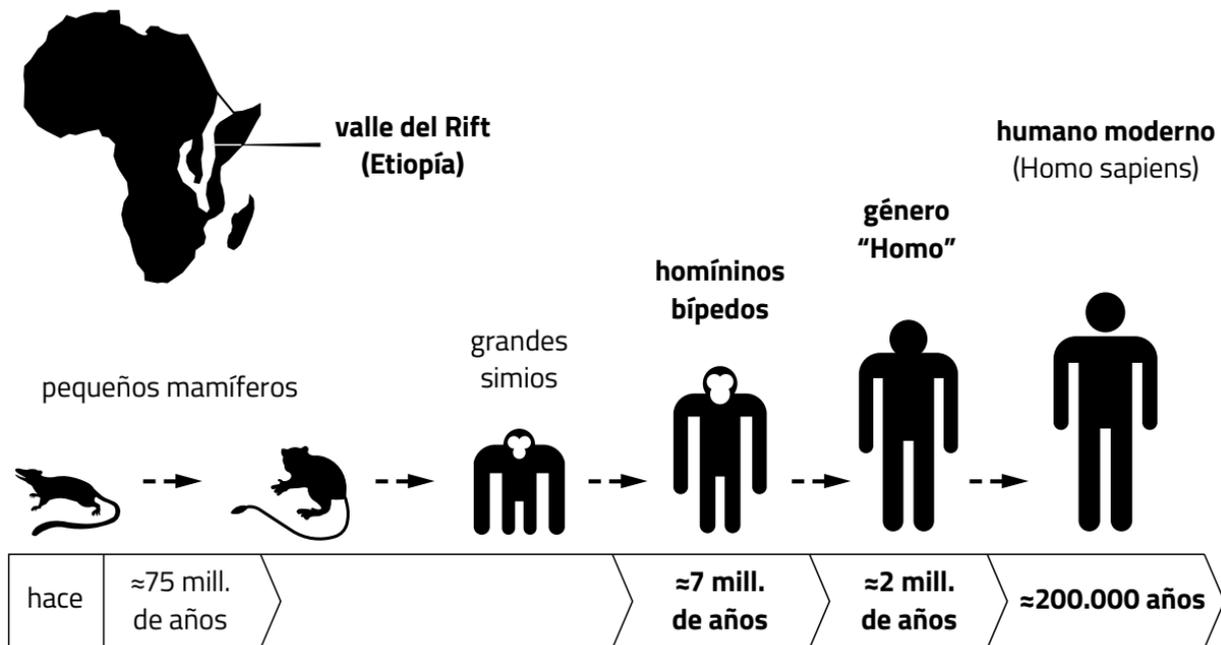
≈ 2 años galácticos



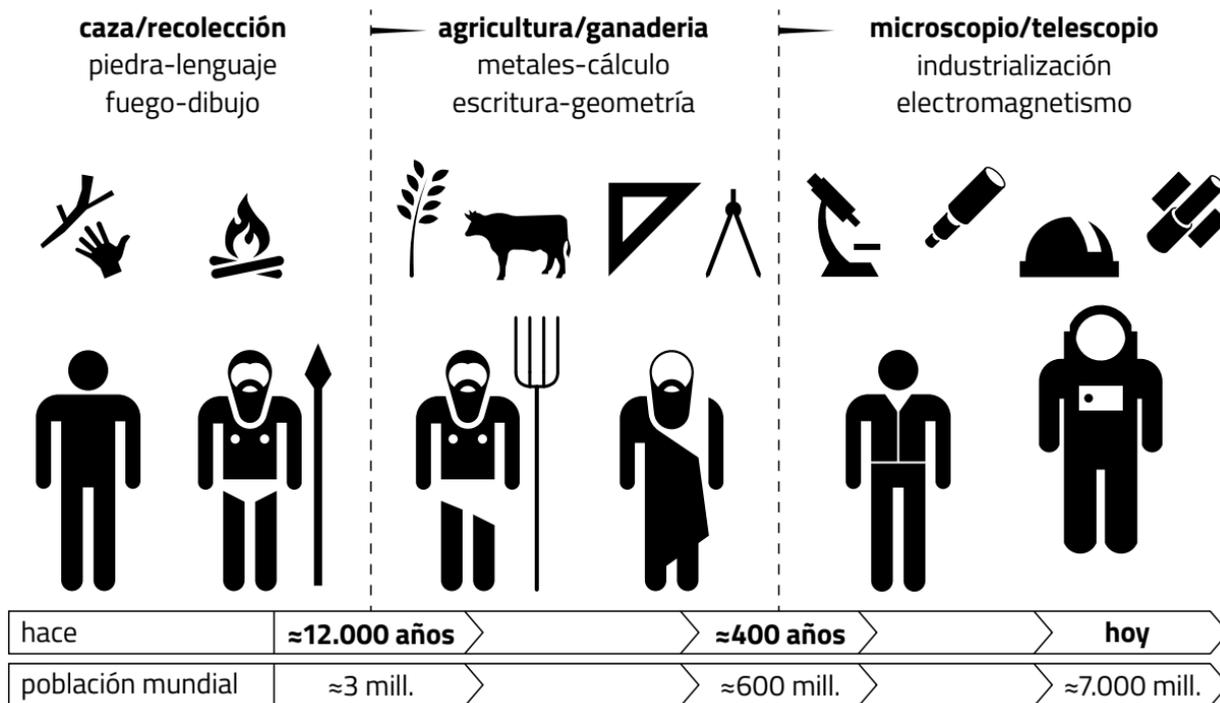
En los últimos 500 millones de años, desde la explosión cámbrica, ha habido al menos 5 extinciones masivas y múltiples glaciaciones. Los períodos glaciares duran unos 100.000 años, y los interglaciares, como el período actual, unos 20.000 años. A la última gran extinción sobrevivieron algunos pequeños dinosaurios y pequeños mamíferos. De los primeros descienden las aves actuales. De los segundos, nosotros.



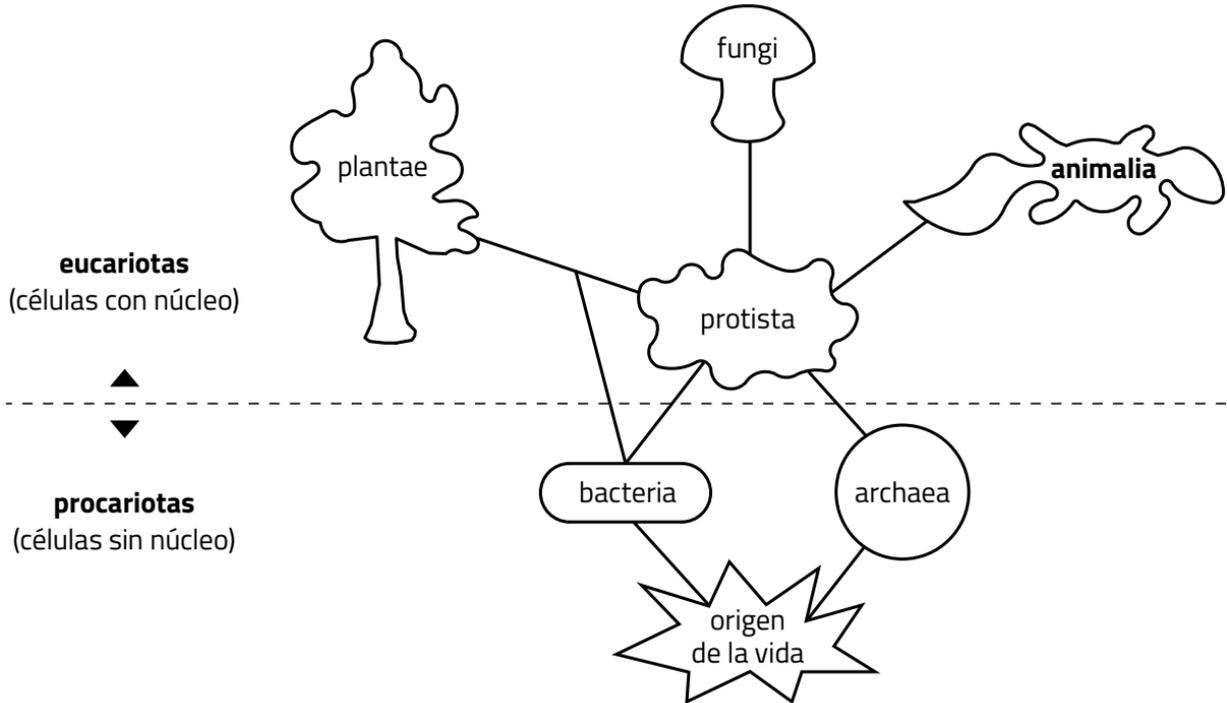
Algunos de los pequeños mamíferos supervivientes a la última extinción masiva evolucionaron a primates. Hace unos 7 millones de años nuestros ancestros del valle del Rift (Etiopía) comenzaron a andar erguidos sobre las extremidades traseras, quizás para ver más lejos en la sabana, quedando las delanteras libres para manipular...



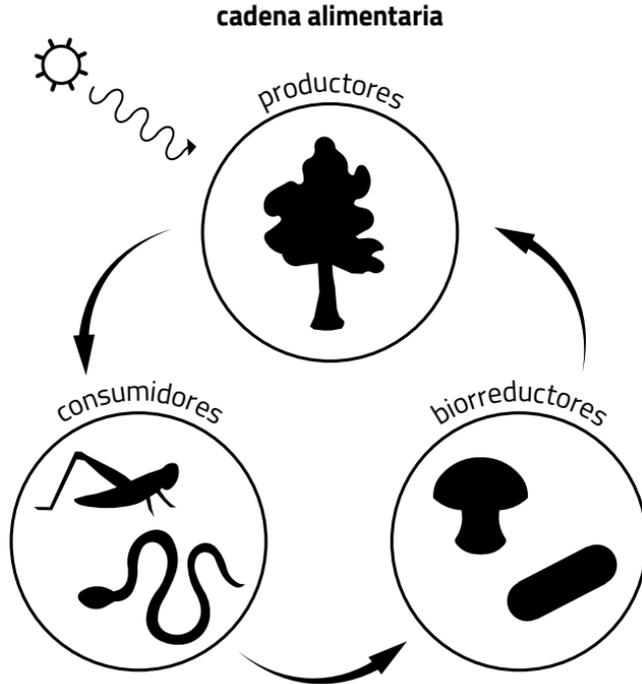
La cooperación, la comunicación, la comprensión del entorno y su manipulación han llevado al ser humano a multiplicar exponencialmente su población desde la invención de la agricultura y, sobre todo, desde la revolución industrial. La tecnología extiende nuestros sentidos.



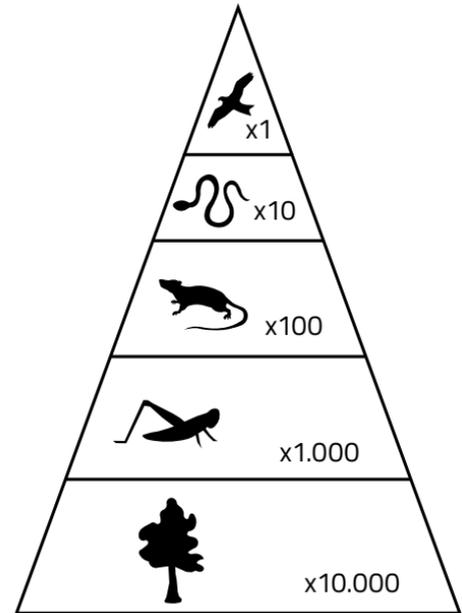
Esta es una representación del árbol de la vida en la Tierra. Destaca la gran división entre seres formados por células con o sin núcleo. Por una cuestión de escala, los 3 grandes reinos con los que estamos más familiarizados son: las plantas, los hongos y los animales.



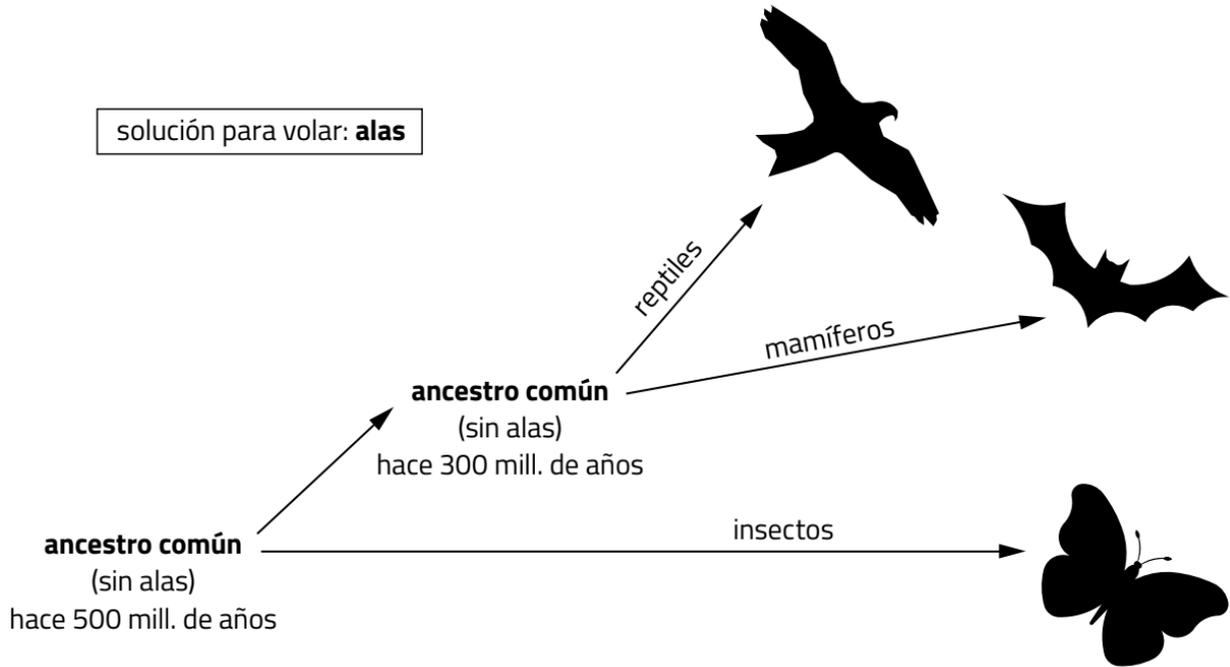
El ciclo de la cadena alimentaria relaciona a todos los seres del planeta formando un círculo autosostenible. En cada nivel de la pirámide alimentaria se pierde eficiencia energética, siendo necesariamente los seres que están arriba menos numerosos.



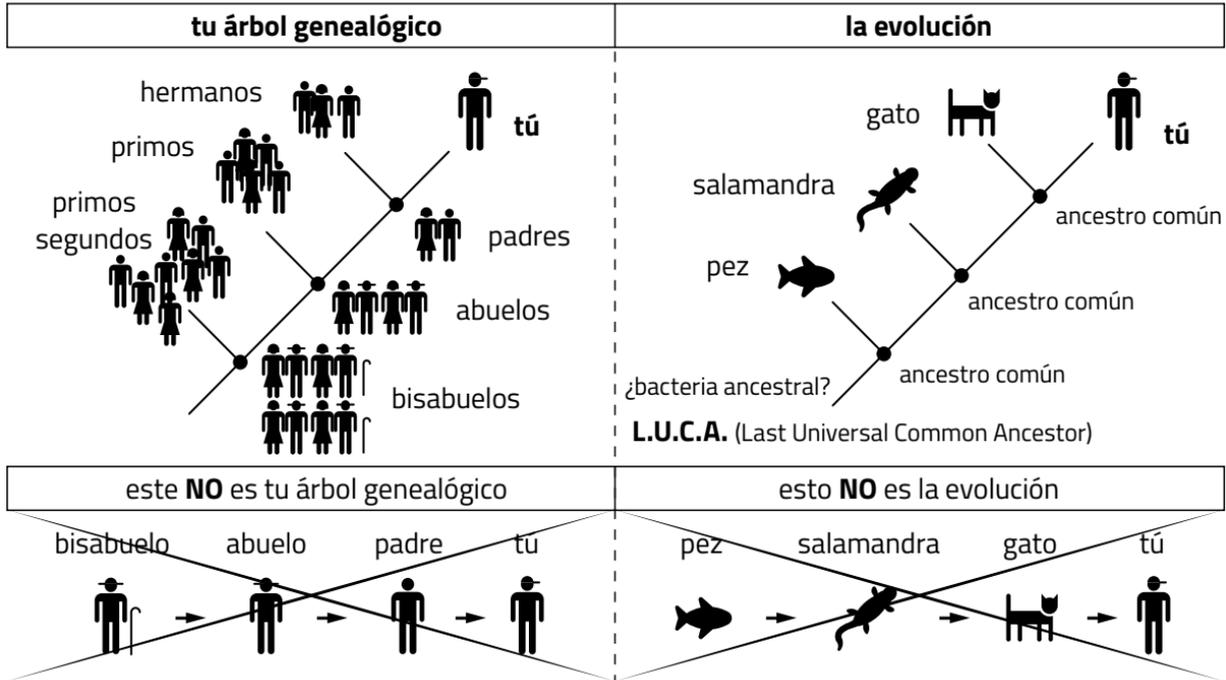
pirámide alimentaria



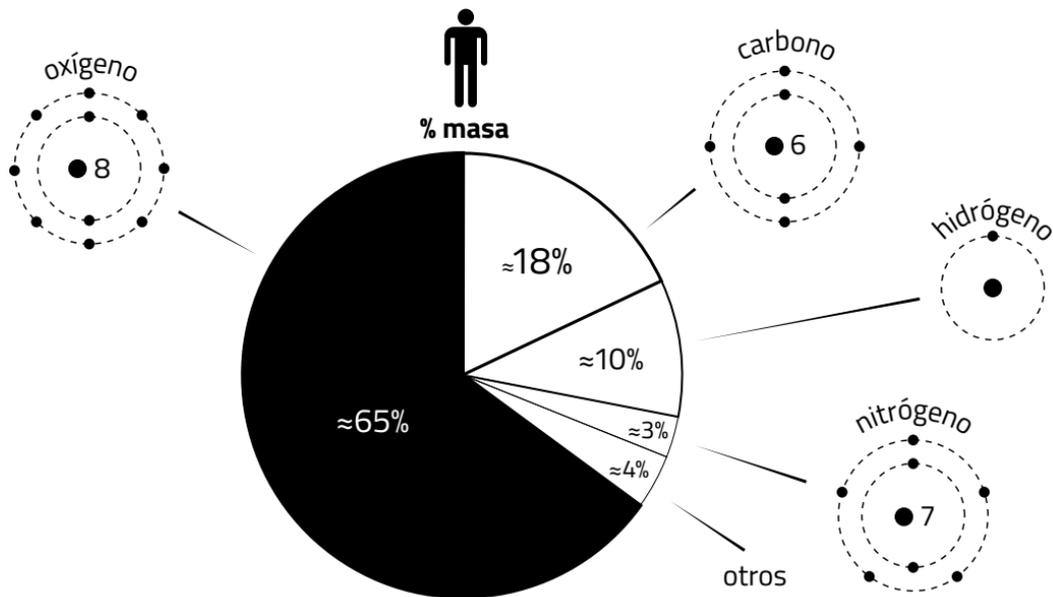
El papel del entorno es determinante para la definición de la forma del ser vivo. Es muy interesante comprobar cómo diferentes especies, con líneas evolutivas completamente separadas, han adoptado la misma solución. Por ejemplo, las alas para volar en el aire o la similitud entre tiburones y delfines en el medio acuático.



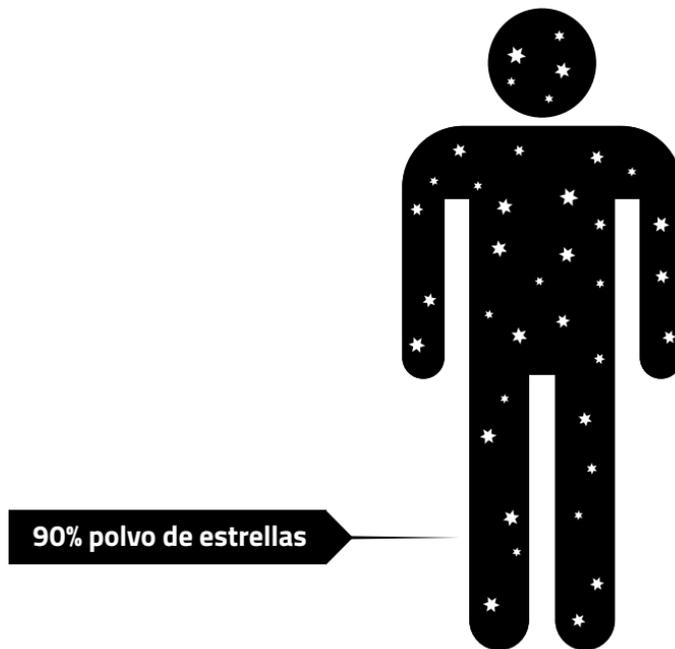
Darwin publicó en 1859 "Sobre el origen de las especies", donde se expone la selección natural y es el origen de la biología moderna. Hoy sabemos que toda la vida en la Tierra "habla" el mismo lenguaje genético y tiene, tenemos, un "Último Ancestro Común Universal": L.U.C.A.



¿De qué elementos químicos estamos hechos? Un ser humano está hecho de unos 7.000 millones de millones de millones de millones de átomos, pero el 96% de la masa lo constituyen tan solo cuatro elementos: oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno. Los elementos que forman un ser humano, y cualquier ser vivo en la Tierra, se encuentran entre los más sencillos, abundantes y químicamente activos del cosmos.

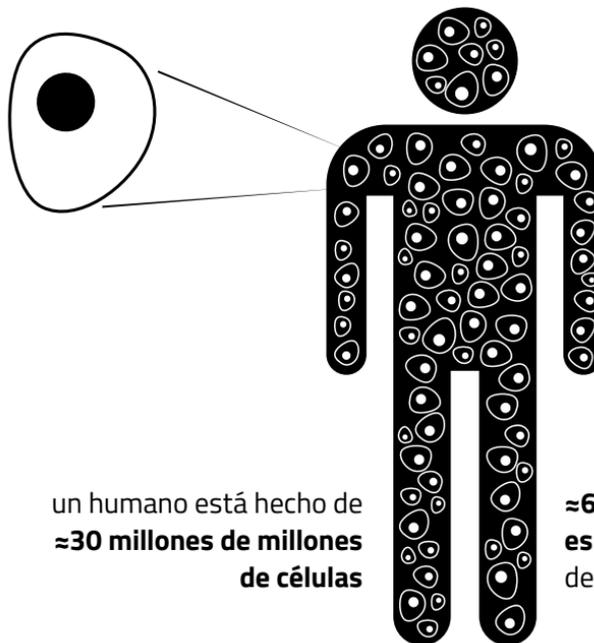


¿Cuál es el origen de nuestros átomos? El 10% de la masa de nuestro cuerpo, el hidrógeno, se formó fundamentalmente en el origen del universo, en el remoto Big Bang. El 90% restante de átomos fueron "cocinados" y expulsados por las estrellas: somos polvo de estrellas. Nuestro mundo está hecho de polvo de estrellas.



Cada célula está formada por unos 100 millones de millones de átomos...
¡Y un humano está formado por unos 30 millones de millones de células!
Aproximadamente el 60% de nuestra masa es agua, dentro y fuera de las células: el agua es el medio de la vida, el lubricante. Básicamente somos una enorme comunidad acuática de células.

cada célula está hecha de
**≈100 millones de millones
de átomos**

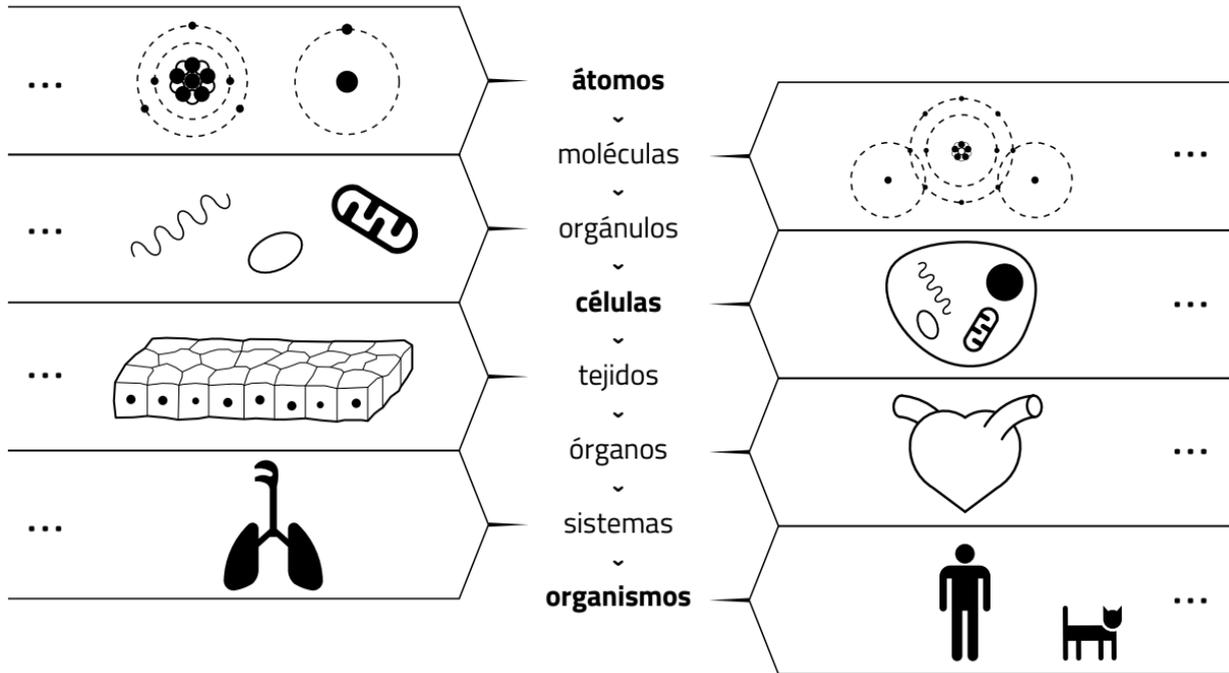


un humano está hecho de
**≈30 millones de millones
de células**

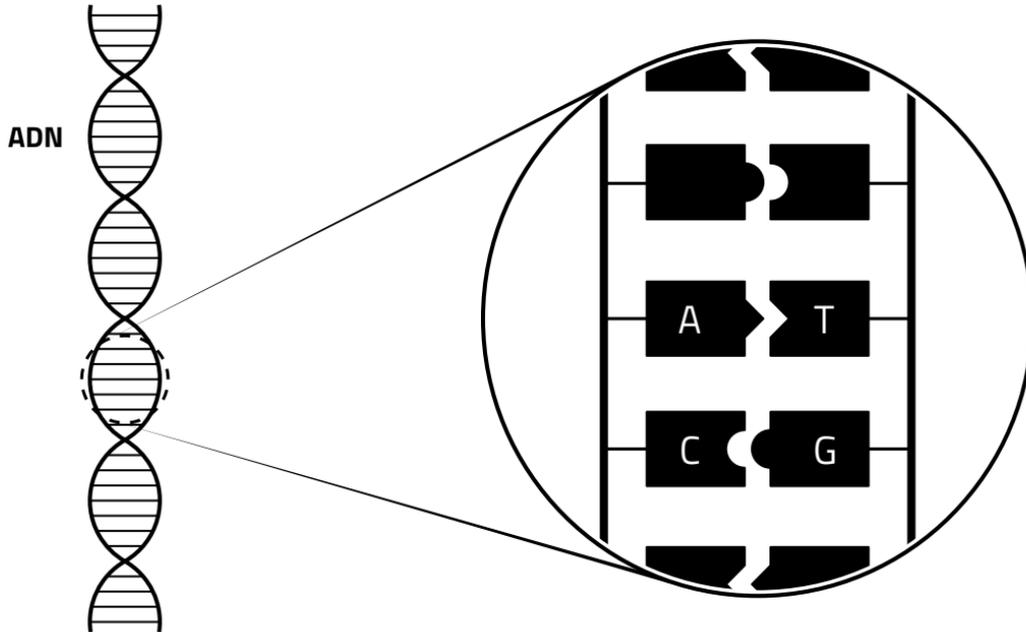
**≈60% de nuestra masa
es agua** (dentro y fuera
de las células)

*(agua= H₂O)

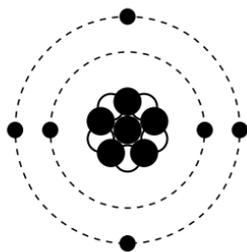
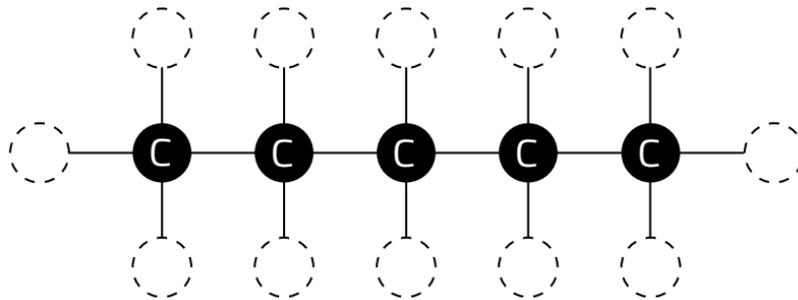
Lo realmente importante es cómo se organizan los átomos en diferentes sistemas estructurales hasta formar un organismo. Existen unos 200 tipos de células humanas y su vida media es de unos 10 años.
Los organismos reciclamos continuamente nuestros componentes.



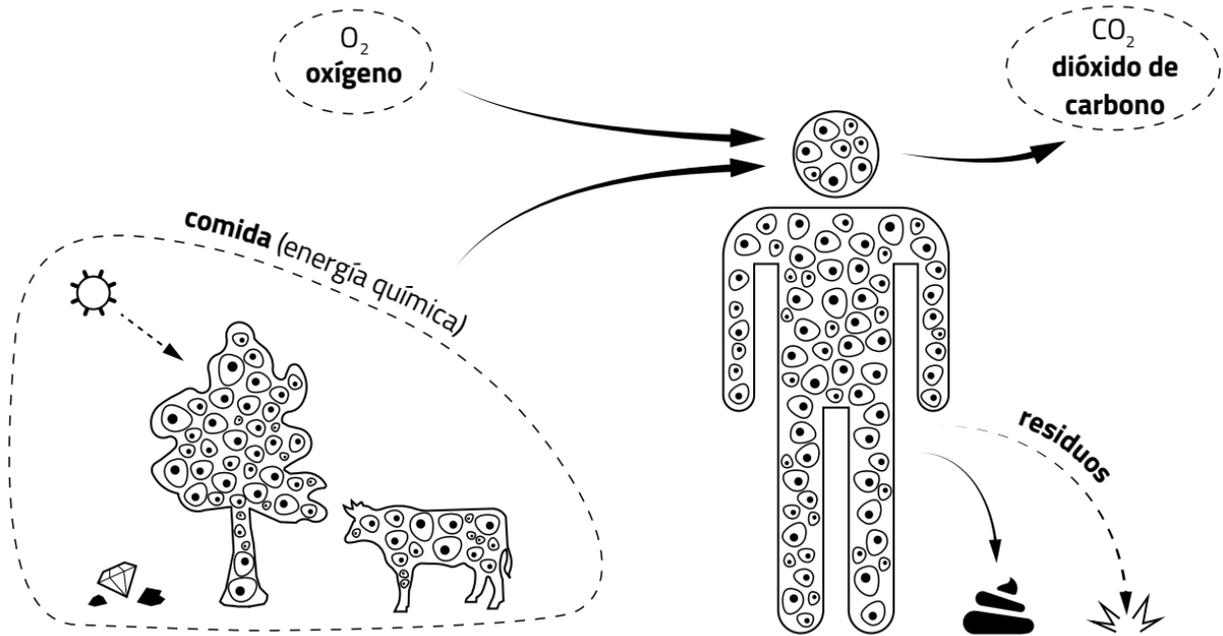
La información de cómo se construye un organismo es única para cada individuo y está codificada en los genes, en el ADN. Cada célula del organismo contiene esta información en su núcleo. El lenguaje de la toda la vida en la Tierra se basa en un “alfabeto” de tan solo cuatro “letras”: A (adenina), T (timina), C (citosina) y G (guanina).



El carbono es la base química estructural de toda la vida sobre la Tierra. Es uno de los elementos más abundantes del cosmos y con diferencia el más activo químicamente de todos. Con cada uno de sus cuatro electrones más externos cada átomo de carbono tiene la capacidad de formar enlaces con otros átomos diferentes y otros átomos de carbono, formando largas cadenas.

átomo de carbono**molécula con estructura central de carbono**

¿Cómo funciona un ser humano? Las células del cuerpo consiguen energía "oxigenando comida". Por eso ingerimos alimentos y respiramos, porque cada célula de nuestro cuerpo necesita comer alimento y respirar oxígeno. Gracias a los sistemas internos del organismo, el oxígeno y la comida llegan a las células y los desechos son expulsados.

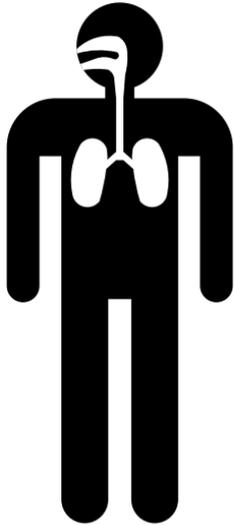


Cuanto más complejo es un ser multicelular, más complejos son sus órganos y sus sistemas internos. El cuerpo humano es como una enorme ciudad de células con piernas...

Vida
262

Sistemas: nervioso, muscular, excretor, linfático...

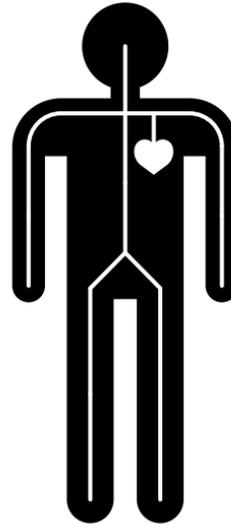
respiratorio



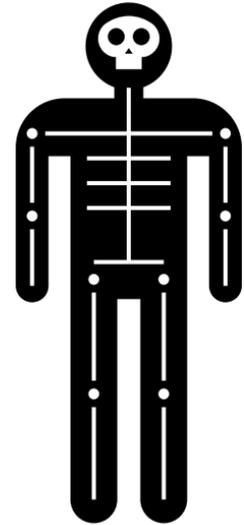
digestivo



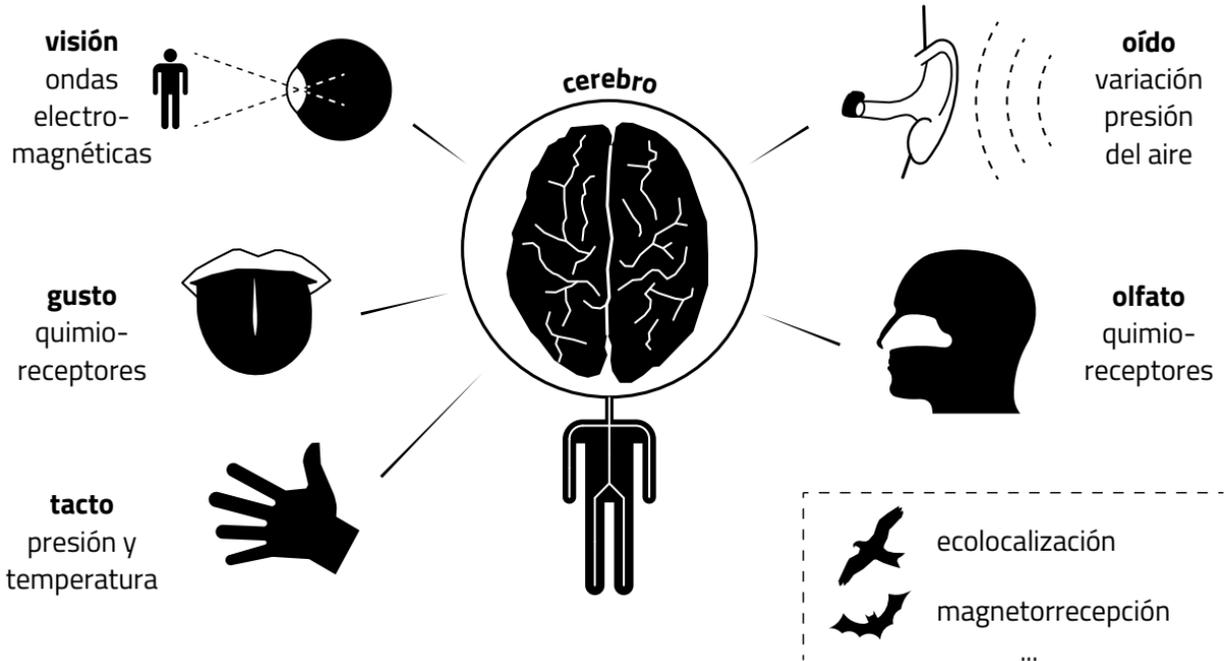
circulatorio



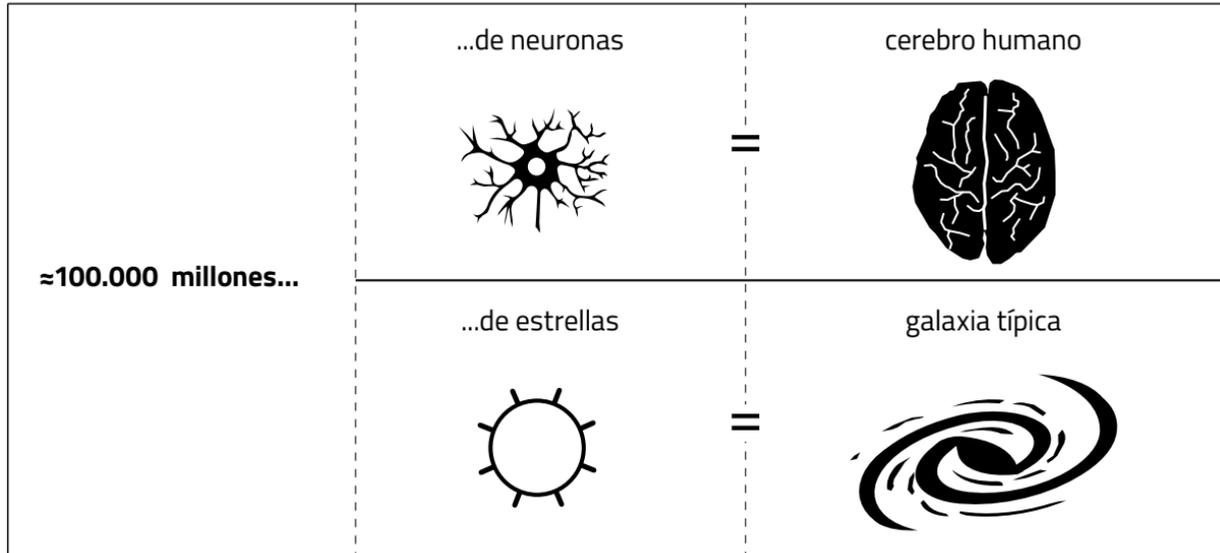
óseo



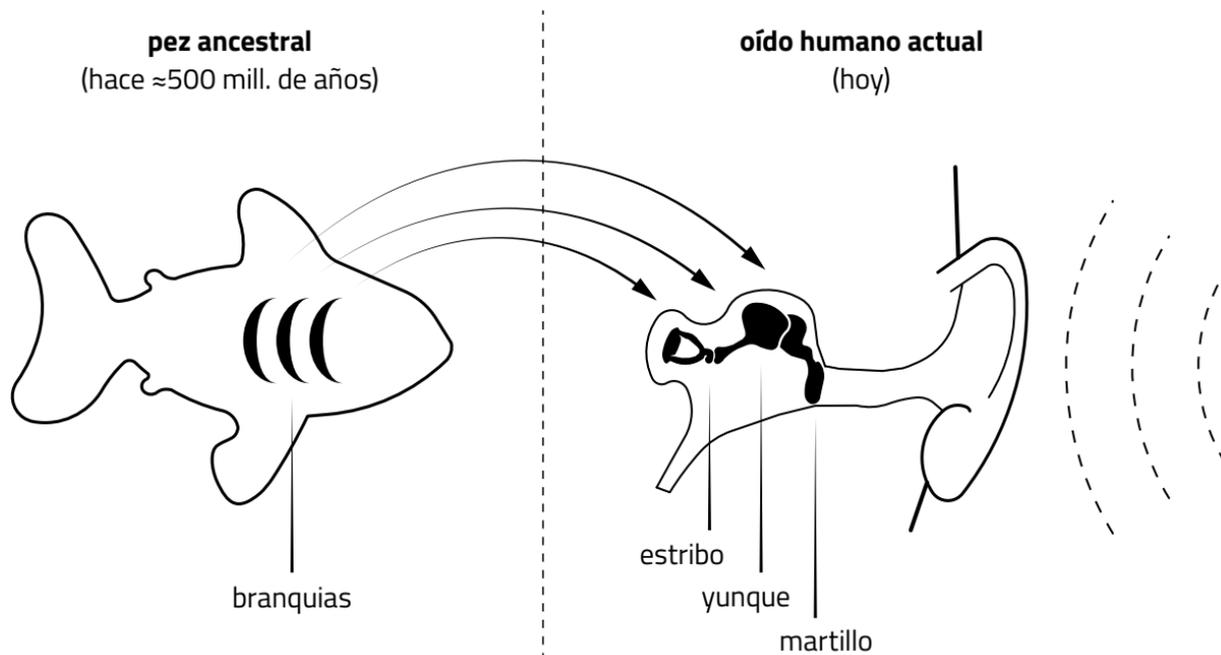
Los seres multicelulares han desarrollado sensores específicos para recoger información del entorno, que transmiten al cerebro para su análisis. El cerebro es enormemente complejo: con los datos de los sentidos crea un modelo virtual de la realidad. Tu realidad.



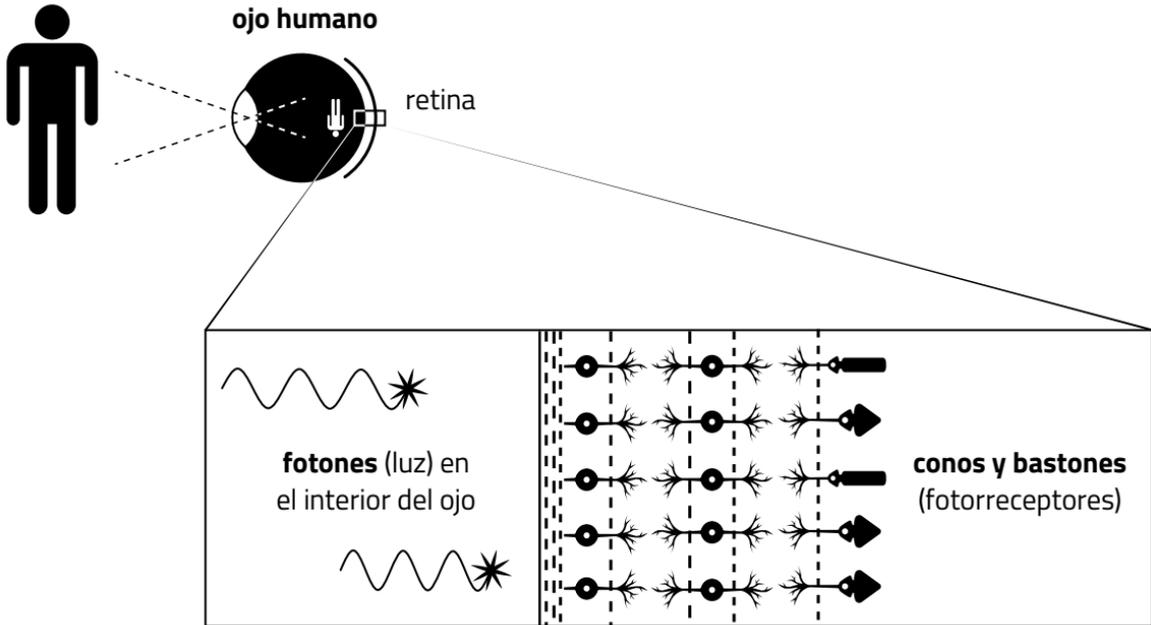
El cerebro humano está formado por unos 100.000 millones de células del tipo neurona. ¡Tenemos tantas neuronas como estrellas hay en una galaxia similar a la Vía Láctea! El cerebro procesa una enorme cantidad de información, tomando decisiones de forma automática e inconsciente, incluido el funcionamiento de los órganos internos. Las neuronas son uno de los tipos de células más longevas del cuerpo. Se piensa que mayoritariamente tienen la misma edad que el propio individuo.



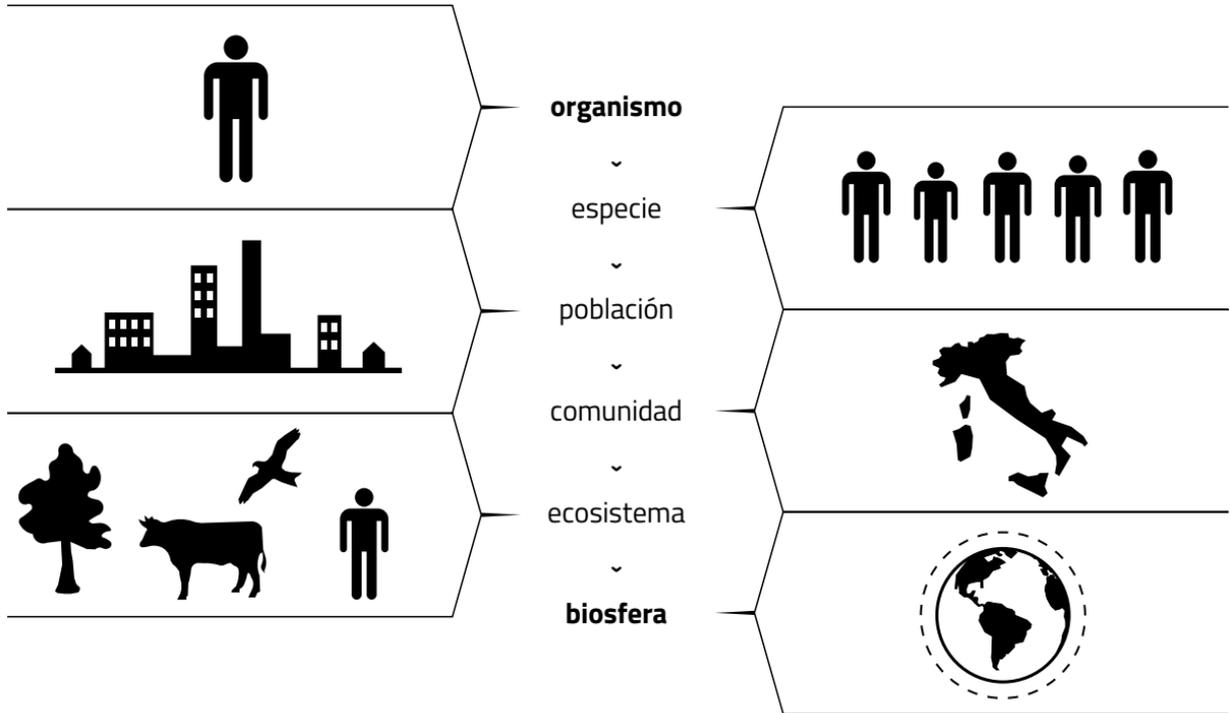
La evolución de la vida sobre la Tierra ha dejado en nosotros la huella de una historia de supervivencia, de cooperación y de utilización de lo preexistente. Por ejemplo, las branquias de nuestros ancestros acuáticos son los huesos martillo, yunque y estribo del actual oído humano.



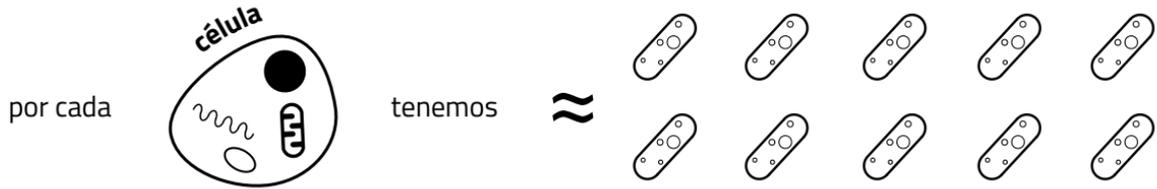
Otro ejemplo es el ojo humano. Lejos de ser un órgano perfecto o prediseñado, se ha tenido que adaptar a la visión fuera del agua y parece construido al revés: la luz debe atravesar múltiples capas hasta alcanzar los conos y los bastones.



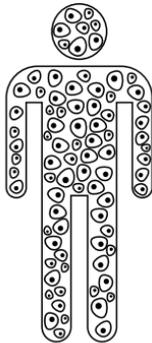
Cualquier organismo, como un ser humano o una hormiga, forma parte de estructuras más grandes, que se entrelazan con vínculos vitales a nivel planetario. No estamos solos en la Tierra, ni somos independientes.



Tampoco estamos solos en nuestro propio cuerpo.
¡Se estima que por cada célula humana tenemos de 1 a 10 bacterias!
Especialmente en el tracto digestivo y en la piel.
Muchas de ellas son esenciales para nuestra vida.



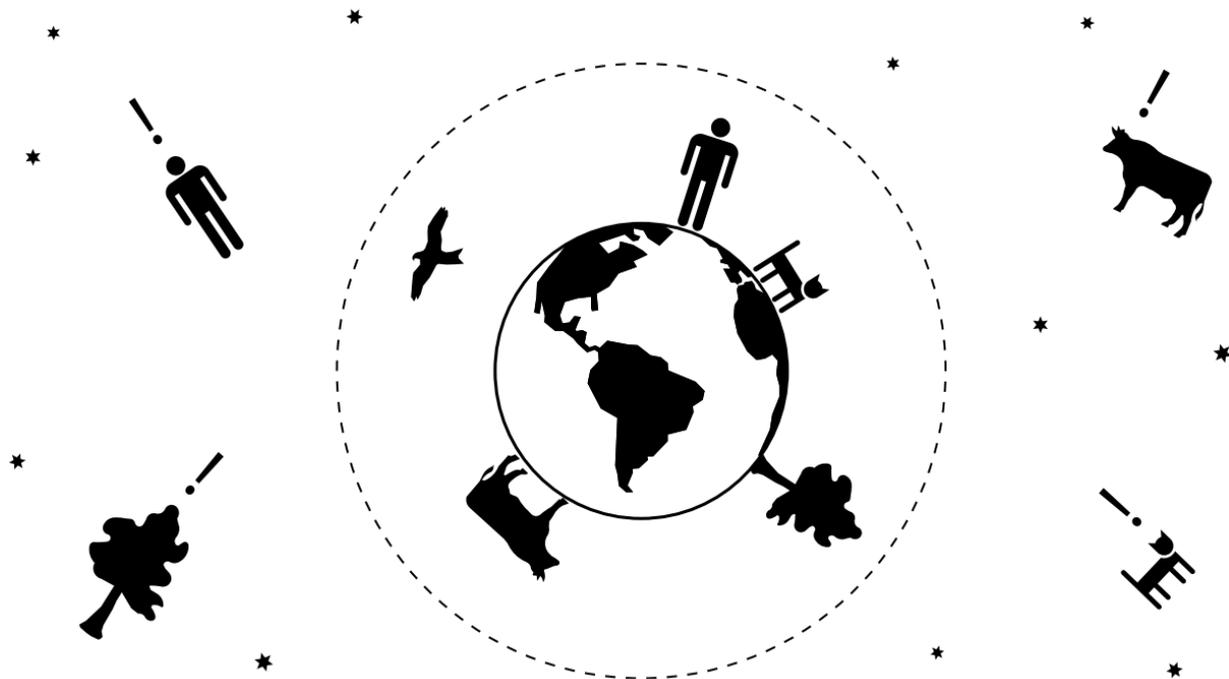
≈30 mill. de millones
de **células**



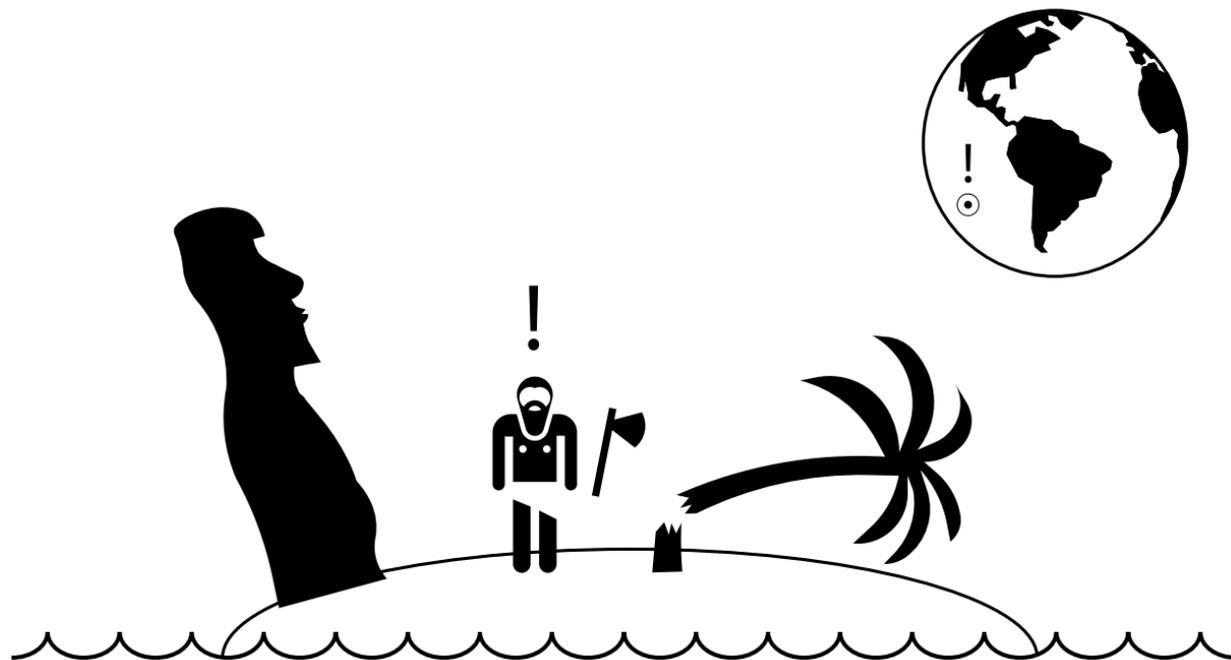
>30 mill. de millones
de **bacterias**



La biodiversidad es la clave de la vida. La combinación de múltiples formas de vida y sus interacciones con el resto del entorno fundamentan el sustento y la evolución de la vida sobre el planeta. Una persona, un gato o un árbol, no tienen ningún futuro aislados en el espacio.

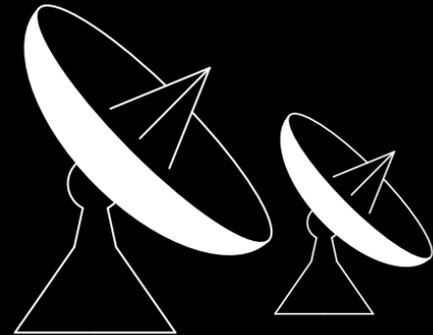


Quizás el mejor ejemplo de las consecuencias de ignorar la biodiversidad sea la isla de Pascua. Aislada del mundo en medio del océano Pacífico, sus nativos tuvieron una sobrepoblación que les llevó a acabar con todos los recursos naturales (palmeras, animales...) y extinguirse casi completamente en el siglo XVIII. Un modelo no sostenible.

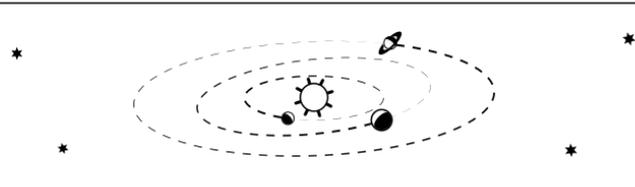


Capítulo 17

Futuro



De una forma muy simplificada, podemos decir que estamos todavía en la transición entre una civilización de "tipo 0" a una de "tipo I" en la escala de Kardashov. Actualmente usamos los recursos naturales planetarios de forma no sostenible: en un año consumimos más recursos de los que la Tierra produce. A bordo de la Tierra los riesgos más relevantes son las amenazas naturales y nosotros mismos.

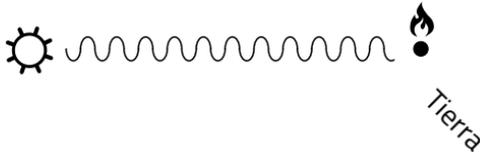
hipotéticos tipos de civilizaciones		
	tipo I	planetaria (civilización global)
	tipo II	estelar (sistema planetario)
	tipo III	galáctica (varios sistemas planetarios)

¿Durante cuánto tiempo será habitable la Tierra?

Sin contar glaciaciones, catástrofes naturales o humanas y basándose en la evolución estelar de otras estrellas, se estima que la Tierra será habitable unos 1.400 millones de años más, hasta que el aumento de luminosidad del Sol abrase la Tierra. Actualmente el Sol está a mitad de su vida. En unos 5.000 millones de años crecerá hasta casi la órbita de la Tierra, devorando lo que quede de ella.

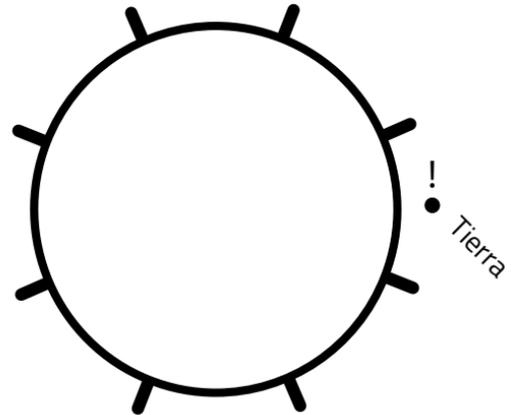
en ≈1.400 mill. de años

 ≈6 años galácticos



en ≈5.000 mill. de años

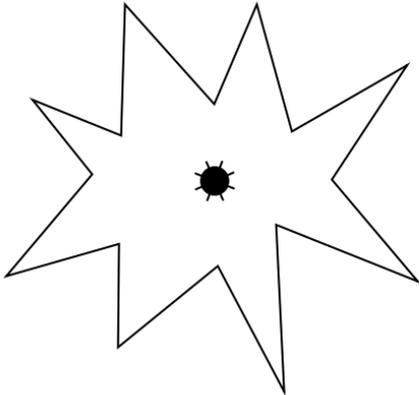
 ≈21 años galácticos



Se estima que en unos 7.000 millones de años el Sol “morirá”, expulsando su materia al espacio y dejando atrás tan solo una pequeña estrella enana blanca. Con el tiempo esta pequeña estrella se apagará completamente. Poco a poco todas las estrellas del universo seguirán inexorablemente el mismo destino, hasta quizás apagarse la última estrella. Según algunas estimaciones podría ocurrir en unos 100 millones de millones de años...

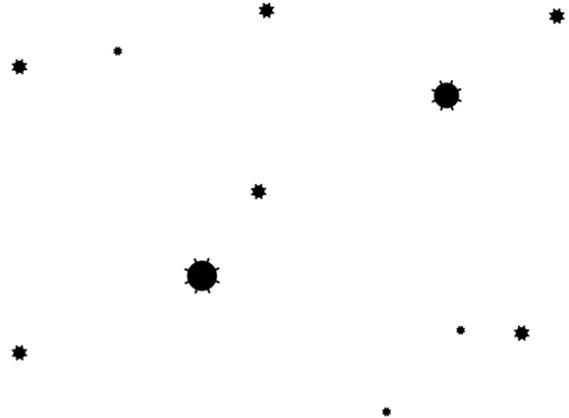
en ≈ 7.000 mill. de años

 ≈ 29 años galácticos



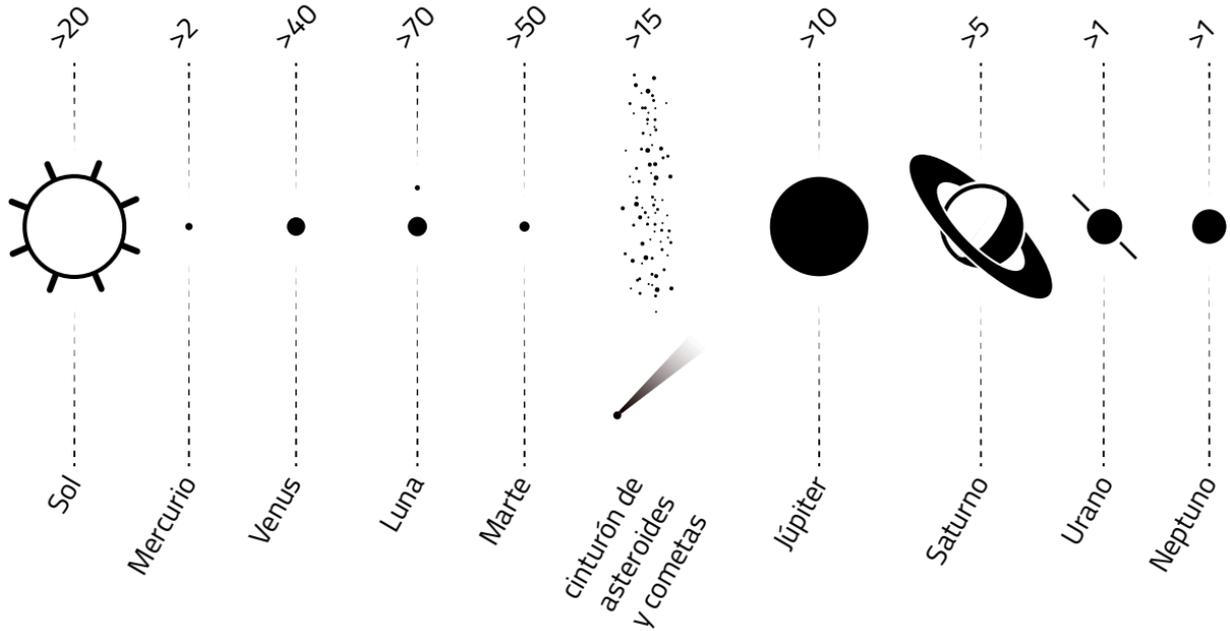
en ≈ 100 mill. de mill. de años

 ≈ 400.000 años galácticos



¿Estamos solos en el Sistema Solar? Este es un esquema con el número aproximado de misiones que se han hecho en él. Hoy lo conocemos con bastante detalle gracias sobre todo a sondas espaciales no tripuladas.

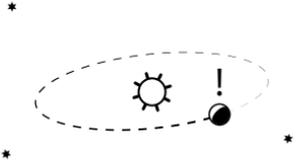
misiones en el Sistema Solar



En el Sistema Solar parece claro que no hay vida inteligente.
 Pero sí hay lugares incluso alejados del Sol, fuera de la denominada
 "zona habitable", que podrían albergar microorganismos gracias al calor
 interno del planeta. Estos son los candidatos con más posibilidades:

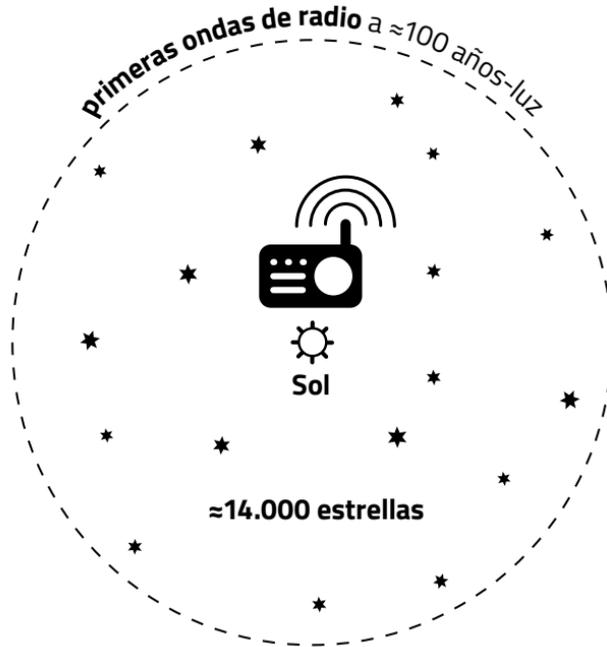
planeta	 Marte	tuvo las condiciones para albergar vida
lunas de Júpiter	 Io	 volcanes
lunas de Saturno	<ul style="list-style-type: none"> • Enceladus 	  mundo helado
	<ul style="list-style-type: none"> • Titán 	  metano

No se sabe cómo de frecuente es la vida en el universo, pero se considera que a nivel microscópico puede que sea común. Dado que la vida en la Tierra apareció al “poco” tiempo de su formación, la abundancia de agua y moléculas complejas en el universo y la enorme cantidad de estrellas y sistemas planetarios que existen, la vida parece, al menos, probable.

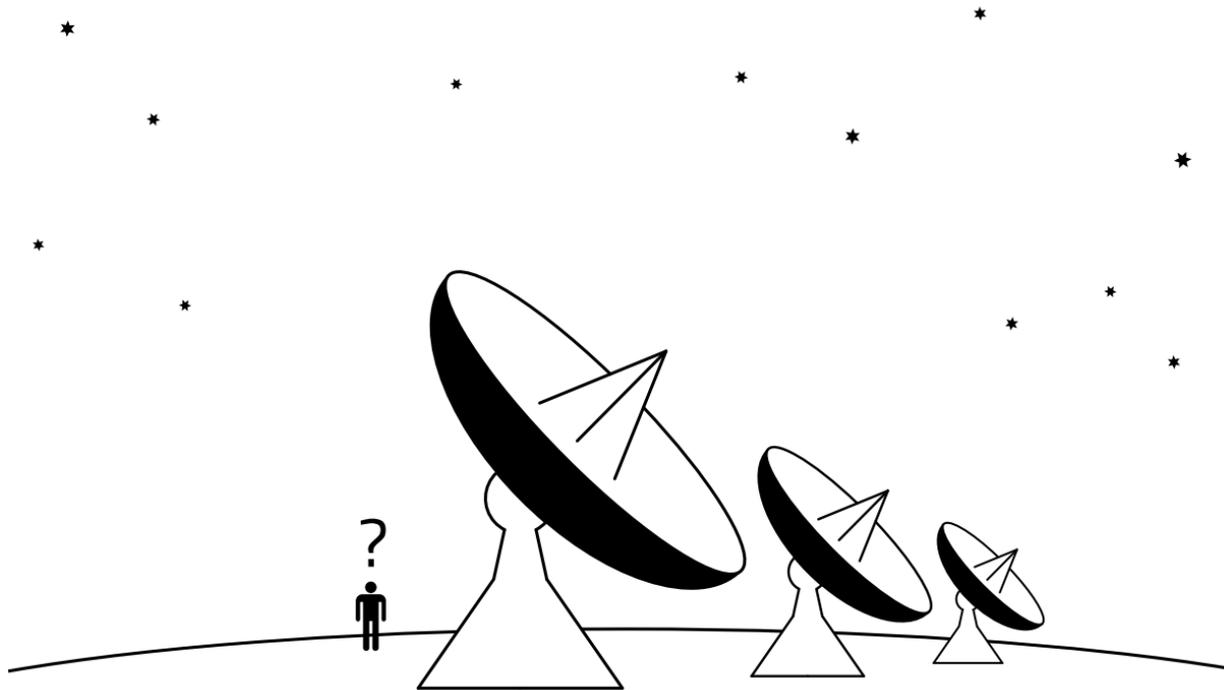
 <p>Un diagrama que muestra una estrella representada por un círculo con rayos, orbitada por un planeta representado por un círculo sólido. Una línea punteada elíptica indica la órbita. Hay cuatro estrellas pequeñas (puntos) distribuidas en los cuadrantes del sistema.</p>	<p>origen de la vida en la Tierra tan solo ≈ 700 mill. de años después de su formación (≈ 3 años galácticos)</p>
 <p>Una representación artística de la Vía Láctea, mostrando una estructura espiral con un núcleo central denso.</p>	<p>Vía Láctea >200.000 mill. de estrellas ≈ 20.000 mill. de planetas parecidos a la Tierra?</p>
 <p>Una colección de varias galaxias espirales de diferentes tamaños y orientaciones, distribuidas aleatoriamente.</p>	<p>universo observable >200.000 mill. de grandes galaxias</p>

¿Cómo de frecuente es la vida inteligente en el universo?

Desde la invención de la radio, a principios del siglo XX, las ondas emitidas han alcanzado unos 100 años-luz de distancia. Aunque con una potencia muy débil, se estima que deben haber llegado a unas 14.000 estrellas... cada una con sus planetas.



De existir un primer contacto con otro tipo de civilización, parece lógico pensar que debería producirse mediante ondas de radio. Se han buscado señales de vida extraterrestre en nuestra galaxia desde los años 60, pero de momento no se ha encontrado nada.



¿Por qué este silencio cósmico? Quizás la técnica sea inadecuada, quizás la evolución hasta llegar a vida inteligente sea altamente improbable, quizás las catástrofes naturales sean demasiado frecuentes, quizás el período antes de que una civilización se autodestruya sea demasiado corto... la Tierra es el único ejemplo que tenemos de vida inteligente. En 1961 Drake enumeró algunos de los factores que hay que tener en cuenta para calcular las probabilidades de un contacto por radio con otra civilización de nuestra galaxia:



¿Cuántas
estrellas
ahora...



...tienen
planetas...



...que puedan
soportar
la vida...



...y tienen
vida...



...y es una
civilización
inteligente...

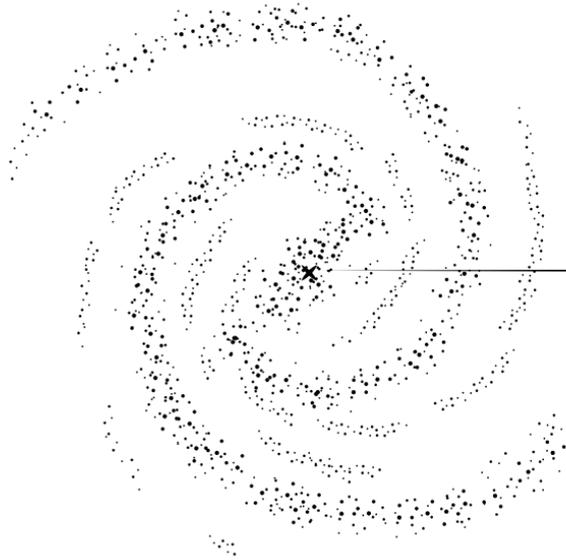


...con
tecnología
avanzada...



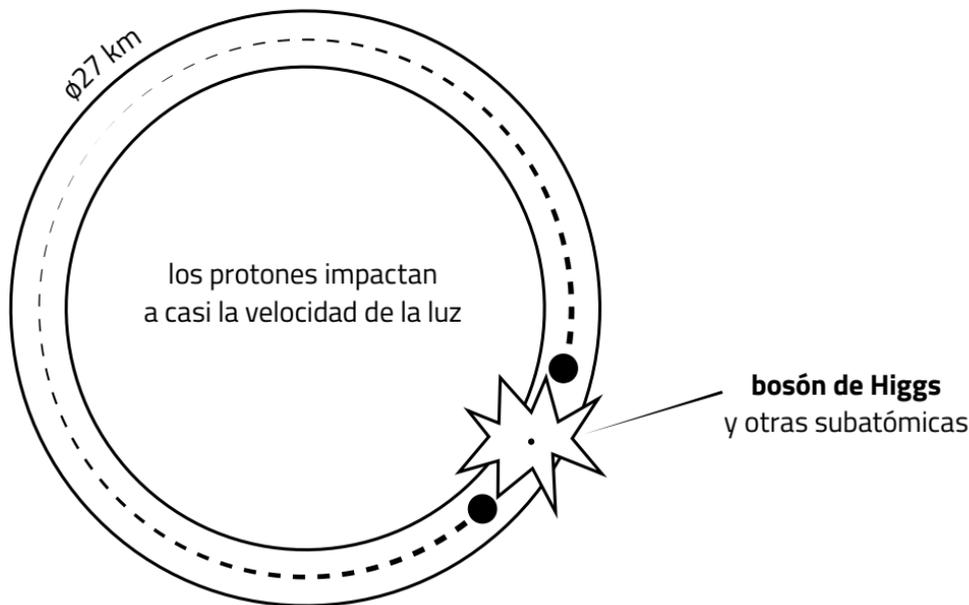
...y durante
cuánto
tiempo?

¿Qué es un “agujero negro”? Es un objeto astronómico con una enorme cantidad de masa concentrada en poco espacio. Tan denso y con un campo gravitatorio tan potente que ni siquiera la luz puede escapar de él. Como parece suceder en muchas de las grandes galaxias espirales, la Vía Láctea tiene en su centro galáctico un agujero negro supermasivo. Nuestra galaxia probablemente contiene varios millones de agujeros negros, algunos a tan solo unos miles de años-luz de la Tierra.



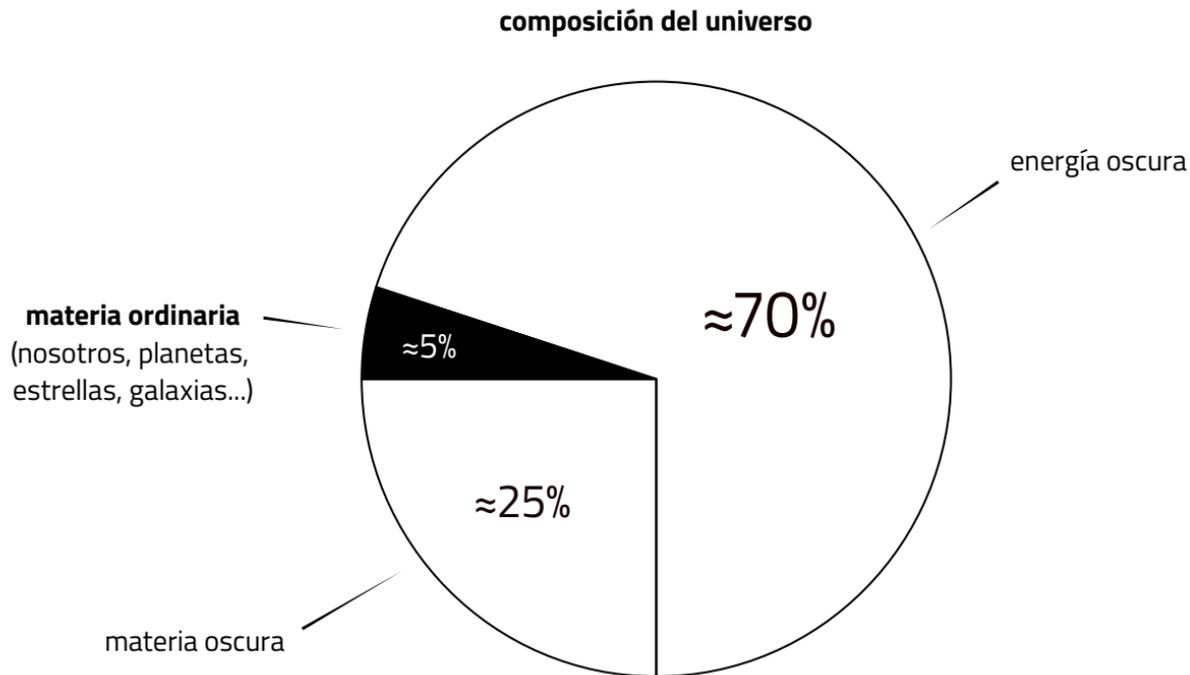
agujero negro
supermasivo
≈4 mill. de masas solares

¿Qué es el bosón de Higgs? Es un tipo de partícula elemental que parece tener un papel fundamental en el mecanismo por el que se origina la masa de las partículas elementales. En 2012 se detectó en el acelerador de partículas del C.E.R.N. (Suiza) por primera vez. El experimento consiste en hacer chocar frontalmente a casi la velocidad de la luz dos protones y tomar fotografías de los "fragmentos" resultantes de la colisión.



Realmente sabemos todavía muy poco del universo.

Según las observaciones parece que la cantidad de "materia ordinaria" representa una parte muy pequeña del universo que nos rodea.

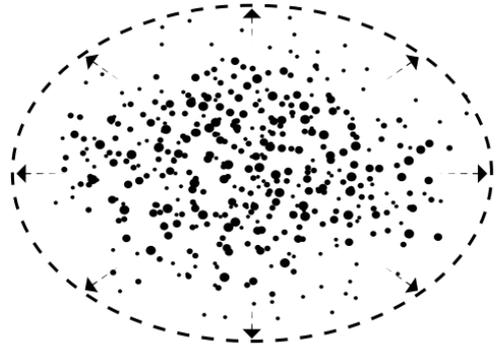


¿De qué están formadas la “materia oscura” y la “energía oscura”?
Nadie lo sabe, no se han visto ni detectado directamente y por eso se denominan “oscuras”, pero su presencia se hace necesaria para dar explicación a las observaciones:

la **materia oscura**, materia que genera gravedad pero que no “vemos”, daría explicación al veloz movimiento de las estrellas más lejanas al centro galáctico



la **energía oscura**, una especie de fuerza “anti-gravitatoria” de repulsión, daría explicación a la expansión acelerada del universo

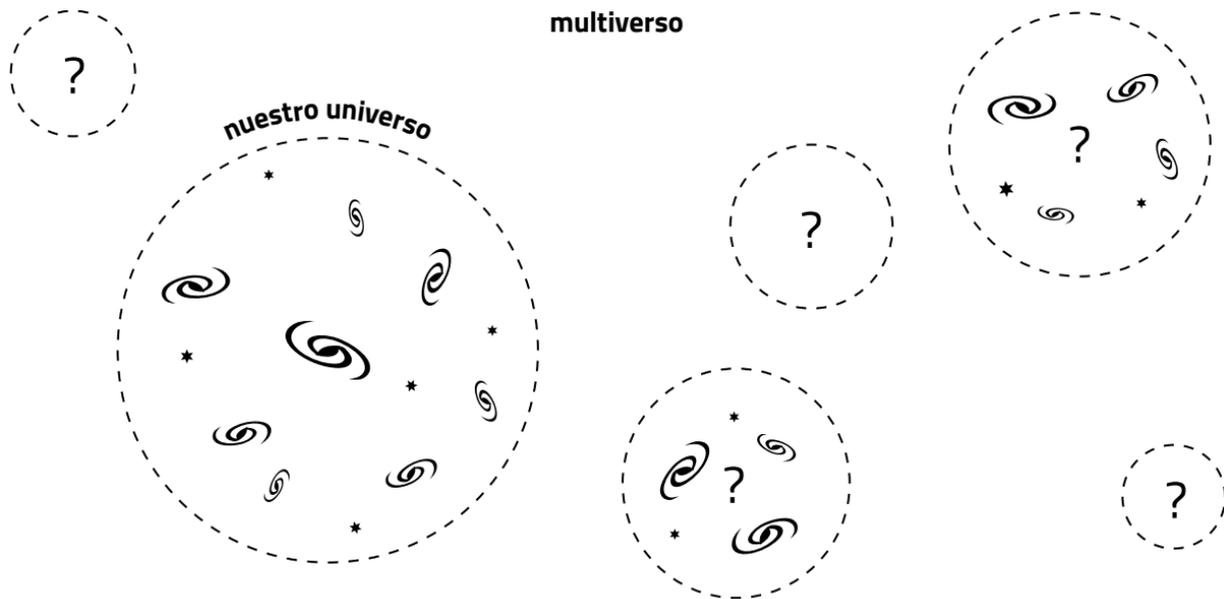


¿Qué es la antimateria? A cada una de las partículas de la naturaleza le corresponde una antipartícula, que posee la misma masa y generalmente una carga eléctrica opuesta. Su existencia se detectó experimentalmente en 1932 con el descubrimiento del positrón, la antipartícula del electrón. Los positrones se utilizan a diario en el diagnóstico médico mediante una técnica conocida como Tomografía por Emisión de Positrones (PET).

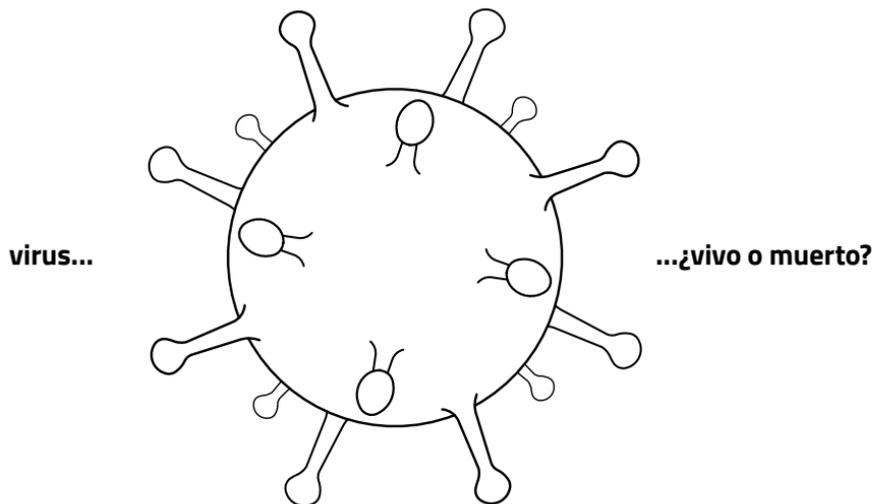
		materia (fermiones)		
quarks		u	c	t
		d	s	b
leptones		ν_e	ν_μ	ν_τ
		e^- electrón	μ	τ

		antimateria (antifermiones)		
antiquarks		\bar{u}	\bar{c}	\bar{t}
		\bar{d}	\bar{s}	\bar{b}
antileptones		$\bar{\nu}_e$	$\bar{\nu}_\mu$	$\bar{\nu}_\tau$
		e^+ positrón	$\bar{\mu}$	$\bar{\tau}$

Más raro todavía: se plantea que nuestro universo podría ser simplemente uno de una infinidad de universos posibles. Como burbujas de jabón flotando, cada uno con diferentes valores de las constantes universales, dimensiones, leyes de la naturaleza... y por lo tanto completamente diferentes resultados.



¿Qué es la vida? La vida sólo puede describirse desde diferentes puntos de vista, y no parece que tenga una finalidad. Los límites entre lo vivo y lo inerte son difusos. Los virus están en ese límite: tienen genes y evolucionan pero no tienen un metabolismo propio. La vida existe porque puede existir. Porque se dan las condiciones en este universo.

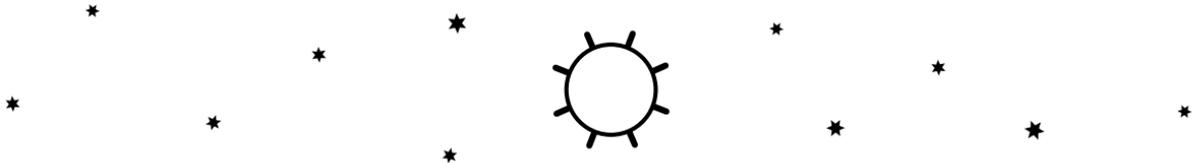


Sea lo que sea la vida, no puede saltarse las leyes de la termodinámica. El universo tiende a la entropía: al desorden, a un equilibrio entre todas las temperaturas y presiones, a la uniformidad, a la disipación de la energía... Un día se apagará la última estrella y mucho después se piensa que el universo se convertirá en un lugar frío y estéril.

Los sistemas vivos logran un incremento local de orden a expensas de un incremento de la entropía total del universo... Somos parte de la vida en la Tierra, una especie de proceso geológico de autorreplicación ininterrumpido desde su origen.

Según Lynn Margulis: "La vida es un sistema complejo que surgirá bajo condiciones iniciales favorables, y que localmente acelerará la conversión energética entre, en nuestro caso, el calor del Sol y el frío espacio."

Así que no está claro si usamos la energía para vivir,
o si vivimos para usar la energía...



Algo que seguro somos, en palabras de Carl Sagan:
"Somos una forma, para el Cosmos, de conocerse a sí mismo."

Ser cada vez más conscientes de lo que somos y la realidad que habitamos es algo que realmente nos diferencia de lo inerte. Somos parte de la evolución hacia el conocimiento. La curiosidad nos mueve.

La declaración de Cambridge sobre la Conciencia, de 2012, dice:
"Decidimos llegar a un consenso y hacer una declaración para el público que no es científico. Es obvio para todos en este salón que los animales tienen conciencia, pero no es obvio para el resto del mundo. No es algo obvio para la sociedad."

Seamos lo que seamos, vista la inmensidad del cosmos, somos inmensamente afortunados de estar vivos y cualquier forma de vida es infinitamente valiosa.



Prontuario cósmico

El pasado... ¿Cuánto tiempo ha pasado desde?	292
El futuro... ¿Cuánto tiempo falta para?	293
Tamaños	294
Distancias a la Tierra	295
Tamaños aparentes desde la Tierra	296
Velocidades	297
Movimientos vistos desde la Tierra	298
Fechas destacadas	300

El pasado... ¿Cuánto tiempo ha pasado desde?

(1 año galáctico \approx 240 mill. de años)

evento	millones de años	 años galácticos
 Big Bang	\approx 13.800	\approx 58
 orígenes de la Vía Láctea	\approx 13.300	\approx 56
 formación del Sistema Solar	\approx 4.500	\approx 19
 origen de la vida	\approx 3.800	\approx 16
 primeras procariontas	\approx 3.500	\approx 15
 primeras células eucariotas	\approx 1.800	\approx 8
 primeros seres multicelulares	\approx 1.000	\approx 4
 seres multicelulares complejos	\approx 500	\approx 2
 extinción de los dinosaurios	\approx 65	\approx 0'3
 primeros homíninos	\approx 7	\approx 0'03
 homo sapiens	\approx 0'2	\approx 0'0008
 civilización	\approx 0'01	\approx 0'00005
 hoy	0	0

El futuro... ¿Cuánto tiempo falta para?

(1 año galáctico \approx 240 mill. de años)

evento	millones de años	 años galácticos
 la Tierra se hace inhabitable por el incremento de luminosidad del Sol	\approx 1.400	\approx 6
 Vía Láctea y Andrómeda se encuentran	\approx 4.000	\approx 17
 el Sol crece como roja supergigante hasta casi la órbita de la Tierra	\approx 5.000	\approx 21
 el Sol muere expulsando materia al espacio y dejando una enana blanca	\approx 7.000	\approx 29
 se apaga la última estrella del universo	\approx 100 mill.	\approx 400.000

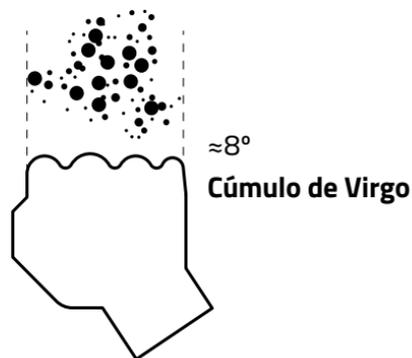
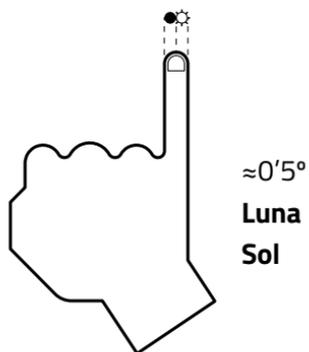
	monte Everest	≈8 km de altura
	fosa de las Marianas	≈11 km de profundidad
	Estación Espacial Internacional	≈400 km de altura
	telescopio espacial Hubble	≈600 km de altura
	∅ Tierra	≈12.700 km
	∅ Luna	≈1/4 ∅Tierra
	∅ Mercurio	≈1/3 ∅Tierra
	∅ Marte	≈1/2 ∅Tierra
	∅ Venus	≈1 ∅Tierra
	∅ Saturno	≈9 ∅Tierra
	∅ Júpiter	≈11 ∅Tierra
	∅ Sol	≈110 ∅Tierra / ≈400 ∅Luna
	Vía Láctea	contiene >200.000 mill. de estrellas
	universo observable	contiene >200.000 mill. de galaxias

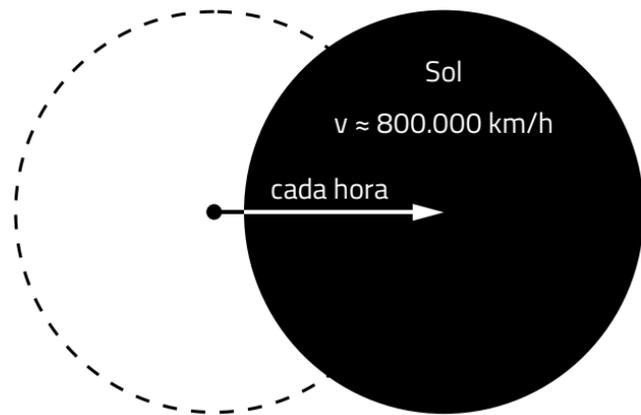
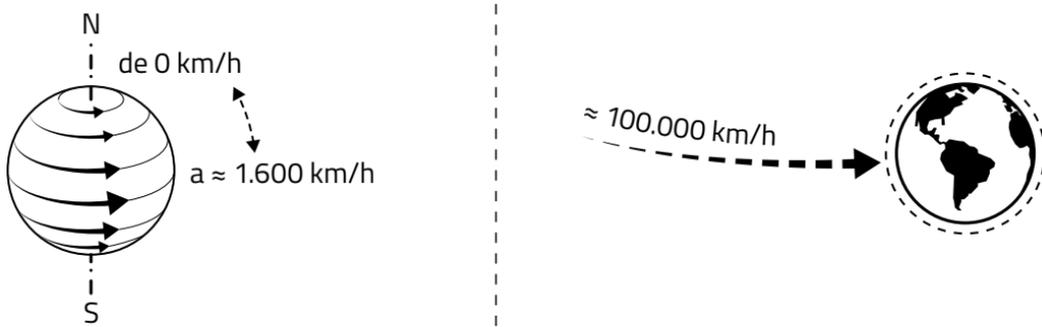
Distancias a la Tierra

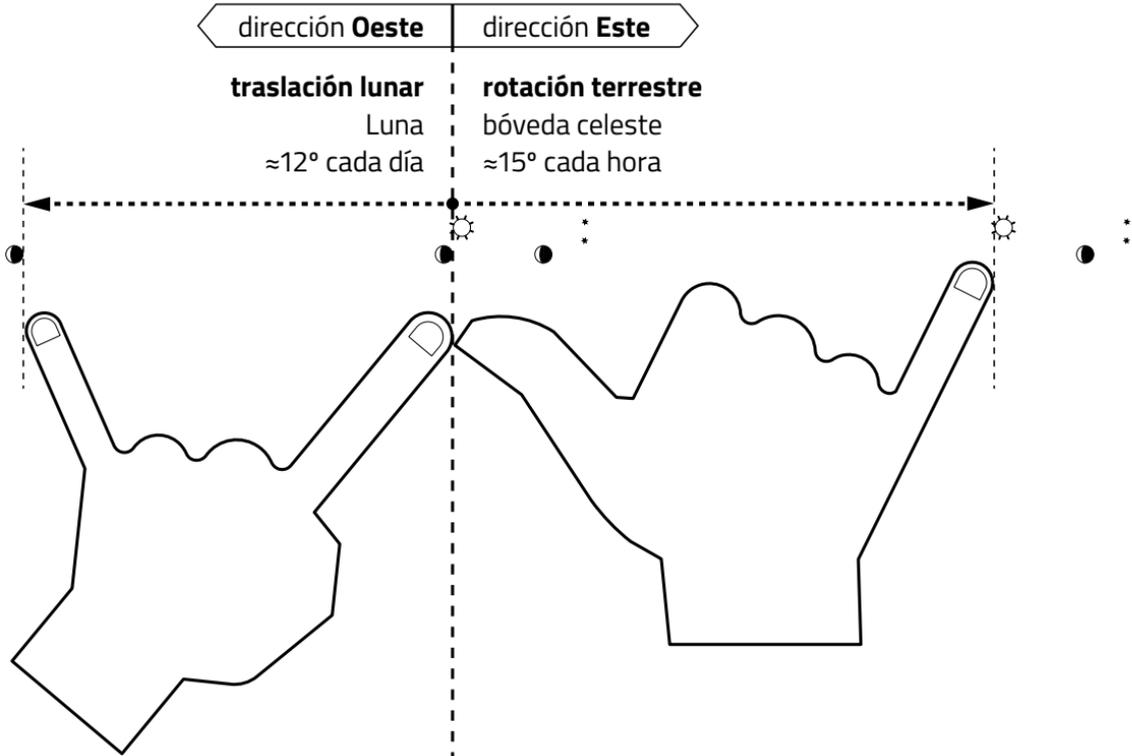
(velocidad de la luz ≈ 300.000 km/s)

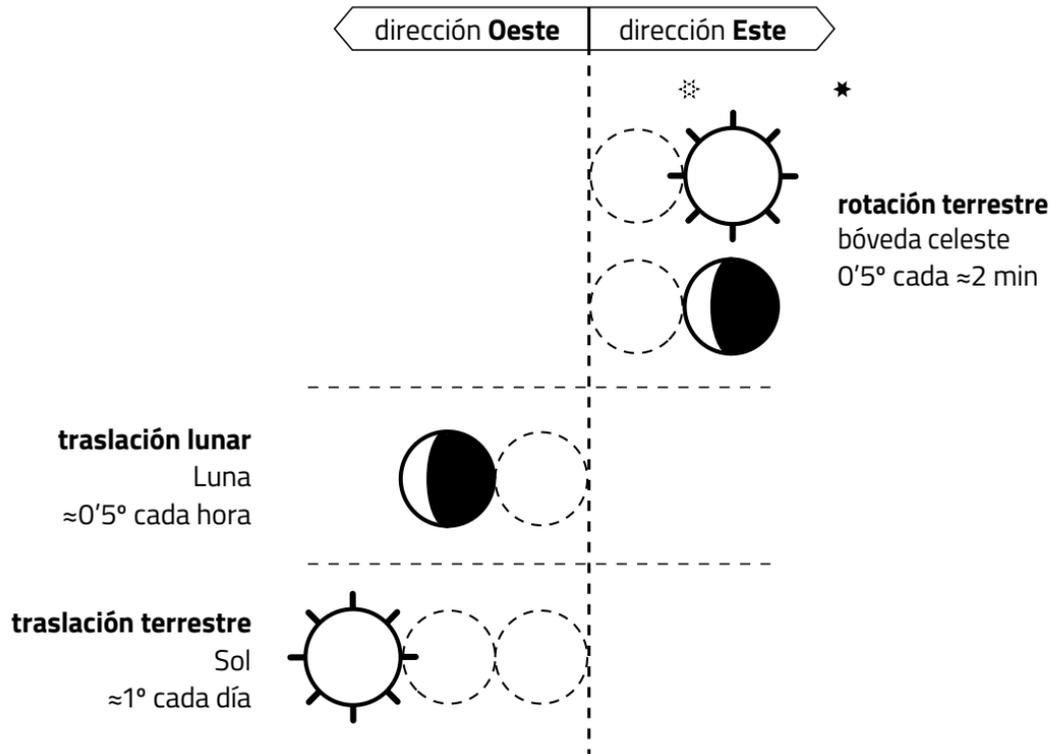
	Luna	$\approx 1'3$ segundos-luz / caben $\varnothing 110$ Lunas
	Sol	≈ 8 minutos-luz / caben $\varnothing 110$ Soles
	Neptuno	≈ 4 horas-luz
	Próxima Centauri	$\approx 4'2$ años-luz
	estrellas del firmamento	a simple vista < 1.000 años-luz
	centro Vía Láctea	≈ 25.000 años-luz
	diámetro Vía Láctea	≈ 100.000 años-luz
	galaxia de Andrómeda	$\approx 2'5$ mill. de años-luz
	Cúmulo de Virgo	≈ 50 mill. de años-luz
	universo observable	$\varnothing \approx 100.000$ mill. de años-luz

Tamaños aparentes desde la Tierra









a.C.	s. III	Aristarco: tamaño relativo Sol-Tierra-Luna
	s. III	Eratóstenes: diámetro de la Tierra
		<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>
d.C.	1522	Magallanes-Elcano: 1ª circunnavegación a la Tierra
	1543	Copérnico: modelo geocéntrico Sistema Solar
	1609	Galileo: uso del telescopio en astronomía
	1609	Kepler: órbitas elípticas
	1672	Cassini y Richer: 1ª medición distancia a un planeta
	1676	Römer: la luz no se transmite instantáneamente
	1687	Newton: ley de la gravitación universal
	1838	Primera medición distancia a una estrella
	1913	Clasificación de estrellas diagrama H-R
	1919	La gravedad desvía la luz como predice la relatividad
	1924	Hubble mide la distancia a la galaxia de Andrómeda
	1929	Hubble mide la expansión del universo
	1995	Descubrimiento primer exoplaneta
	1998	Se mide la expansión acelerada del universo
	2012	Se detecta el bosón de Higgs

| Este proyecto ha sido un viaje compartido.

| Gracias Vittoria, por todo. Aquí hay mucho tuyo.

| A Rafa Vb, José Vb, Kalo Vicent y Enrico Esposito, auténticos artistas cósmicos con pasión. Por esos buenos ratos juntos. A mis padres, enormes consejeros. A Juanjo, Ana y Genoveva, por vuestras sugerencias. A todos los que ojeasteis el boceto y regasteis el proyecto: Keke, Rafa G., Karrie, Nacho, Bruno, Fede, Daniele, Laurent, Tania, Magdalena, Antonio, Mariella, José María, Paco, Alessandro, Monica, Letizia, Andrea, Cami, Enrique, Antonieta... y a tantos familiares y amigos. Por las noches estrelladas compartidas.

| A la Asociación Valenciana de Astronomía, especialmente a Ángel y Alejandro.

| Y cómo no, a Carl Sagan, Brian Cox, Neil Tyson deGrasse y todos los que disfrutaban compartiendo información sobre nuestro cosmos.

De noche mirando al cielo todos nos hemos preguntado...

¿Qué somos? ¿Dónde estamos? ¿De dónde venimos?

Uno de los logros más importantes y sorprendentes del ser humano ha sido descubrir que los átomos de los que estamos hechos se forjaron en las estrellas.

Somos parte del universo, y el universo está en nosotros.

Paso a paso y mediante sencillas explicaciones y dibujos, *Nuestro lugar en el cosmos. Guía ilustrada para terrícolas* expone los conceptos imprescindibles para entender nuestro lugar en el espacio, en el tiempo y en la propia naturaleza del cosmos del que somos parte.

Nuestra existencia vista desde una perspectiva cósmica.



sharethecosmos.com

