

Medi-Universo 4

Cosmos (más allá de la Tierra)

Autor:
José Luis Valbuena



Medimos el Cosmos

Medi-Universo 4

Cosmos

(más allá de la Tierra)

Parte 4

Medición del Cosmos

La serie Medi-Universo describe cómo ha evolucionado nuestra capacidad de medida a partir de una Tierra evidentemente plana y alrededor de la que todo gira, hasta escudriñar los límites del Cosmos.

Consta de cuatro partes:

- 1- Medición de la Tierra con medios terrestres*
- 2- Medición de la Tierra con satélites*
- 3- Medición de la Tierra con cuásares*
- 4- MEDICIÓN DEL COSMOS**

He invertido muchas horas, desde hace mucho tiempo y poniendo mucha ilusión.
Espero que lo disfrutes.

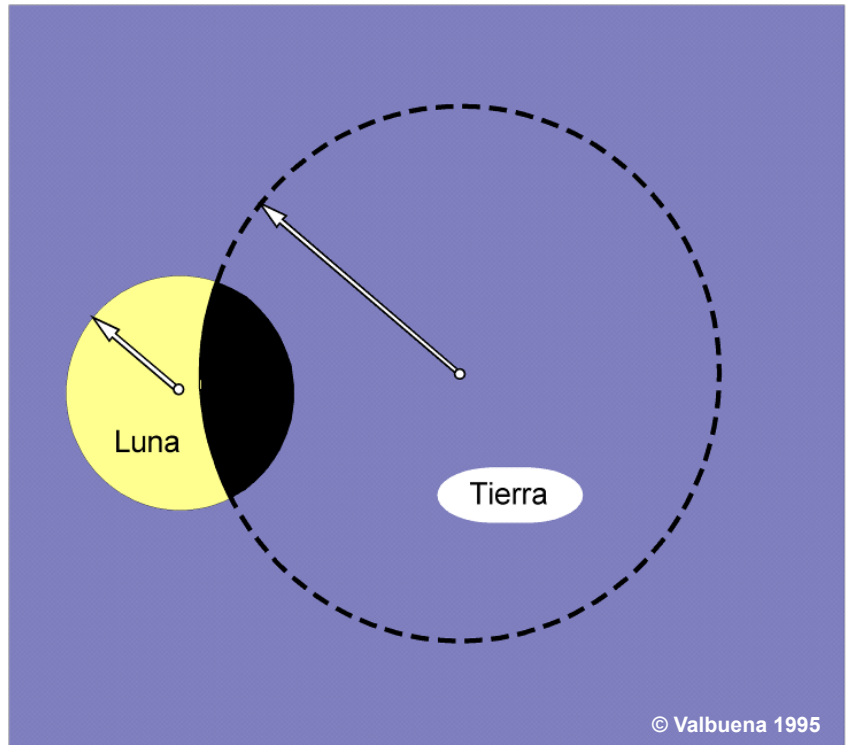
El Valbu

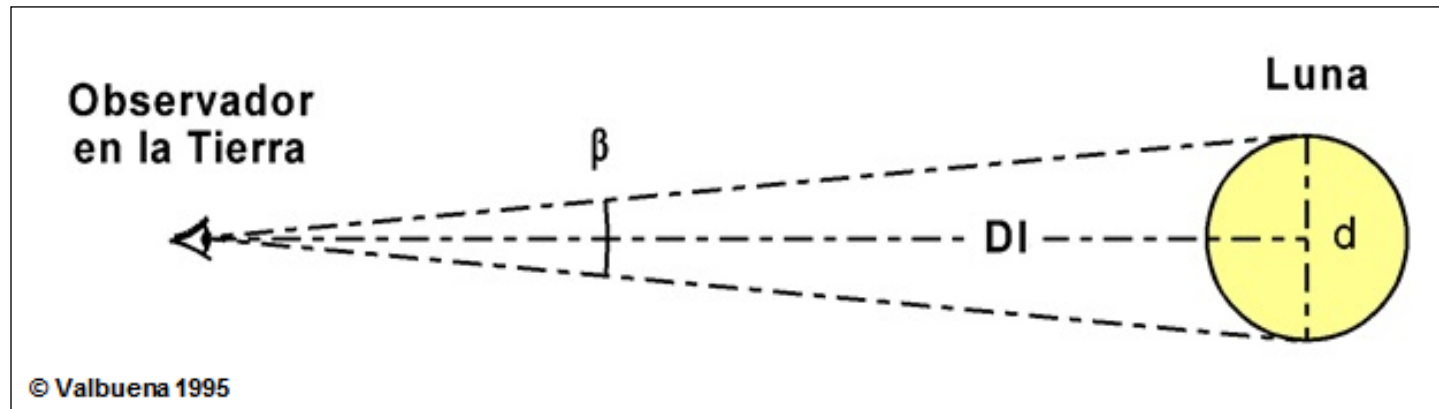
Medición del Sistema Solar



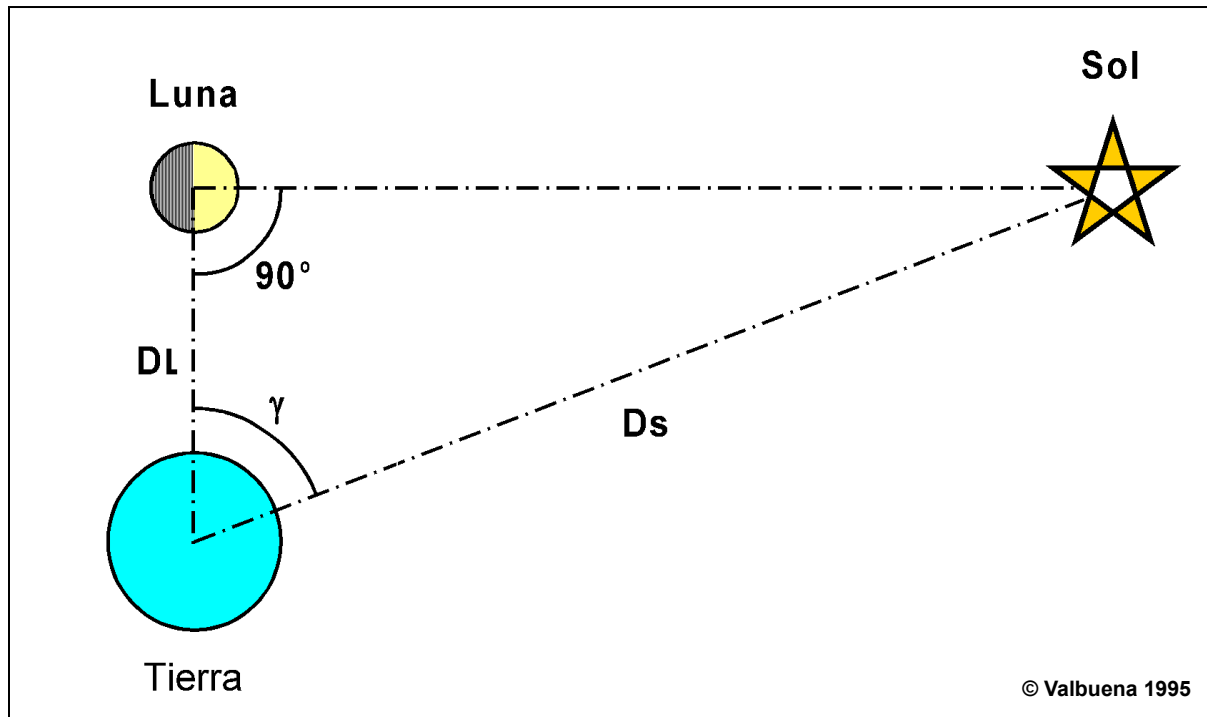
En el siglo III a.C. Aristarco de Samos, conociendo el diámetro de la Tierra establecido por Eratóstenes, hizo unos cálculos:

En un eclipse de Luna pudo medir el diámetro de esta por comparación con el de la silueta de la Tierra

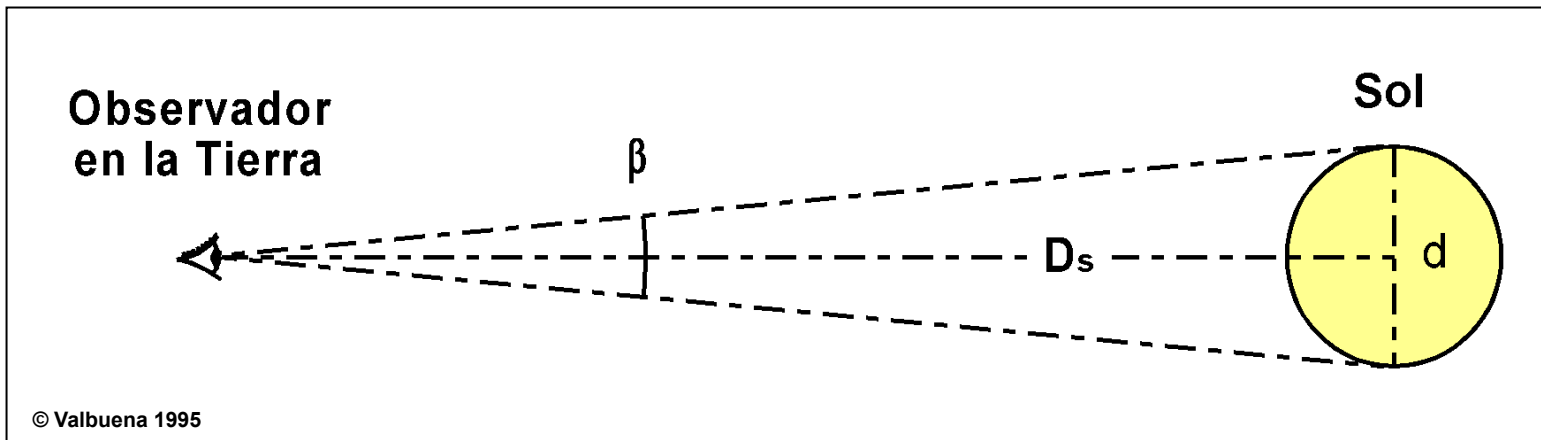




Sabiendo el diámetro d de la Luna pudo medir su distancia DI a partir del ángulo que subtiende



Cuando la Luna está en cuadratura, resolviendo un triángulo rectángulo, pudo medir la distancia **Ds** al Sol



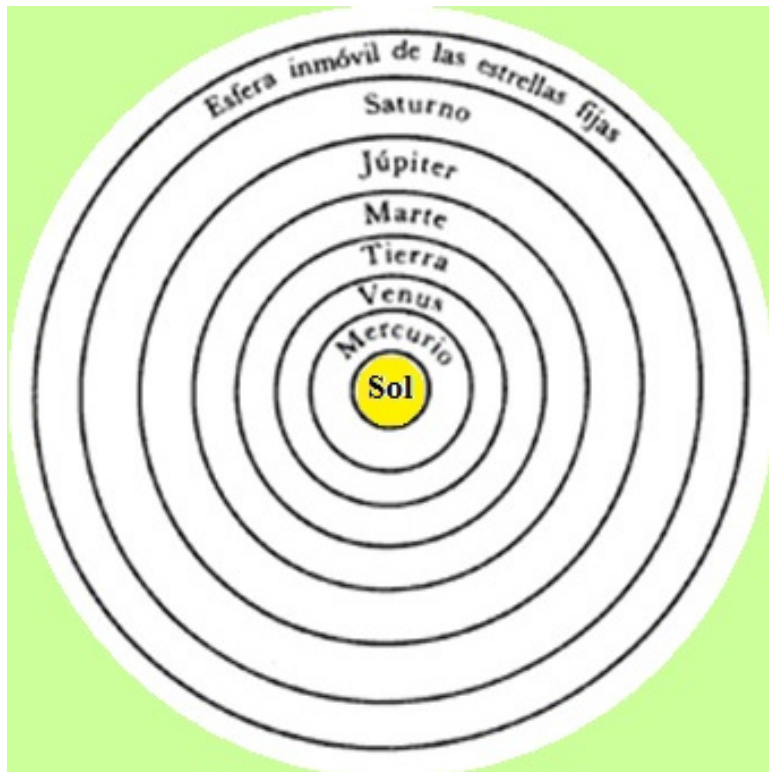
Sabiendo la distancia **D_s** al Sol pudo medir su diámetro **d** a partir del ángulo que subtiende, de forma inversa a lo que hizo antes con la Luna

Pero encontró que estaba como 20 veces más alejado de la Tierra que la Luna (en realidad está 400 veces más lejos).

También calculó que su diámetro era como 7 veces el de la Tierra (aunque es 110 veces mayor).

SOBRECOGEDOR. Aun siendo las cifras tan inferiores a las reales, nadie osaba pensar en valores superiores.

Aristarco pensó que la Tierra tenía que girar alrededor de aquel Sol portentoso. No podía permanecer estática mientras un Universo tan colosal daba vueltas alrededor de ella



Inició una polémica filosófica sobre la fiabilidad de nuestras percepciones: diferencia entre la contemplación-observación y el intelecto-razonamiento.

TOLOMEO

En el siglo II, estableció su teoría geocéntrica del Universo: la Tierra era el ombligo inmóvil del Cosmos, y todo giraba a su alrededor.

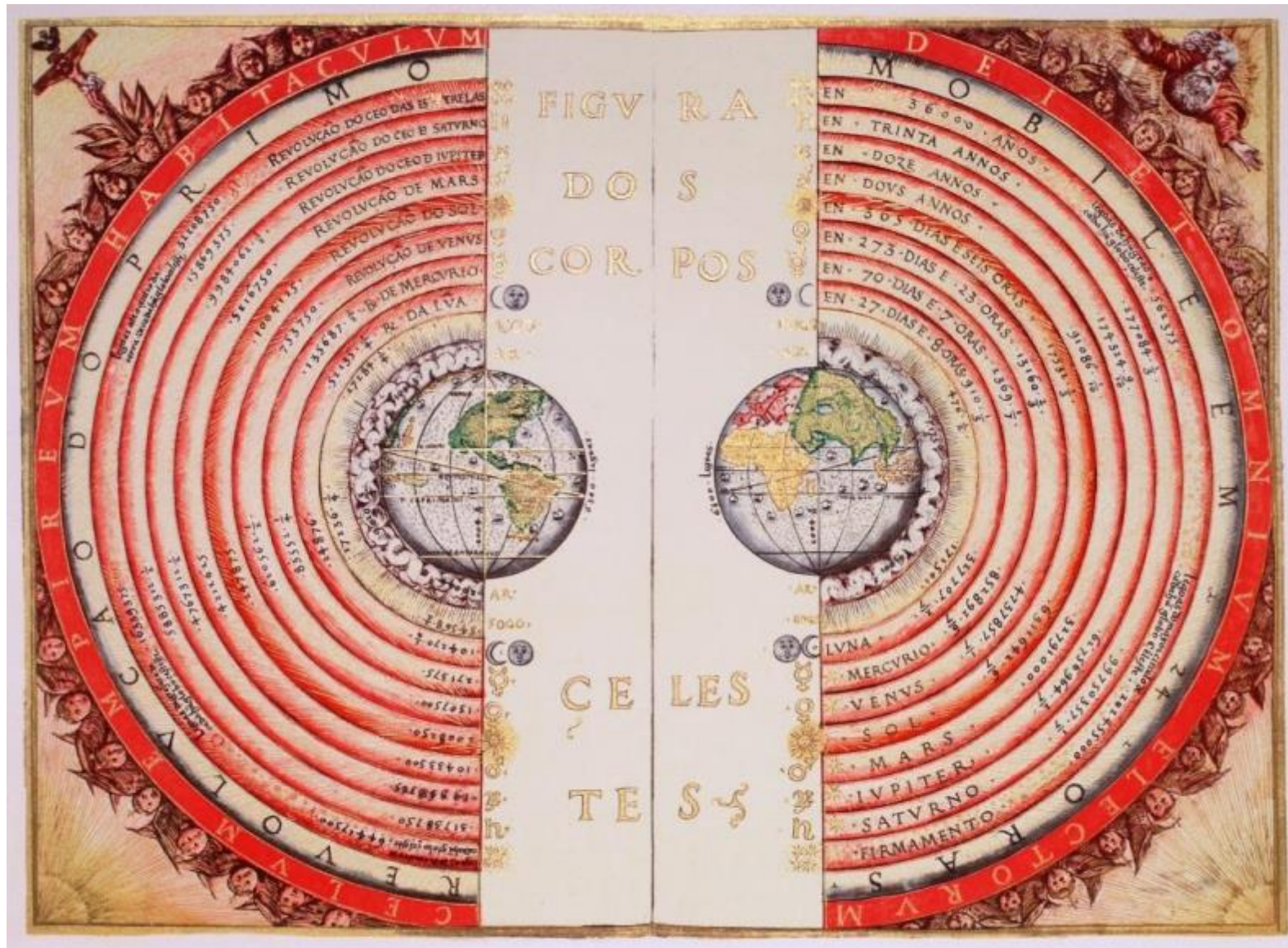
Fue autor de la trascendente *Matematiké Sintaxis* (*Composición matemática*), perdida pero conservada por su traducción árabe, el *Almagesto*, donde exponía su teoría geocéntrica, que prevaleció hasta el Renacimiento, nada menos que 14 siglos.

Incluyó un catálogo de mil estrellas, 'basado' en el poco divulgado de Hiparco de Nicea*, que ha sido fundamental en la historia de la Astronomía.



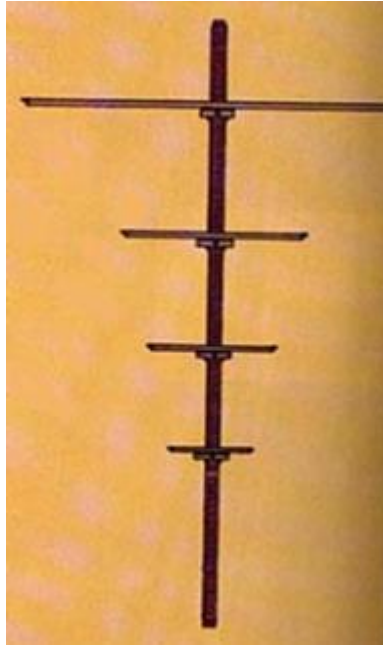
* Y ni siquiera lo copió bien porque no incluyó las estrellas más meridionales que él sí podía ver desde Alejandría, en Egipto, y que no figuraban en el catálogo de Hiparco porque desde Grecia, más al norte, no se podían ver.

Sistema geocéntrico de Bartolomeu Vellho, de 1598



Incluye multitud de datos, hasta el periodo de precesión de 36.000 años.

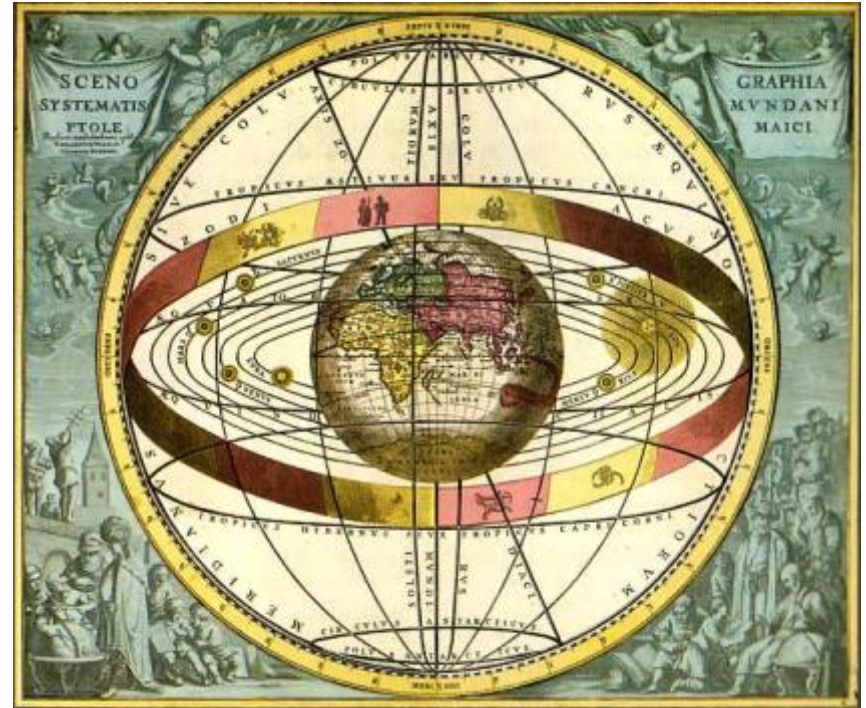
En tiempos de Tolomeo, los ángulos se medían con instrumentos rudimentarios, como la ballestilla o báculo de Jacob



En todas las culturas hubo avances paralelos. Estos instrumentos astronómicos medievales chinos están expuestos en Beiyín, China

Los fundamentos del sistema geocéntrico eran:

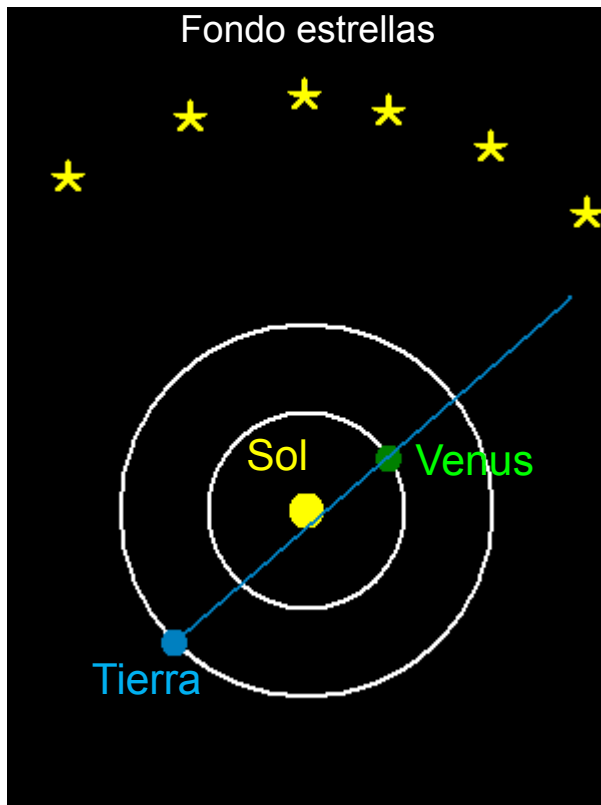
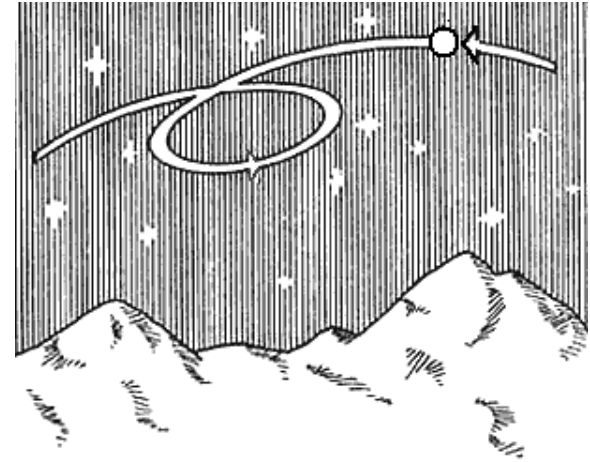
- La Tierra es el centro del Universo y está inmóvil.
- Todos los astros se mueven alrededor de la Tierra, con movimiento circular y uniforme.



Tolomeo reconocía que la traslación y el giro de la Tierra simplificaría la teoría, pero...

«Los animales y cosas se irían quedando atrás, arrojadas por los aires».

El Sol, la Luna y los cometas tenían movimiento uniforme respecto a la "bóveda de las fijas", pero los planetas mostraban retornos retrógrados en su movimiento directo

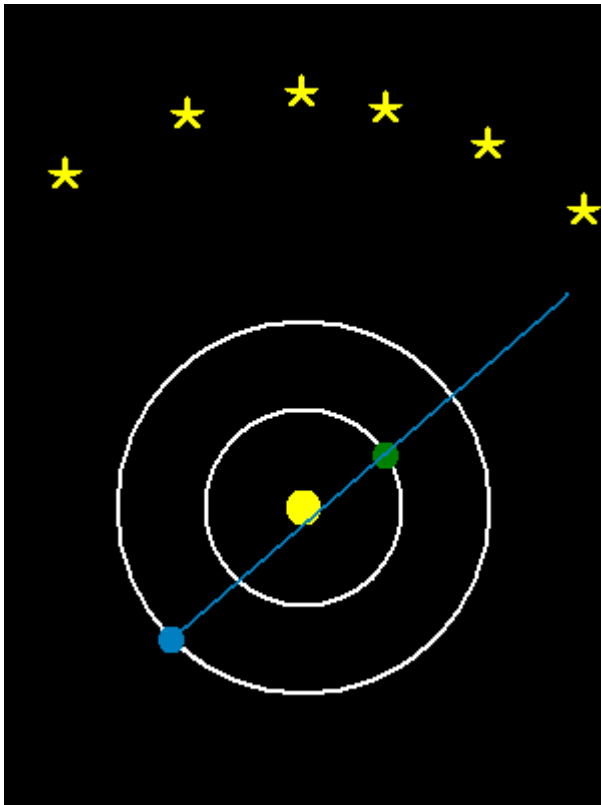
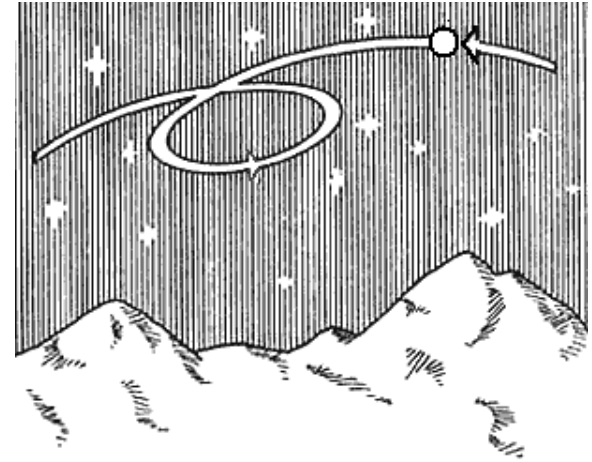


Precisamente 'planeta' procede del griego *πλανήτης* (*planētēs*), que significa 'vagabundo' y 'errante'.

← Esta animación muestra el 'vaivén' de Venus sobre el fondo de estrellas, según se ve desde la Tierra, no explicable con órbitas circulares.

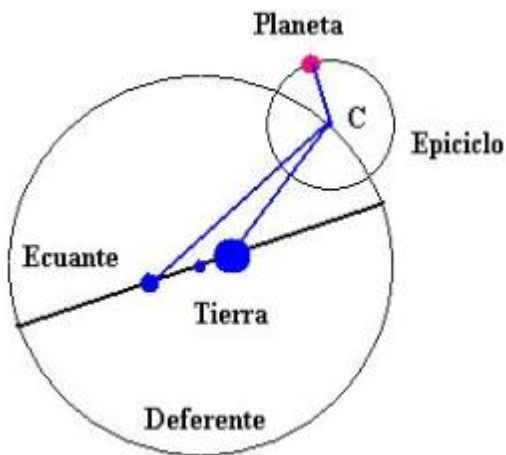


El Sol, la Luna y los cometas tenían movimiento uniforme respecto a la "bóveda de las fijas", pero los planetas mostraban un movimiento directo con retornos retrógrados

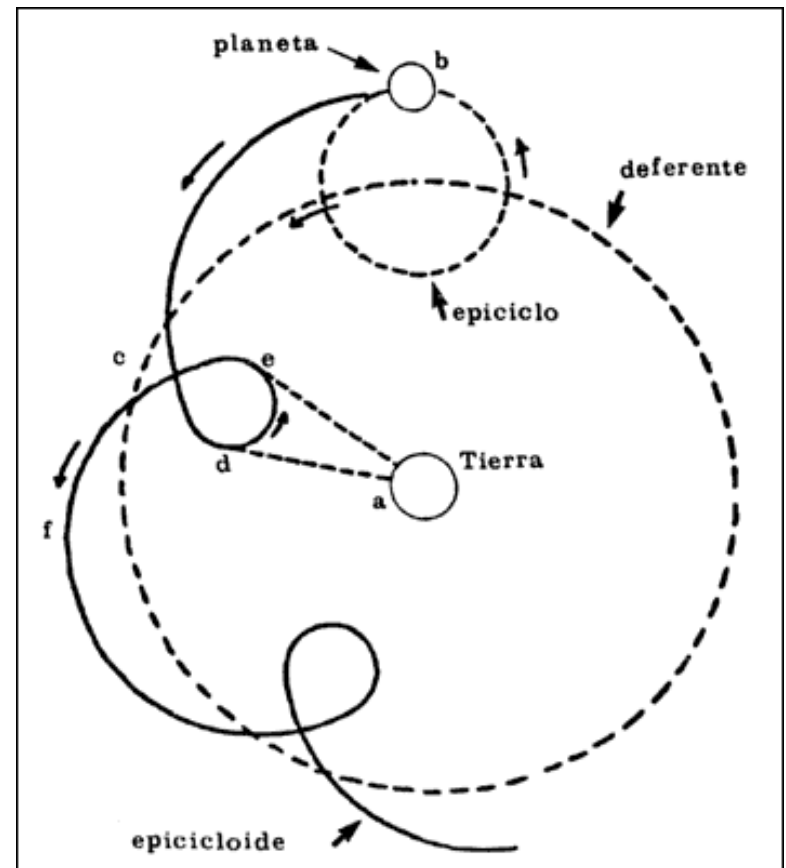
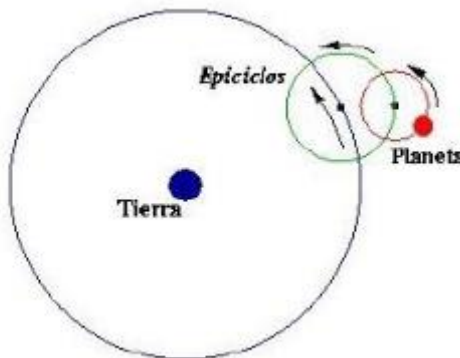


Adoptaron el 'epiciclo', cuyo centro se movía a velocidad uniforme por un 'círculo deferente'.

Pero al mejorar la precisión no salían las cuentas y tuvo que inventarse un punto cercano a la Tierra, el 'ecuante', alrededor del que sí serían uniformes las velocidades de giro...



... y, para afinar más...,



... anidar epiciclos en epiciclos...

¡Con lo simple que sería si todo girara alrededor del Sol!

Y pensaban
que todo giraba
alrededor de esto



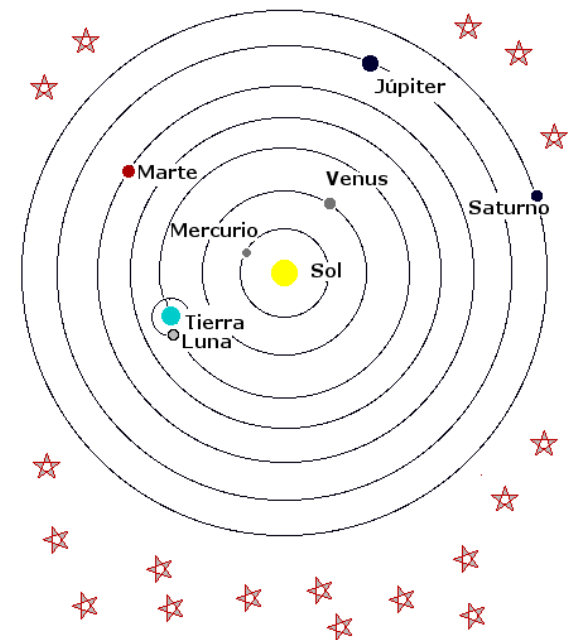
COPÉRNICO

A mediados del siglo XVI, se impuso gradualmente la teoría heliocéntrica de Copérnico, aceptando que el Sol era el centro alrededor del que todo, incluso la Tierra, giraba.



En 1530 desarrolló su teoría en *De revolutionibus orbium cœlestium*, pero retrasó su publicación por miedo al dogma establecido. Recibió el primer ejemplar el día de su muerte, en 1543.

De revolutionibus se toleraba porque era un esquema geométrico más cómodo para los cálculos que el tolemaico, pero estuvo inscrito en el Índice* hasta 1835.

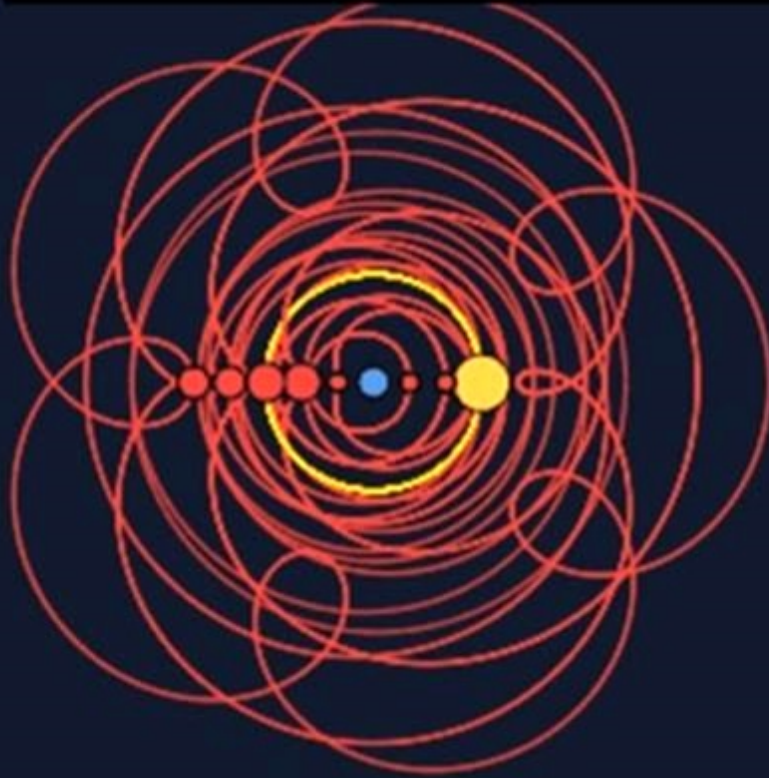


* El Índice (*Index Librorum Prohibitorum*) ha sido, hasta, 1966 la lista de los libros 'perniciosos' prohibidos por la Iglesia católica bajo pena de excomunión.

La siguiente animación muestra el contraste entre el complejo sistema geocéntrico tolemaico, con todo su aparato de deferentes, epiciclos, ecuantos y anidados, y la simplicidad del modelo heliocéntrico copernicano:



Geocentrismo



Sólo el Sol con movimiento
circular uniforme:
(y la Luna, no representada)

Heliocentrismo



Todos los cuerpos tienen
movimiento circular uniforme
(menos la Luna, no representada)

Es evidente la dificultad de cálculo con el geocentrismo

GIORDANO BRUNO

Fue un filósofo y poeta italiano renacentista, entusiasta discípulo de Copérnico y sus teorías.



Heliocentrista convencido, fue pionero en defender la 'infinitud' del Universo y la existencia de múltiples sistemas solares (incluso de extraterrestres).

Eran ideas por entonces inapropiadas, 'molestas'; además, era un contumaz disidente de la ortodoxia católica.

Como era tan *incómodo*, fue ejecutado por el Santo Oficio del Vaticano en la hoguera, en Roma, en 1600.

Los fundamentos del sistema heliocéntrico eran:

- En el centro del Universo se encuentra el Sol.

- Todos los planetas orbitan alrededor del Sol.

- La Tierra es esférica y gira alrededor de un eje.

- La Luna orbita alrededor de la Tierra.

- Todos los planetas orbitan aproximadamente en el mismo plano (la eclíptica).

- Todas las órbitas son circulares, y los movimientos, uniformes.



GALILEO

Fue un eminente astrónomo, filósofo, matemático y físico del Renacimiento

Se basó en los dispersos intentos existentes para construir, como un instrumento operativo, el primer anteojo.



Galileo Galilei
(1564-1642)

Presentando al dux
Leonardo Donato su
"reinventado" anteojo
(1609)



**El primer anteojo
de Galileo (30 x)**

**Antes de 1610, Galileo ya
había visto muchas cosas:**

**Manchas y tránsitos solares, fases
de Venus, los satélites de Júpiter...**

El heliocentrismo era incuestionable.

**Aún así, el giro de la Tierra siguió
siendo una conjetura hasta 1851,
con Foucault y su péndulo.**



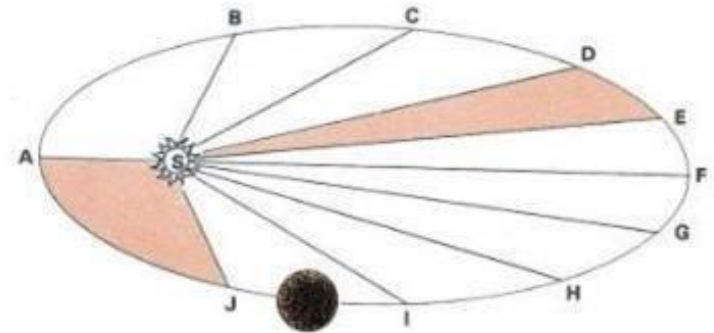
KEPLER

Tras estudiar cuarenta años de observaciones de Marte realizadas por su maestro Tycho Brahe, y las suyas propias, en 1609 enunció las tres leyes orbitales fundamentales, aplicables a graves ideales en órbita no perturbada:

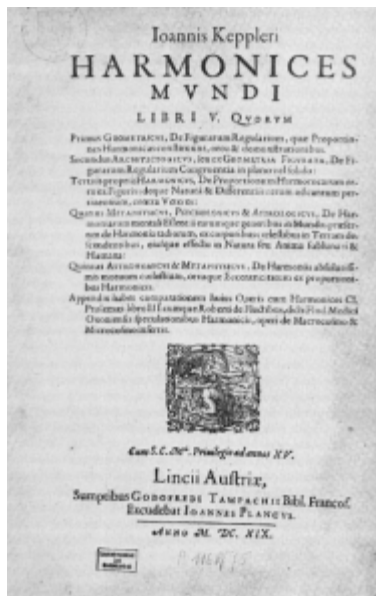


1: Las órbitas son elípticas y en uno de sus focos está el centro alrededor del que se orbita.

2: En tiempos iguales, los radios vectores barren áreas iguales.



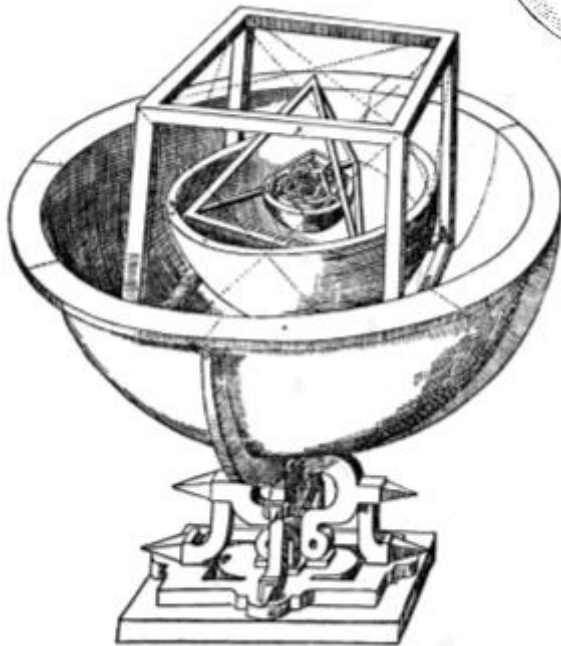
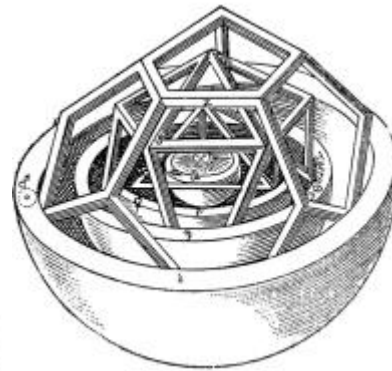
3: El cuadrado del período orbital es proporcional al cubo del semieje mayor de la órbita.



Publicó en 1618 su obra *Harmonices Mundi*, donde exponía todas sus teorías científicas...



... así como las imaginarias, porque Kepler era, además, un místico astrólogo.

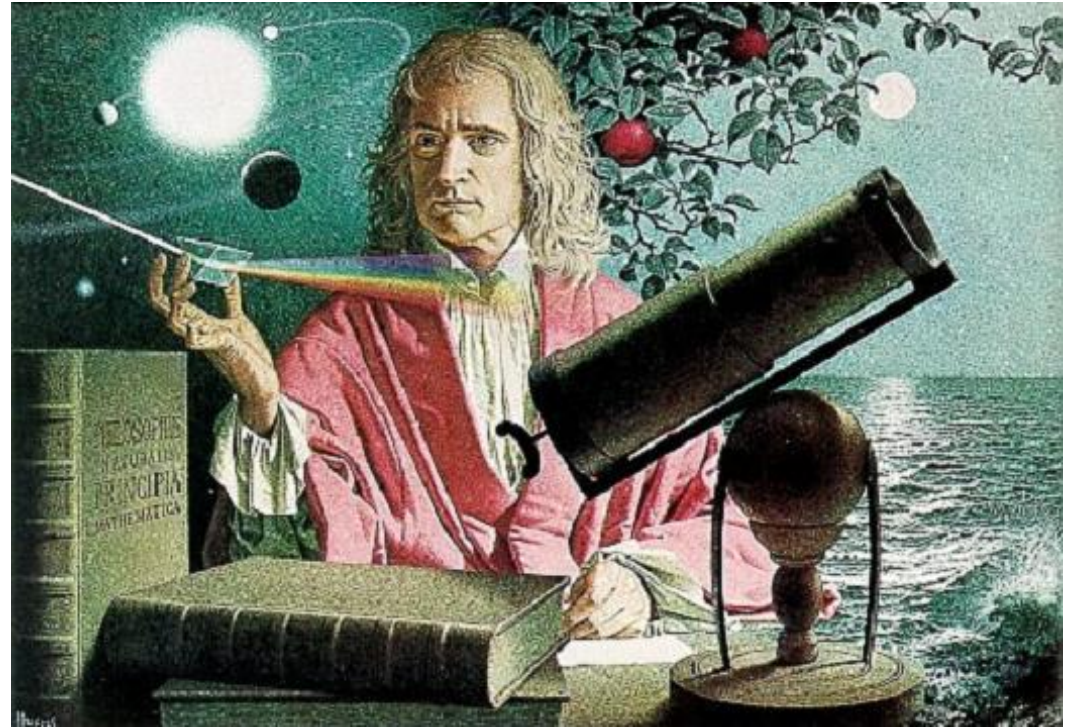


Describía, entre otras ideas, una irreal distribución poliédrica de las órbitas, o que los ángeles movían los planetas produciendo la 'música de las esferas'.

¿Cómo separar Ciencia de fantasía?

NEWTON

A comienzos del siglo XVIII, Isaac Newton cambió para siempre la Ciencia estableciendo multitud de principios esenciales, como la gravitación universal, las leyes de la dinámica, la óptica moderna, la acústica, los fundamentos de las actuales matemáticas...



Además, como era usual en la época, también estudió alquimia, cronología bíblica...

Ciencia

Ciencia

Ciencia

Ciencia

Ciencia

Ciencia

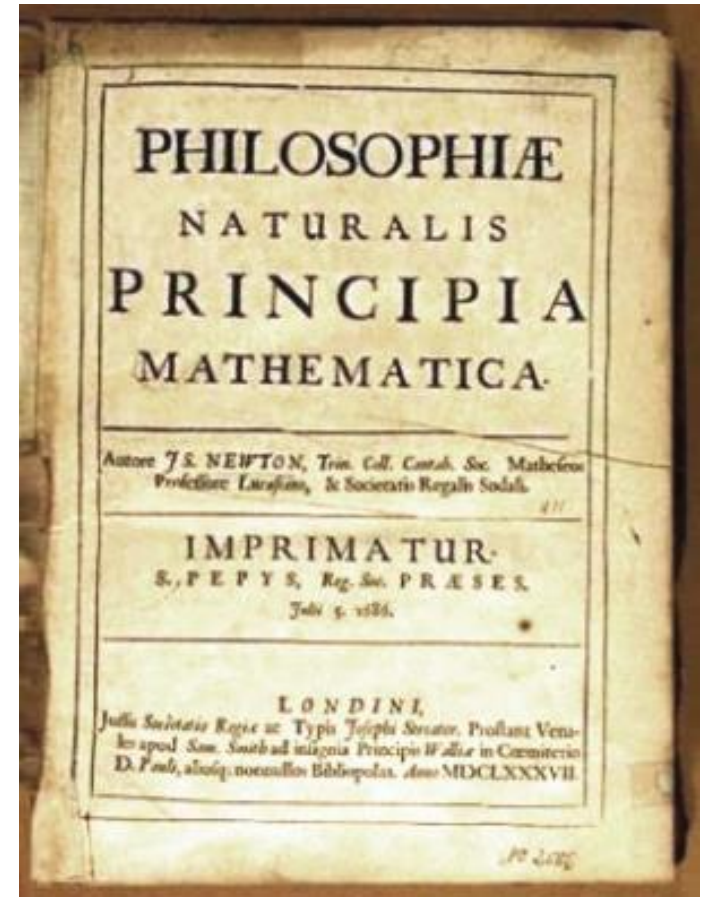
Ciencia

Ciencia

Publicó en 1686 su genial
*Philosophiæ Naturalis
Principia Mathematica*

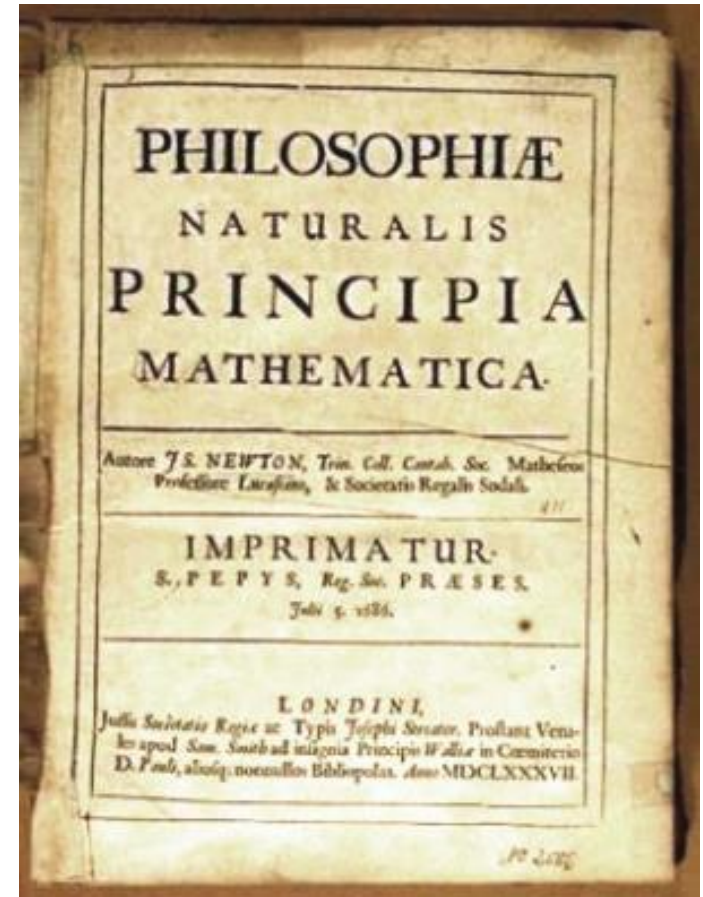
Enunció un teorema basado en
el equilibrio orbital del
sistema Tierra-Luna (embrión
de su teoría de la gravitación
universal) que decía:

«Las fuerzas con las que los planetas principales se desvían constantemente del movimiento rectilíneo y se mantienen en sus órbitas, están dirigidas hacia el Sol y son inversamente proporcionales a los cuadrados de sus distancias al centro de este».



Su vigente teoría de la gravitación universal, finalmente dice:

«Dos partículas materiales se atraen recíprocamente con una fuerza que está en función directa del producto de sus masas e inversa del cuadrado de la distancia que las separa».

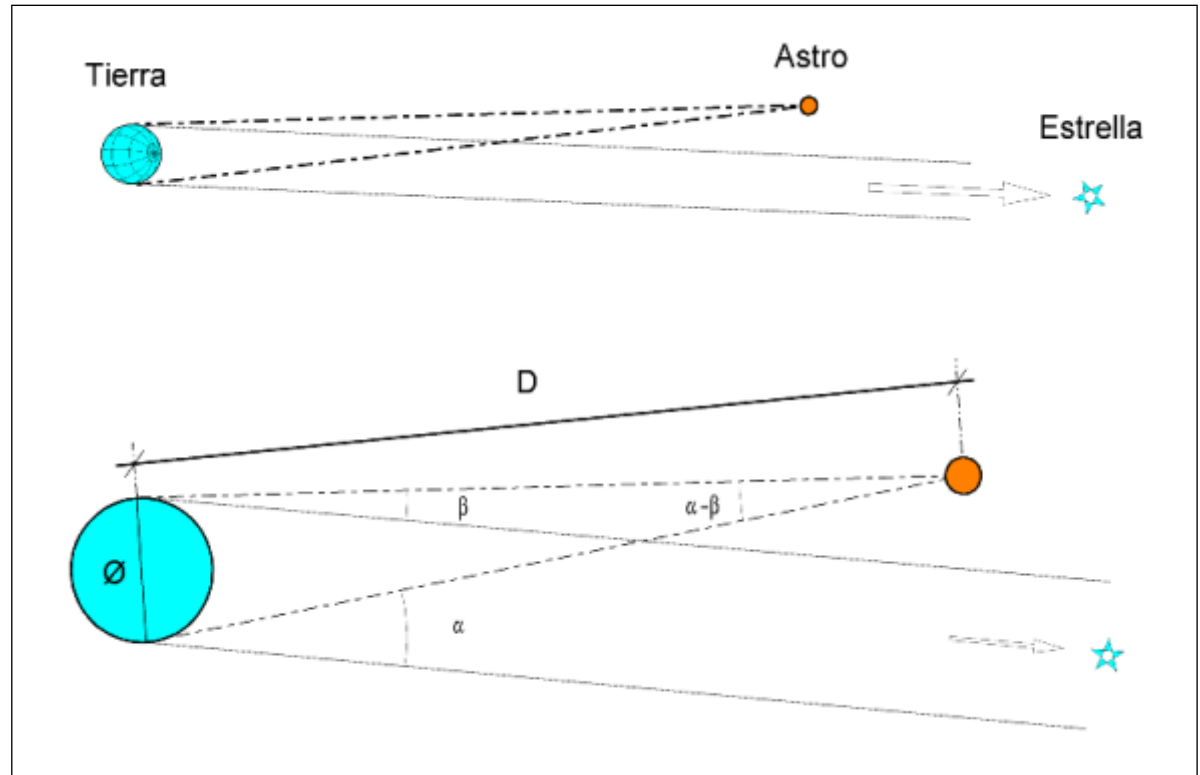


Al fin quedó explicado el misterio de que los astros giraran unos alrededor de otros, sin escaparse.

Con el modelo heliocéntrico, las leyes de Kepler y la gravitación universal, quedaban bien definidas la geometría y la mecánica del Sistema Solar.

Para fijar la escala era necesario conocer, al menos, una distancia.

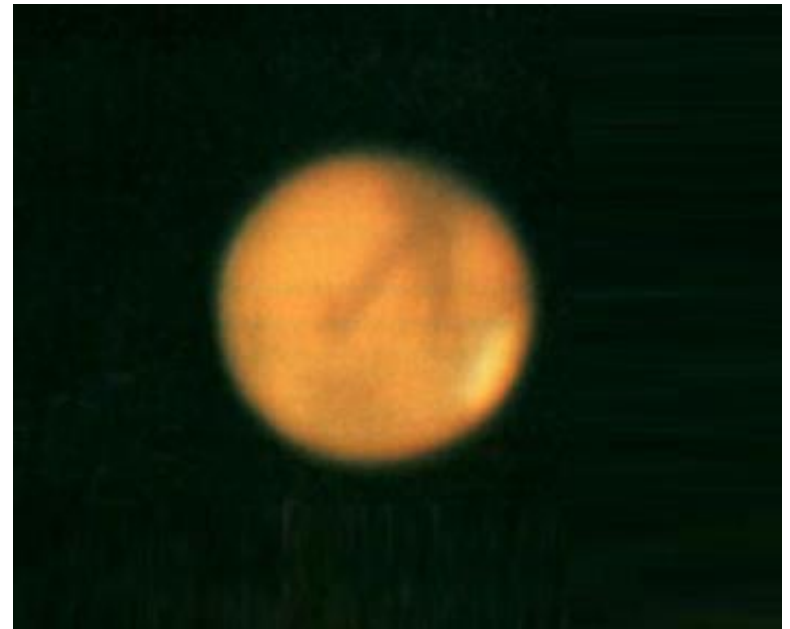
Se midió con la técnica de 'paralaje diurna', basada en la variación de la posición aparente de un astro sobre el fondo de estrellas al ser observado desde posiciones diametralmente opuestas de la Tierra



Como la resolución de la paralaje diurna es mejor cuanto más cercano esté el astro a la Tierra, Marte era el planeta más favorable (bastante cercano y con fondo casi siempre oscuro).

En 1671 Ritcher y Cassini hicieron medidas. Se pudo calcular después la distancia Tierra - Sol: 150 millones de km, que se llamó *unidad astronómica* (UA).

En el siglo XIX, estaba bien determinada la escala, con la limitación de que los planetas, con su atmósfera, aparecían como discos poco nítidos.



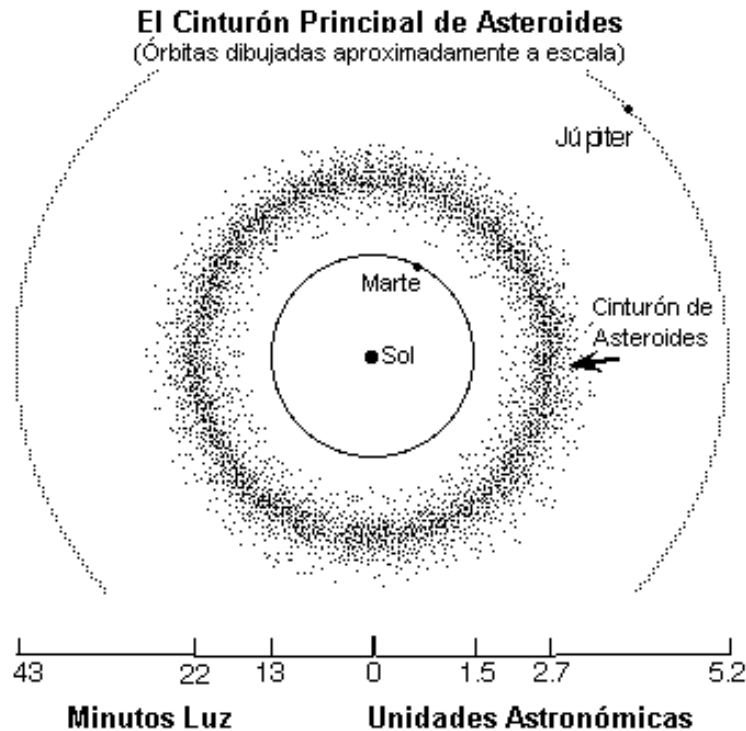
Conociendo las separaciones orbitales, hacia 1770 se estableció la hipótesis de Titius-Bode que relaciona la distancia de un planeta al Sol con su número de orden, diciendo que el radio orbital planetario en UA obedece a la fórmula:

$$\text{Radio en UA} = 0,4 + 0,3 \times 2^n$$

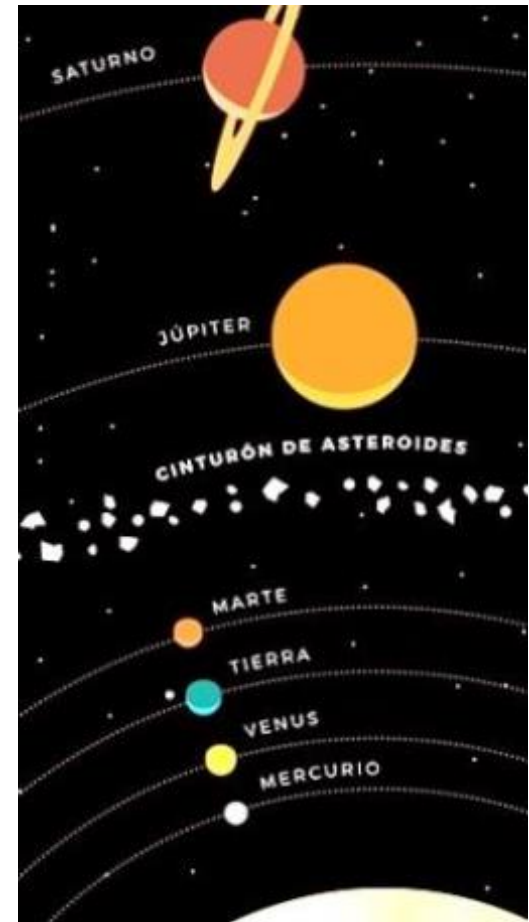
Siendo
n creciente,
según la tabla,
desde Mercurio
hacia todos los
planetas
entonces
conocidos:

Planeta	n	2 ⁿ
Mercurio	- ∞	0
Venus	0	1
La Tierra	1	2
Marte	2	4
¿?	3	8
Júpiter	4	16
Saturno	5	32

Todo casaba armónicamente, pero faltaba un planeta entre Marte y Júpiter.



Y se encontró que a 2,8 UA había un difuso Cinturón de Asteroides.



Hoy sabemos que la materia dispersa por la zona del Cinturón de Asteroides es, con casi total seguridad, un anillo protoplanetario de un planeta no nato, probablemente disgregado por el efecto gravitacional de Júpiter.

INCISO



Recordemos que
Antoine de Saint-Exupéry situó
a su entrañable Principito en un
asteroide (el 'B 612', según
narró), «*cuyos volcanes cuidaba
con esmero*».

Los asteroides carecen de atmósfera. Sus imágenes puntuales serían ideales para medir paralajes.

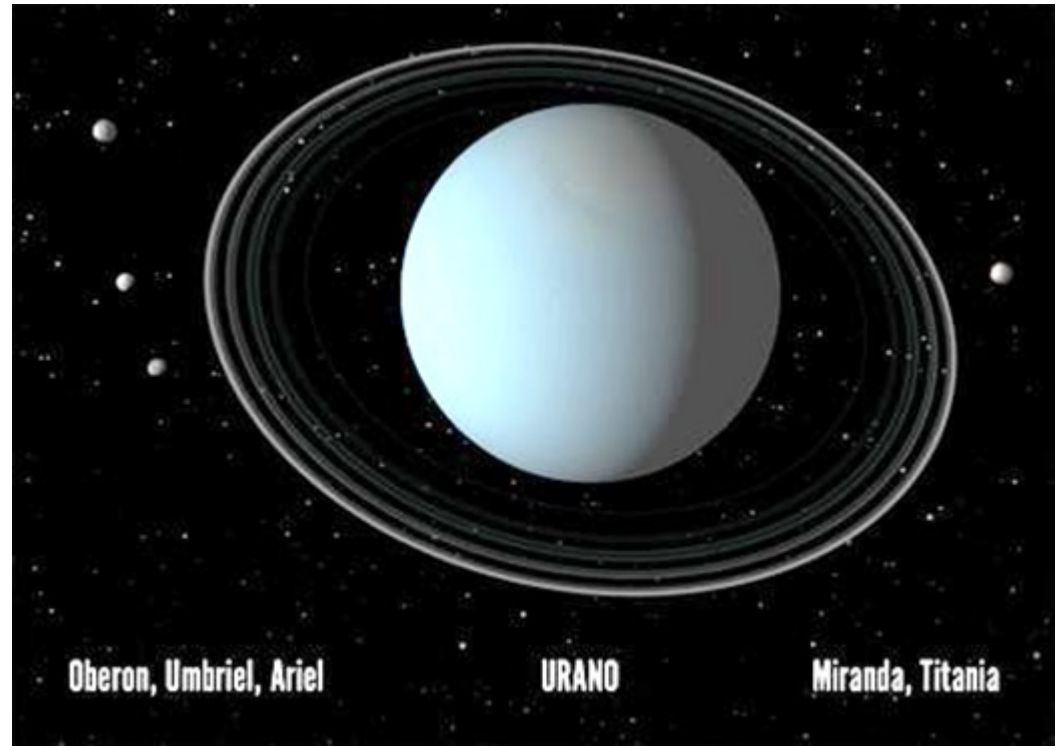
En 1801, el astrónomo italiano Giuseppe Piazzi descubrió el primer asteroide: Ceres, entonces llamado 'planetoide'

Se usó en un posterior proyecto internacional, empleando métodos fotográficos.



Las dimensiones orbitales quedaron bien establecidas (ya se disponía de escala para el Sistema Solar).

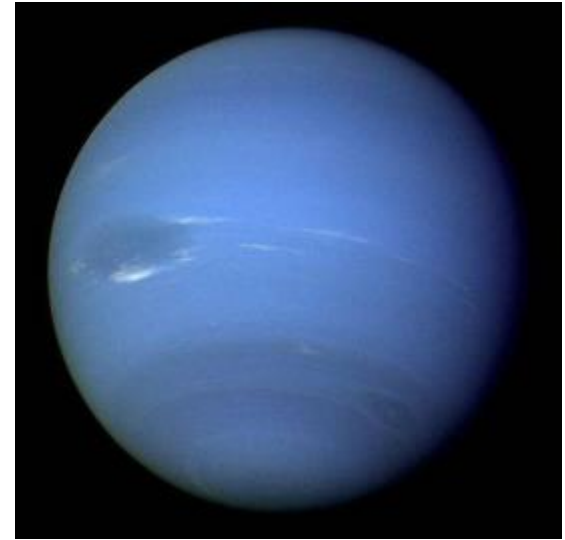
**Herschel descubrió
Urano en 1781 con
su telescopio**



Telescopio Herschel
(réplica) del Observatorio
Astronómico de Madrid

Al calcular en 1845, independientemente, Adams y Leverrier la órbita de Urano, encontraron anomalías en las efemérides y calcularon la posición de un posible astro perturbador.

En el Observatorio de Berlín, Galle localizó Neptuno en 1846, sólo a 1° de donde había predicho Leverrier



Leverrier observó también perturbaciones orbitales en Mercurio. En 1860 postuló un nuevo planeta más interior: Vulcano

Pero no existía. No podía saber que eran efectos relativistas sufridos al observar su posición, como demostró Einstein en 1915.

Al calcular la órbita de Neptuno, Lowell y Pickering encontraron también anomalías en sus efemérides, y se buscó el posible astro perturbador.

En 1930 Tombaugh descubrió algo parecido a un planeta cerca de la dirección calculada: Plutón.

Plutón es rarito: diminuto, su órbita es demasiado excéntrica y no cumple la regla de Titius-Bode; además, tiene un satélite gigante, Caronte.

En 2006 la UAI excluyó a Plutón como planeta del Sistema porque ha de ser una captura externa

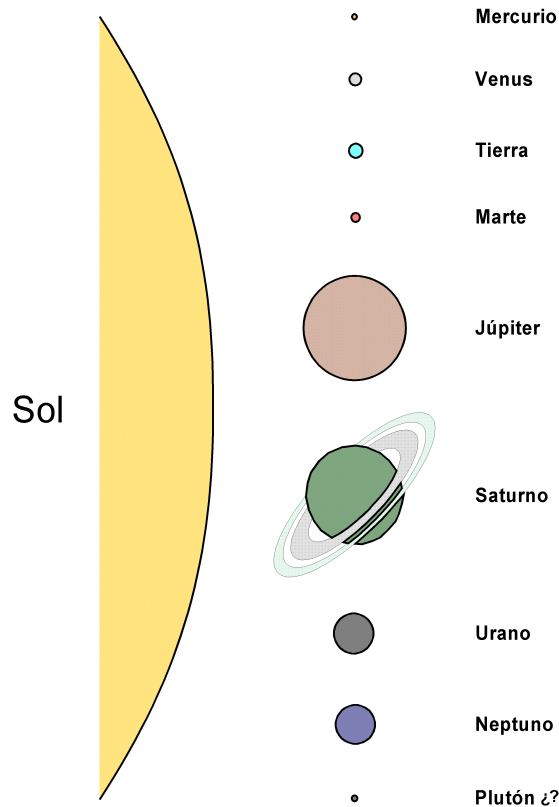


Planeta	2 ⁿ	Distancia ley T-B	Distancia real	Error %
Mercurio	0	0,4	0,39	2,5%
Venus	1	0,7	0,72	2,78%
Tierra	2	1,0	1,00	0%
Marte	4	1,6	1,52	5,3%
¿?	8	2,8	2,77	1,1%
Júpiter	16	5,2	5,20	0%
Saturno	32	10,0	9,54	4.8%
Urano	64	19,6	19,2	2%
Neptuno	128	38.8	30,06	29.08%
Plutón	256	77.2	39,44	95.75%

Este cuadro de Titius-Bode, donde se ve cómo Neptuno no coincide tan bien como los otros en su distancia, pone en evidencia que Plutón no puede ser el verdadero transneptuniano (si lo hay).

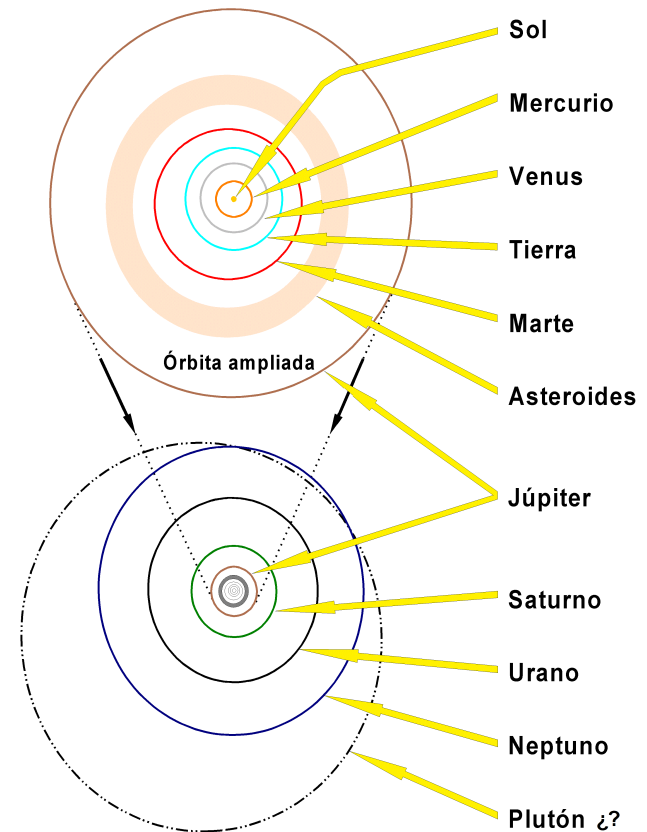
Al medir distancias con microondas a Venus y otros astros, en 1961 quedó bien establecida, hasta el orden planetario, la escala del Sistema Solar

Dimensiones relativas de astros



© Valbuena 1995

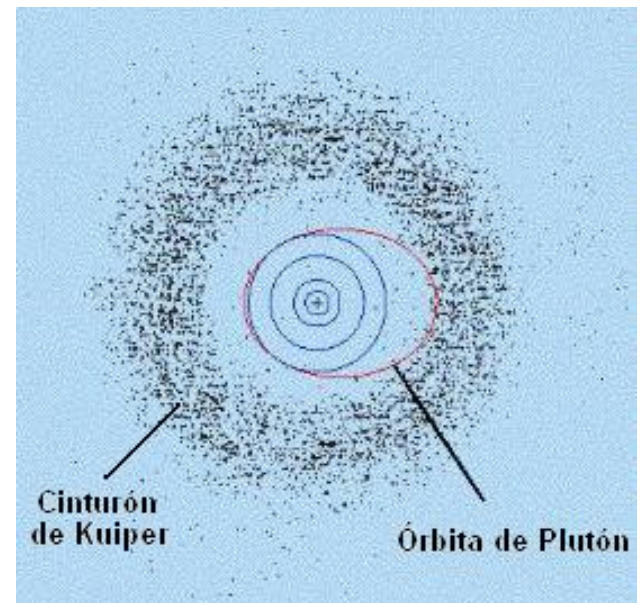
Posiciones y dimensiones relativas de órbitas



© Valbuena 1995

Desde entonces, sólo ha habido mejoras residuales.

En 1951, el astrónomo Gerard Kuiper predijo, más allá de Neptuno, y en el plano de la eclíptica, un cinturón de materia remanente de la protonebulosa origen del Sistema Solar. De allí provendrían Plutón y su satélite, que realmente constituyen un sistema binario

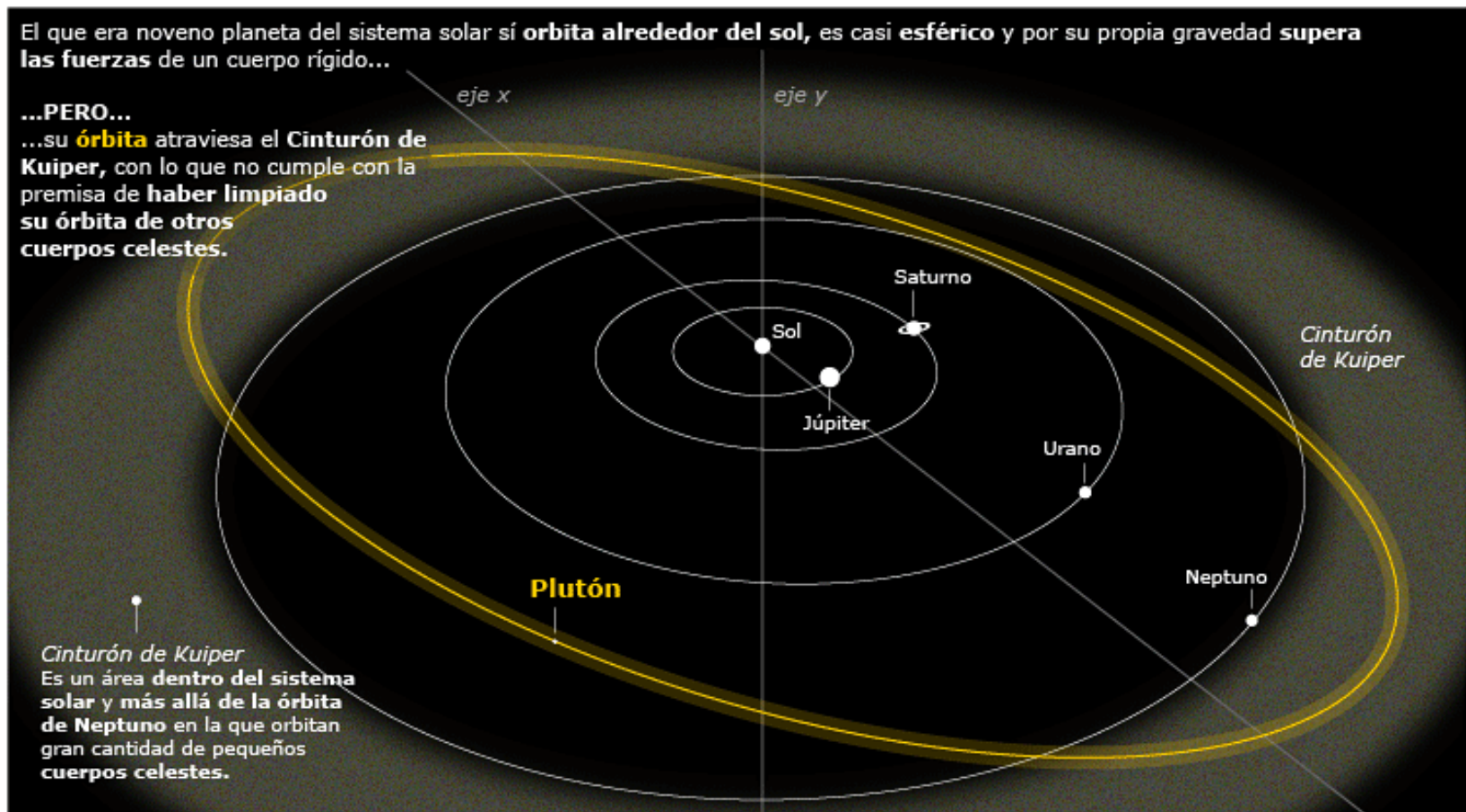


A partir de 2000 se han ido encontrando miles de cuerpos.

El que era noveno planeta del sistema solar sí **orbita alrededor del sol**, es casi **esférico** y por su propia gravedad **supera las fuerzas** de un cuerpo rígido...

...PERO...

...su **órbita** atraviesa el **Cinturón de Kuiper**, con lo que no cumple con la premisa de **haber limpiado su órbita de otros cuerpos celestes**.



Fuente: NASA, UIA | elmundo.es

El transneptuniano buscado es ahora el **Planeta X** (o **IX**, si los restos del cinturón de asteroides no se consideran como el **V**). Cumpliendo Titius-Bode estaría a 307,6 UA (a más de 4500 millones de km, unas 43 horas luz) fuera del alcance de los telescopios terrestres.

En 1950, el astrónomo Jan Oort comprobó que los cometas de largo período vienen de cualquier dirección.

No proceden del espacio interestelar porque no tienen órbitas parabólicas, sino elípticas, aunque muy excéntricas y de muy largos períodos.

Como los afelios de los cometas tienen que estar lejísimos, concentrados en un 'lugar de reposo', Jan Oort postuló la existencia de una nube esférica hueca, la 'nube de Oort', rodeando el Sistema Solar y que actualmente se considera que es su límite externo; más allá, el resto de la Galaxia.



Medición de la Galaxia

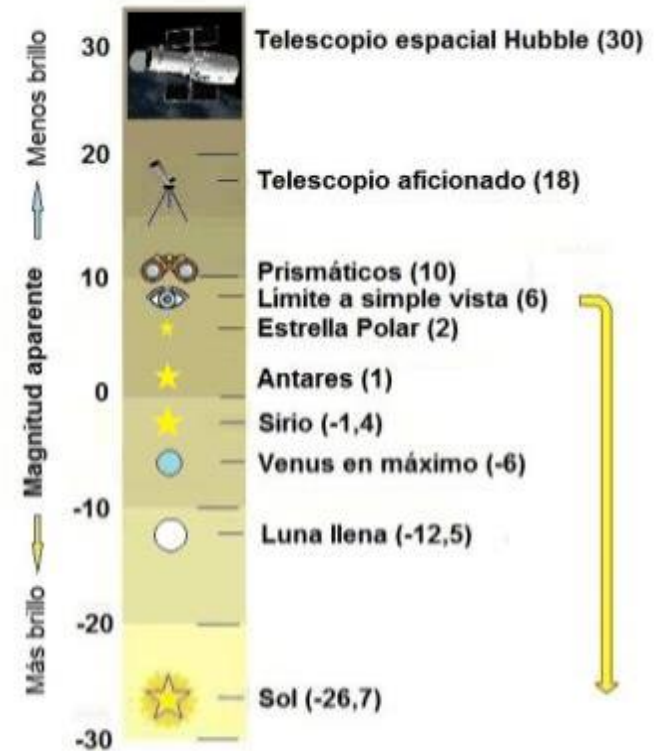
Las estrellas se catalogaron según su brillo, como la posición en las carreras: desde 1, el máximo, hasta 6, las menos visibles

Para poder catalogar los astros más brillantes, como Venus, la Luna o el Sol, hubieron de emplearse valores negativos.

Y con los más poderosos telescopios se pudo llegar a la magnitud 30

Con el paso del tiempo se observó que algunas estrellas de la "bóveda de las fijas" cambiaban de posición sin chocar entre sí: sus movimientos, además de tangenciales, también debían ser radiales, en profundidad.

La "bóveda" no podía ser una superficie. Las estrellas tenían que tener una distribución tridimensional. ¿Cómo estaban ordenadas las estrellas?

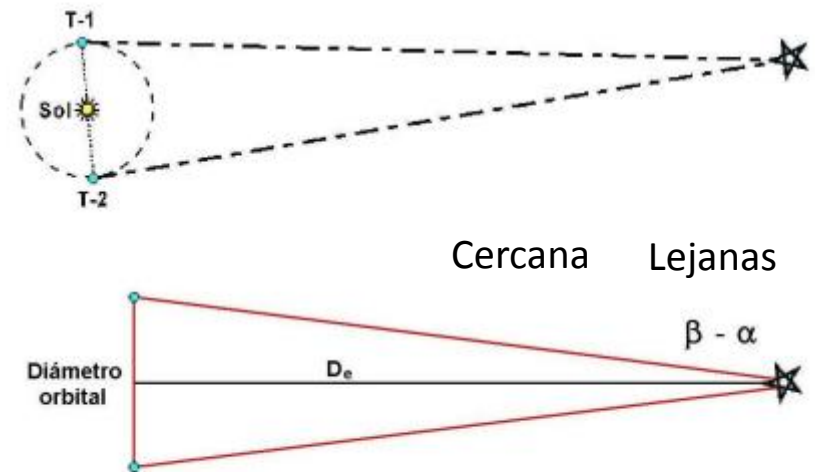


Observando el cielo con medio año de diferencia, algunas estrellas se desplazaban, pero volvían a su posición inicial al pasar otro medio año (observadas desde posiciones diametralmente opuestas T-1 y T-2).

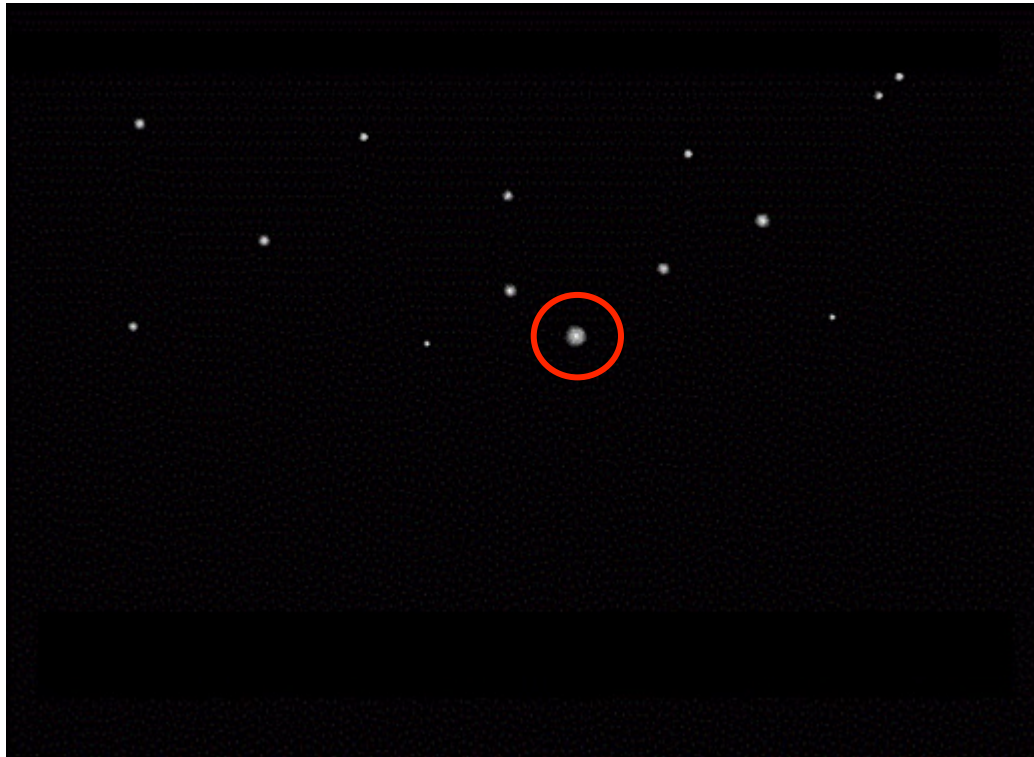
Solo podían ser las más cercanas, vistas sobre el fondo fijo de referencia de las estrellas muy, muy lejanas.

La 'paralaje diurna' sólo alcanzaba a medir planetas. Para más allá se empleó la 'paralaje anua', técnica equivalente, pero usando como base el diámetro orbital en vez del diámetro terrestre

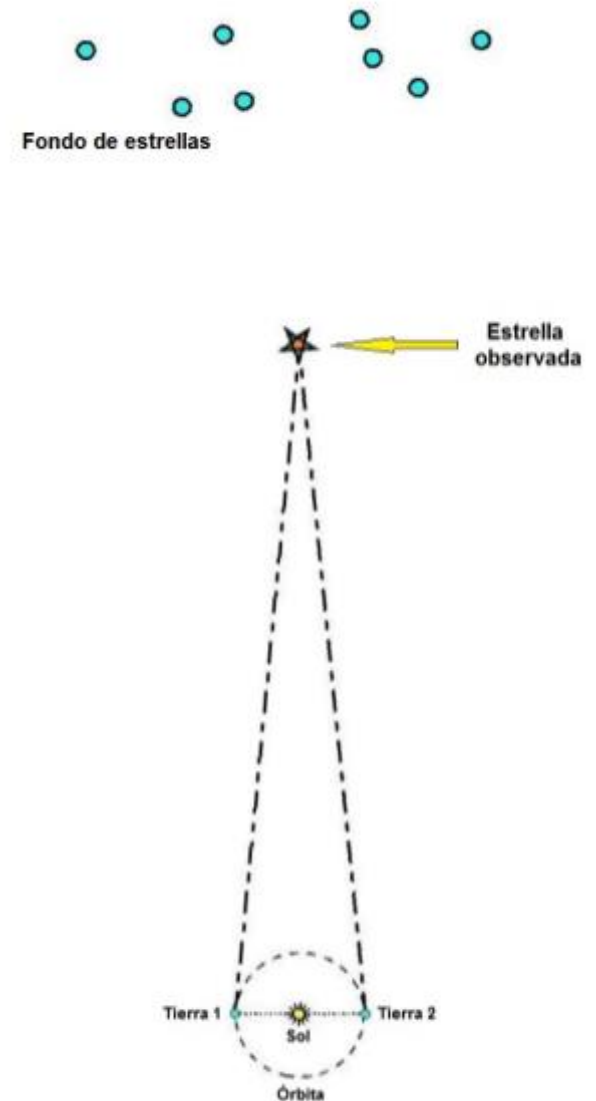
En la década de 1830, Bessel, Struve y otros midieron ya paralajes de menos de 1".



$$D_e = \text{radio orbital} / \text{tg} \left(\frac{\beta - \alpha}{2} \right)$$

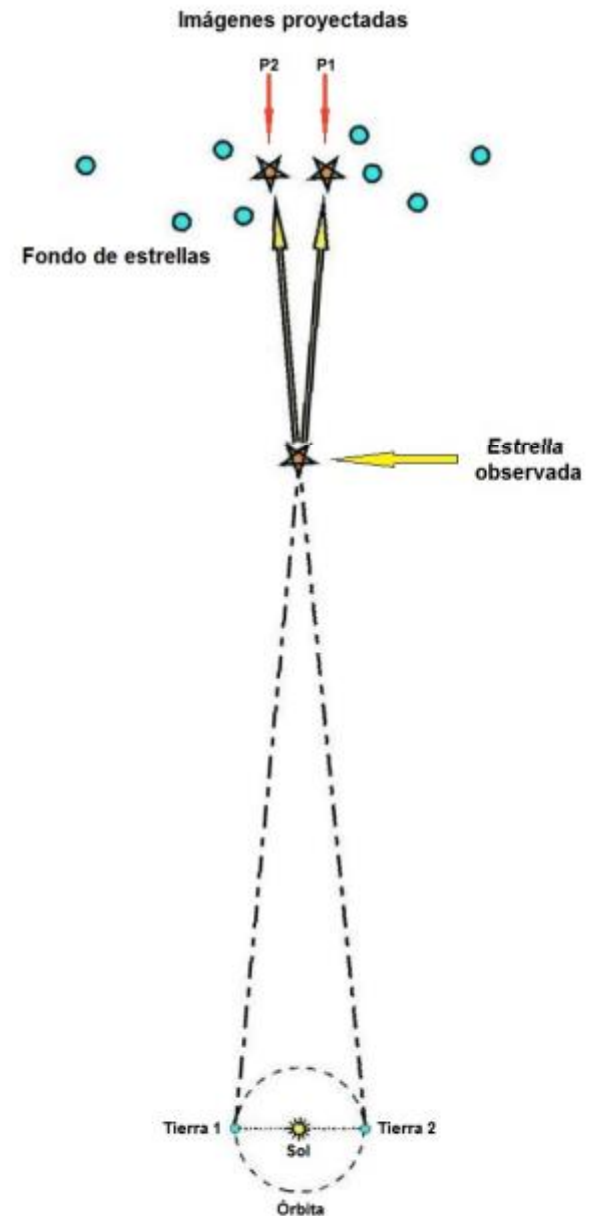


En esta animación se verá el movimiento aparente de una estrella cercana respecto al fondo de estrellas lejanas cuando la Tierra se mueve entre las posiciones diametralmente opuestas Tierra 1 y Tierra 2 (medio año de diferencia).



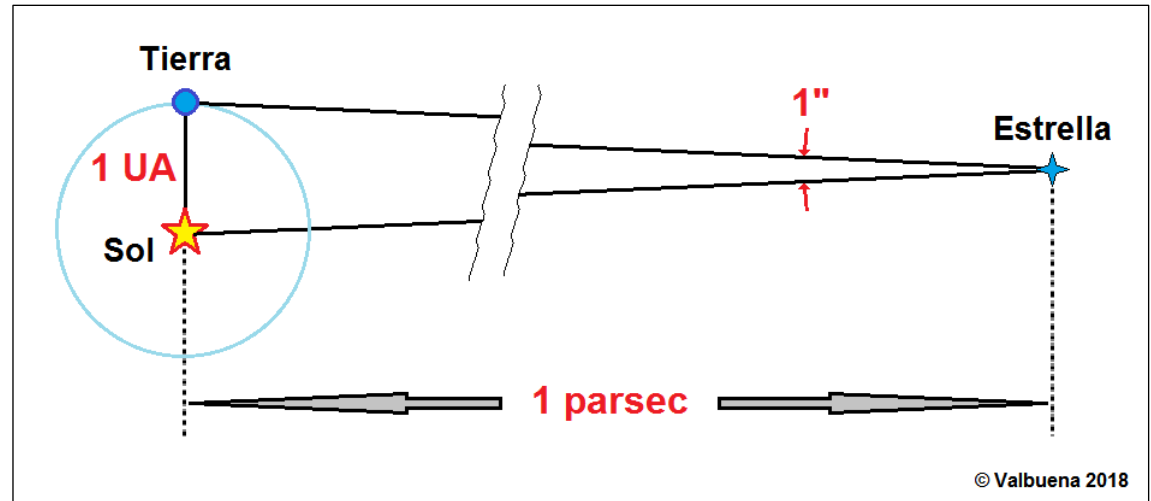


En esta animación se verá el movimiento aparente de una estrella cercana respecto al fondo de estrellas lejanas cuando la Tierra se mueve entre las posiciones diametralmente opuestas Tierra 1 y Tierra 2 con medio año de diferencia.



El parsec (parallax-second), es la distancia a la que una estrella tiene 1" de paralaje

O distancia a la que una unidad astronómica (UA) subtende un ángulo de un segundo de arco



**Son 3,26 años luz: unas 200.000 UA (206,263 UA)
o unos 30 billones de km ($30,857 \cdot 10^{12}$ km)**

Conociendo la distancia a las más próximas se pudo calcular su magnitud absoluta.

Cura de humildad: nuestro Sol es una estrella medianita, mas bien pequeña, aislada en el espacio.

Pero el alcance, el 'fondo de escala' de la paralaje anua, limitado por el diámetro orbital terrestre, es de 150 años luz. Y más allá, ¿cómo medir?

Herschel comprobó que la concentración de estrellas en el espacio era máxima en el plano de la Vía Láctea o *Galaxias Kylos* (camino de leche) de los griegos



El conjunto tendría que ser lenticular



Aunque hay otras posibilidades

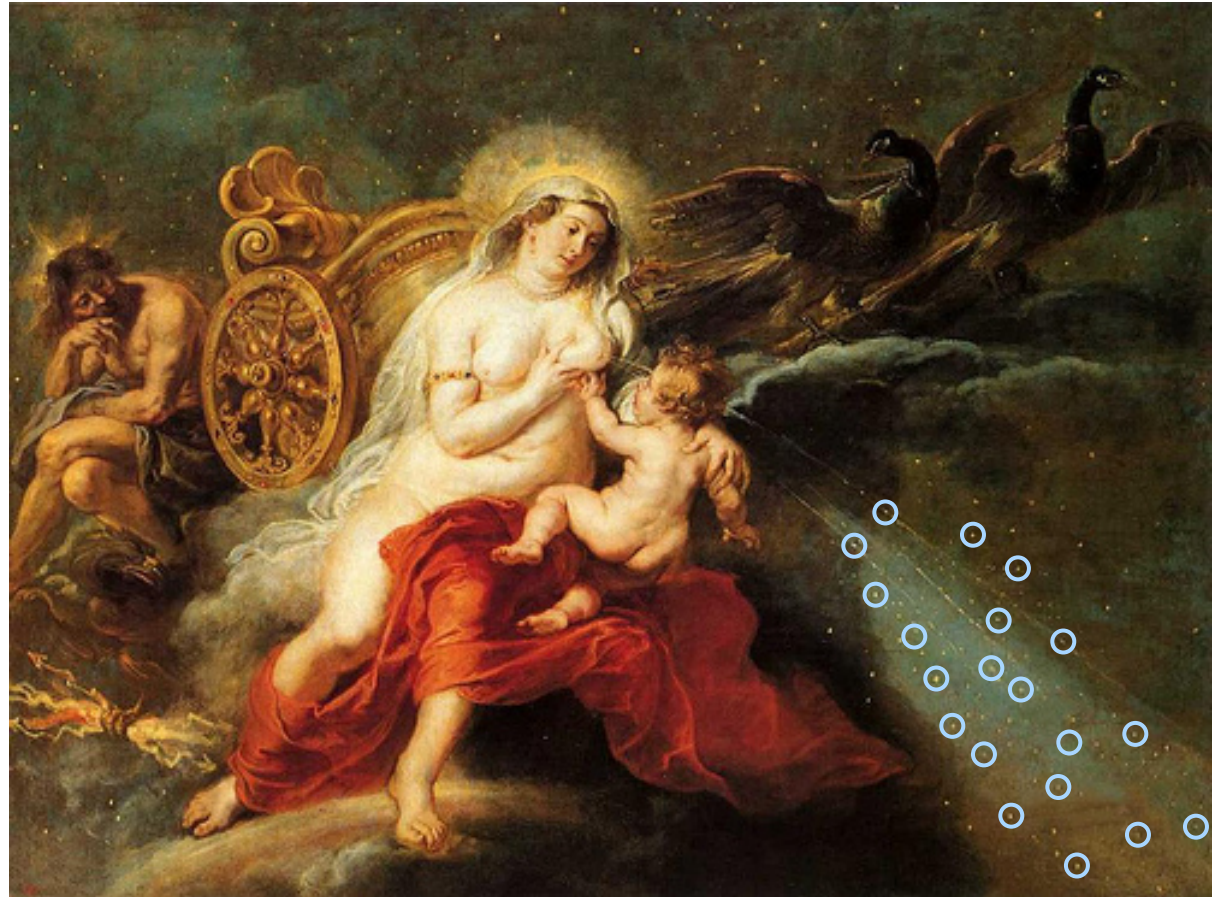


Vía Láctea con estrella fugaz

La Vía Láctea, de Rubens:

(el cuadro está en el
museo del Prado de
Madrid)

Al sobresaltarse,
derramó la leche

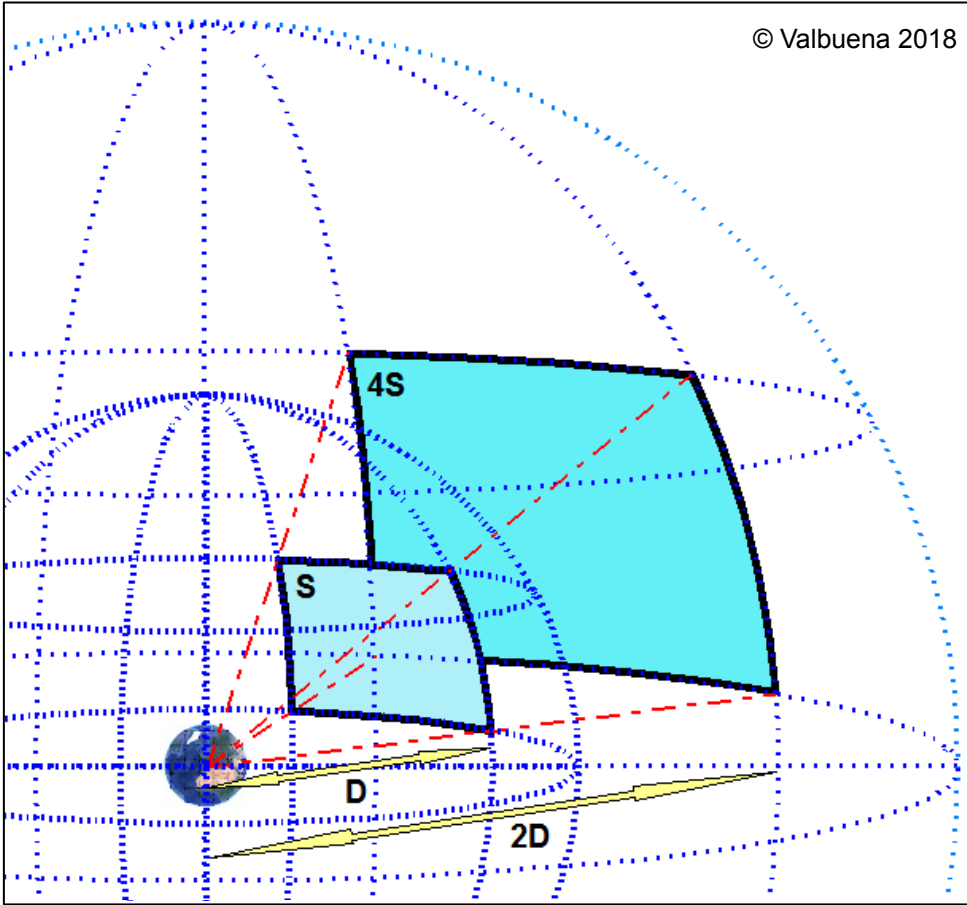


Representa la leyenda mitológica, cuando Juno, somnolienta, amamantaba involuntariamente a Hércules, hijo espurio de su esposo Júpiter y la mortal Alcmena, una princesa tebana, para hacerlo inmortal.

La Vía Láctea, de Tintoretto:

(esta otra versión
está en la National
Gallery de Londres)





OLBERS

Planteó su conocida paradoja en 1823.



Base: la distribución de estrellas en el espacio debe ser prácticamente uniforme.

Supóngase el espacio dividido en sucesivas capas

concéntricas equidistantes (como en una cebolla).

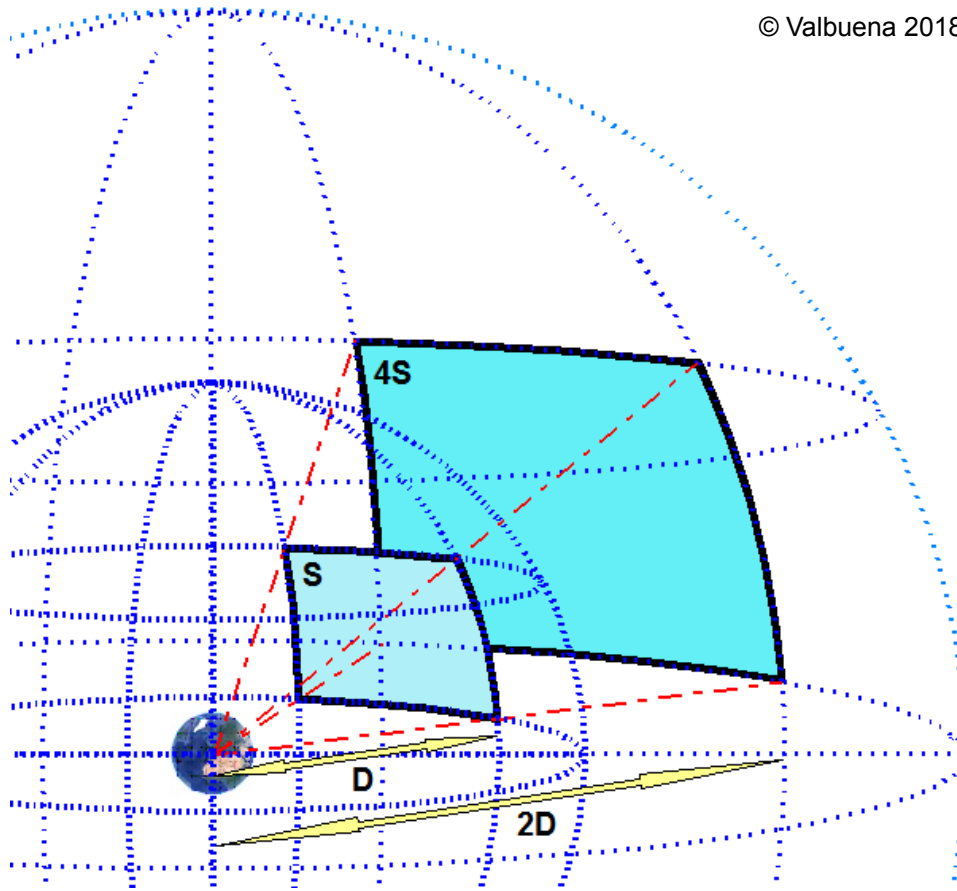
La segunda capa, a doble distancia D , tendría el cuádruple número S de estrellas (crece cuadráticamente) que la primera.

OLBERS



Planteó su conocida paradoja en 1823.

Pero cada capa sucesiva tendría el mismo brillo porque, si el número de estrellas crece con el cuadrado de la distancia, su brillo también decrece cuadráticamente.



Como el cielo no está masivamente cubierto del brillo de estrellas...

No pueden existir infinitas capas.

Por tanto, la Galaxia ha de ser un sistema finito; y más allá, nada.

Conociendo ya bastantes distancias estelares, se quería conocer el tamaño de la Vía Láctea, para lo que hubo de suponerse que las separaciones medias entre estrellas serían muy parecidas.

Aceptando esta hipótesis y extrapolando, tras meticulosos recuentos fotográficos, Kapteyn estimó en 1906 que las dimensiones de la Galaxia serían de 23.000 años luz de diámetro por 6000 de espesor; y se quedó corto.

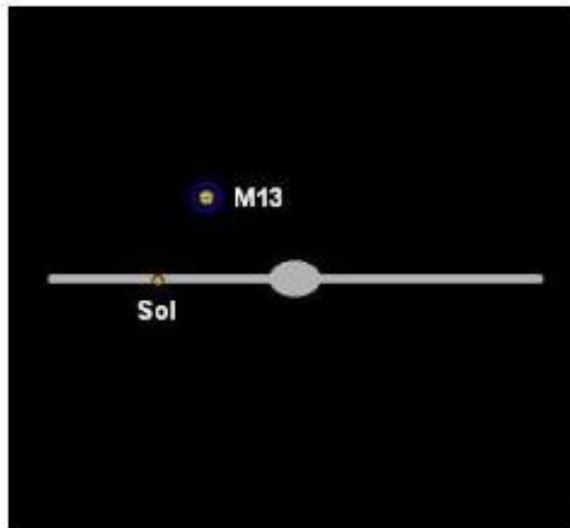
Tantas estrellas tenían
que girar en bloque
para compensar, por la
fuerza centrífuga, la
mutua atracción
gravitatoria



Como los movimientos estelares observados eran aleatorios, el Sol se debería mover conjuntamente con el bloque.

Antes de 1800, Herschel observó nebulosas localizadas en 1750 por Charles Messier. La M13 era un denso aglomerado esférico de estrellas. Lo llamó "*cúmulo globular*".

Ahora sabemos su posición en la Galaxia y respecto a nosotros

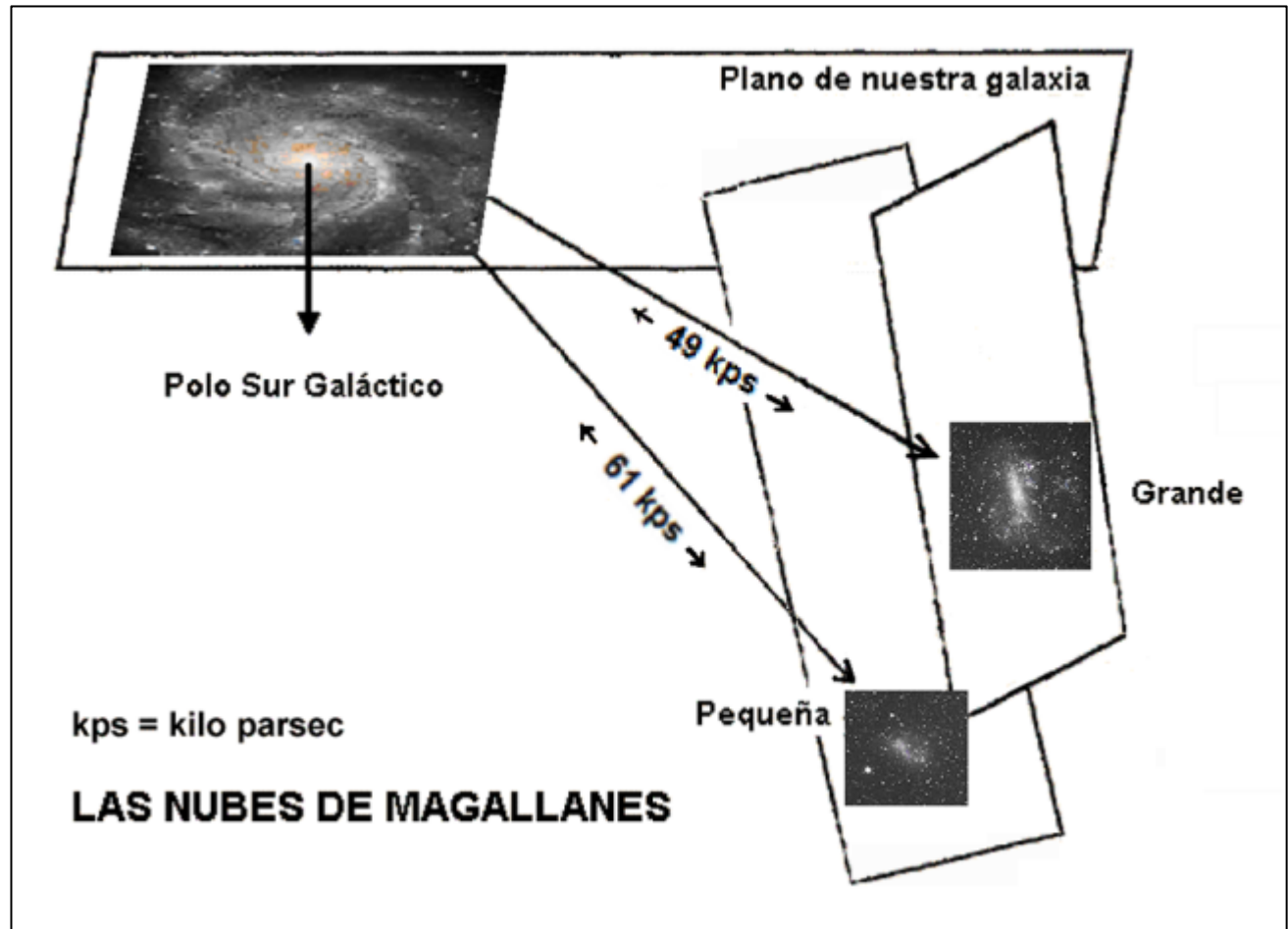


Cúmulo globular M13

Y se fueron descubriendo muchos más...

En 1512, durante la circunnavegación, los marinos observaron dos manchas blancas en el cielo, que llamaron Nubes Pequeña y Grande de Magallanes (*Nubecula Minor* y *Nubecula Maior*).

Son pequeñas
galaxias
satélites de la
Galaxia. Sólo
son visibles
desde el
hemisferio
austral



Distancia a Nube Grande $\approx$ 160.000 años luz
Distancia a Nube Pequeña $\approx$ 200.000 años luz

En 1512, durante la circunnavegación, los marinos observaron dos manchas blancas en el cielo, que llamaron Nubes Pequeña y Grande de Magallanes (*Nubecula Minor* y *Nubecula Maior*).

Son pequeñas
galaxias
satélites de la
Galaxia. Sólo
son visibles
desde el
hemisferio
austral



Nubes vistas desde el observatorio
Large Millimeter/Submillimeter Array, en Atacama, Chile

Había estrellas que cambiaban periódicamente su brillo. La primera de este tipo, descubierta en 1784 por el astrónomo aficionado inglés John Goodricke, fue Δ Cephei, que 'late' cada 130 horas. Estas estrellas inestables se llamaron "cefeidas".

En 1912 la astrónoma estadounidense Henrietta Swan Leavitt estudió las fotos de cientos de cefeidas de la Nube Pequeña de Magallanes.

Como todas estaban a una distancia parecida ($160.000 \pm 3.500^*$ años luz) descubrió que había una proporción directa entre período y brillo, o magnitud aparente

World's Greatest 1000  Creation Scientists 2000

HENRIETTA SWAN LEAVITT

Astronomy 1868 - 1921

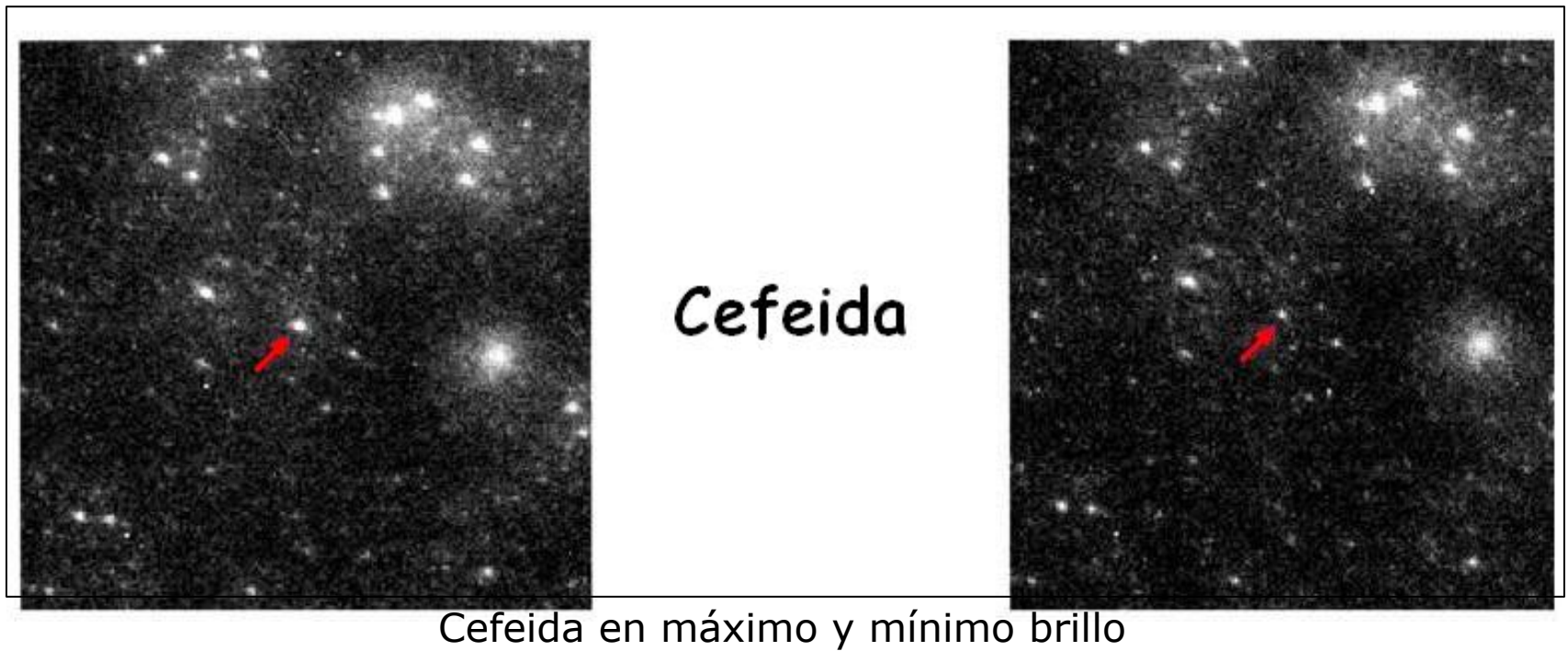


- Measured over 2000 Cepheid variable stars
- Discovered the Period-Luminosity Relation
- Leavitt's cosmic beacons used by Edwin Hubble for distance to galaxies
- Opened the way for measuring the universe

"Miss Leavitt. . . . [was] steadfastly loyal to her principles, and deeply conscientious and sincere in her attachment to her religion and church. She had the happy faculty of appreciating all that was worthy and lovable in others, and was possessed of a nature so full of sunshine that, to her, all of life became beautiful and full of meaning."

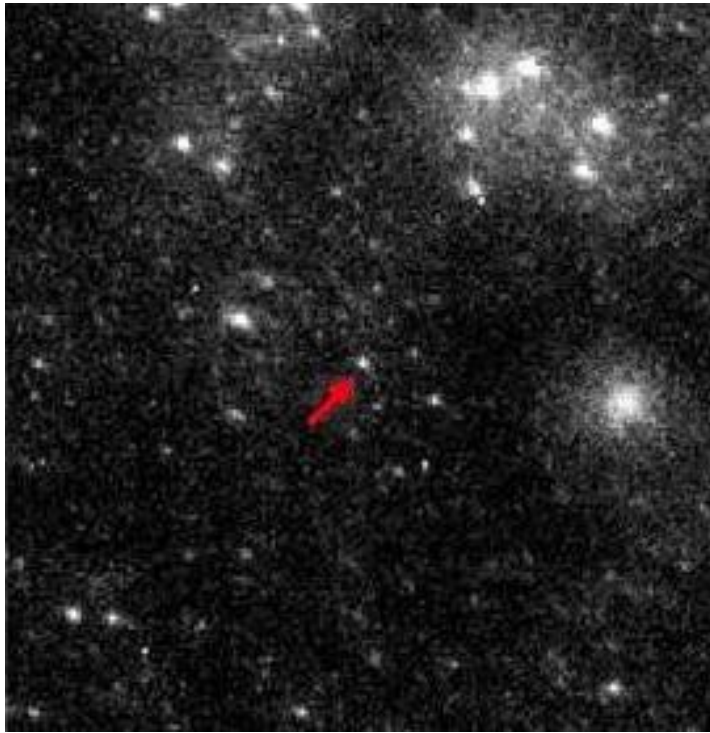
— Solon I. Bailey, 1922

* El diámetro de la Nube Pequeña de Magallanes es de 7.000 años luz.

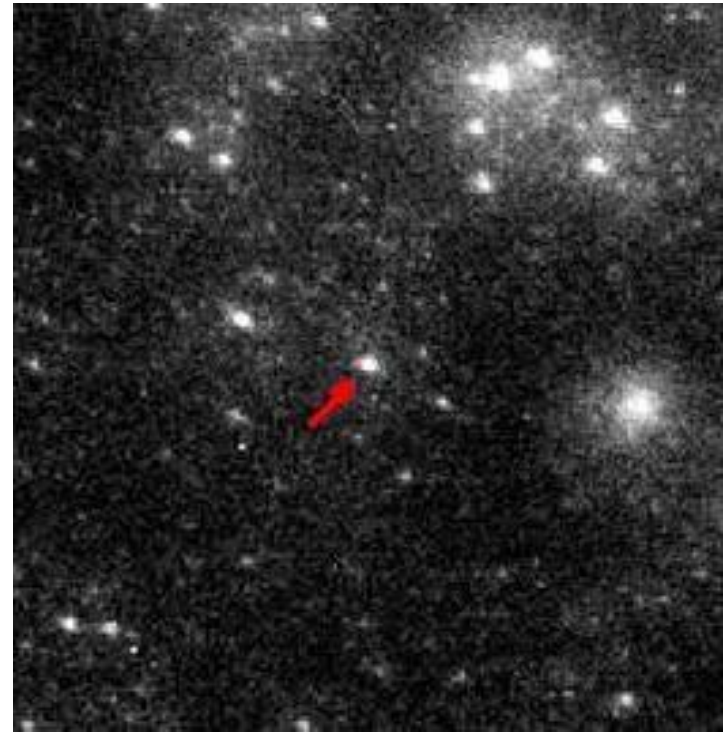


Había muchas cefeidas en la *Galaxia*. Aceptando que la relación brillo/período era válida en cualquier sitio, se conocería la proporción entre las distancias a dos de ellas (o distancias relativas, aunque no absolutas) relacionando sus magnitudes con sus períodos.

Se había inventado la escala proporcional cefeida.



Cefeida en mínimo brillo

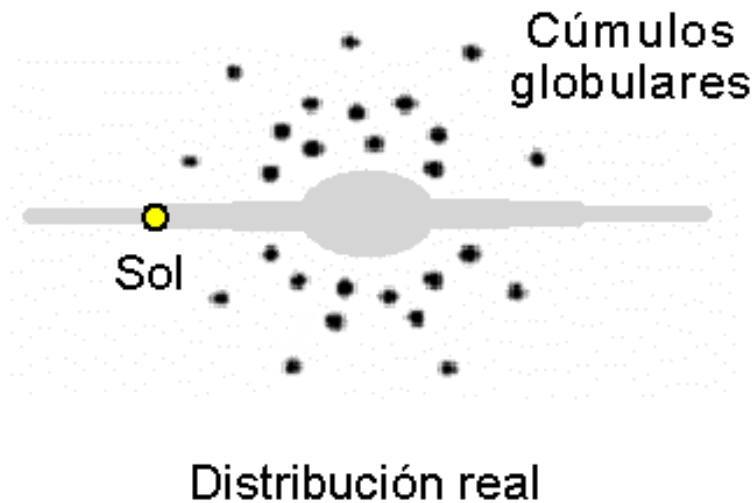
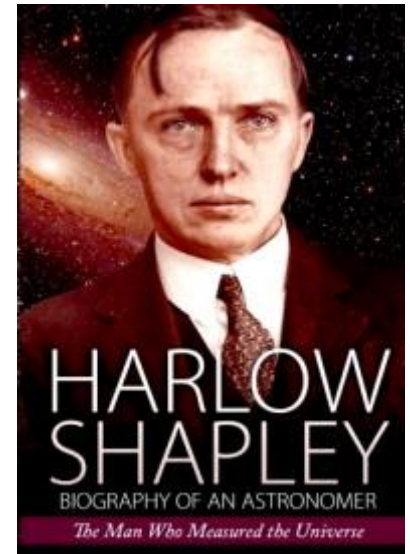


Cefeida en máximo brillo

Había muchas cefeidas en la Galaxia. Aceptando que la relación brillo/período era válida en cualquier sitio, se conocería la proporción entre las distancias a dos de ellas (o distancias relativas, aunque no absolutas) relacionando sus magnitudes con sus períodos.

Se había encontrado la escala proporcional cefeida.

Shapley estudiaba los cúmulos globulares, muchos con cefeidas. En 1920 fijó su distribución (sin distancias, claro) con la escala proporcional cefeida.

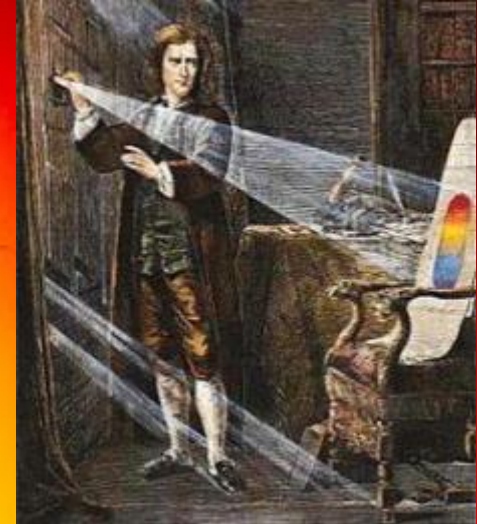
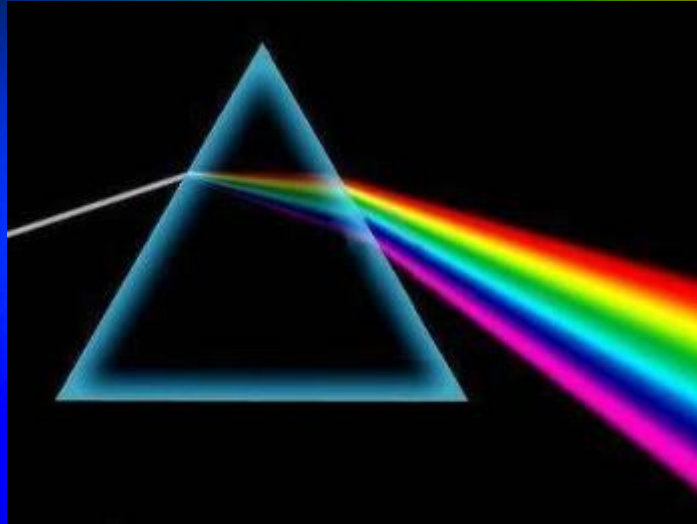


Comprobó que formaban una figura vagamente esférica, cuyo centro estaba alejado de nosotros.

Para conocer valores absolutos hacía falta conocer al menos una distancia, pero la paralaje anua sólo llegaba a 150 años luz y la cefeida más cercana estaba -como después se supo- a 400 años luz. ¿Cómo medir?

La ESPECTROGRAFÍA

Una nueva herramienta de medida



El espectro fue descubierto por Newton*

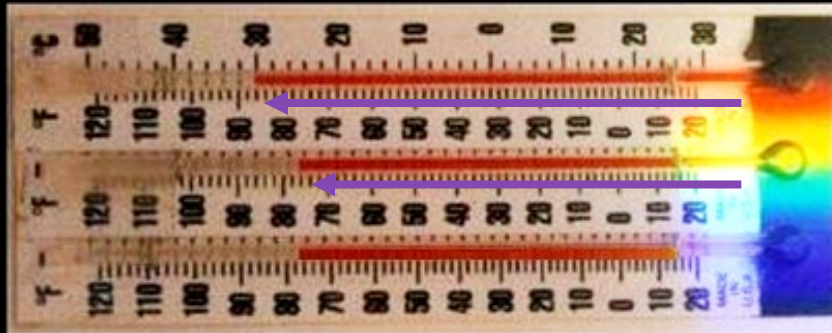
* Newton huyó de la peste durante “La gran plaga de Londres” de 1665 (100.000 víctimas) a una finca de su familia en Woolsthorpe-by-Colsterworth. Durante el tiempo que allí estuvo, inventó el cálculo infinitesimal, las leyes fundamentales de la mecánica, descubrió la gravitación universal, renovó la óptica y mucho más...

La ESPECTROGRAFÍA

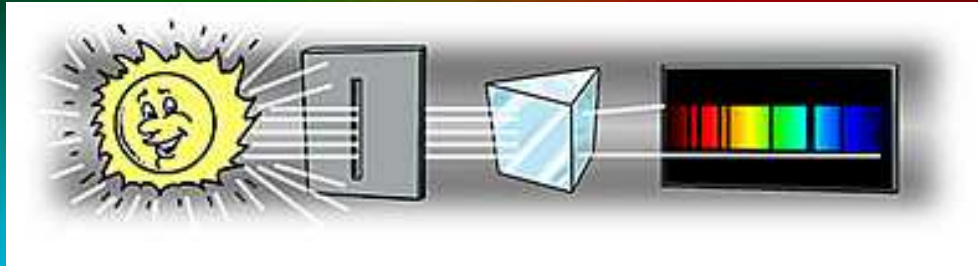


Sir Frederick
William Herschel
1783 - 1822

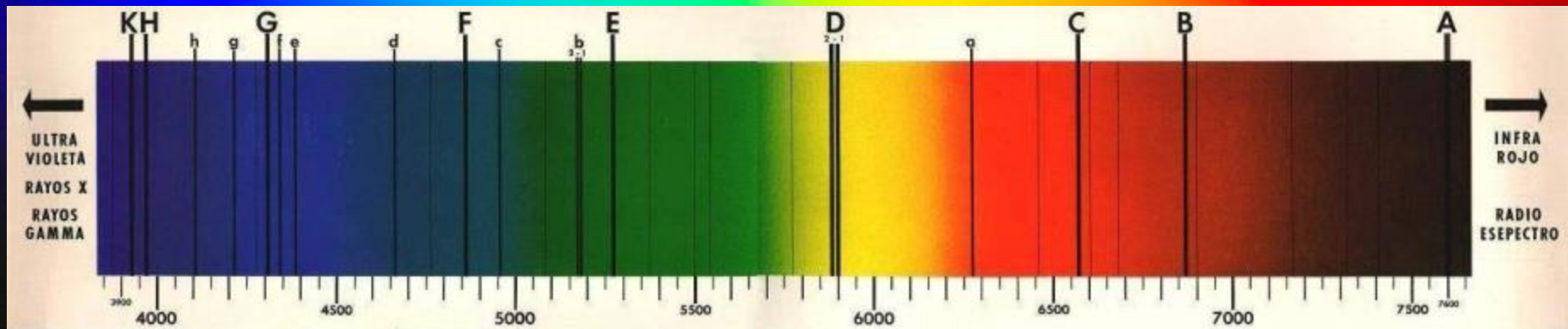
Herschell descubrió
en 1800 la radiación
infrarroja térmica



La ESPECTROGRAFÍA

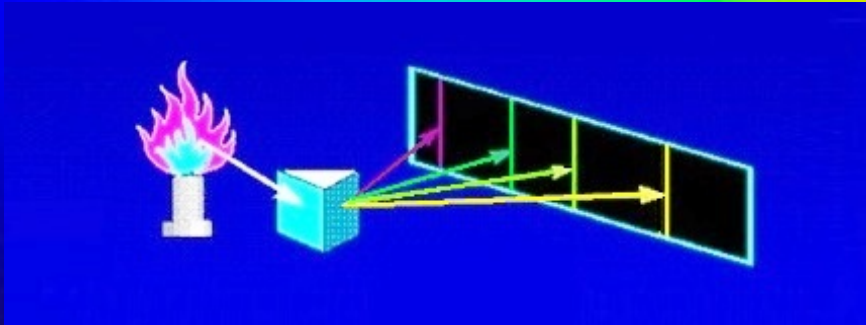


**Fraunhofer descubrió
sus 'rayas' en 1814**

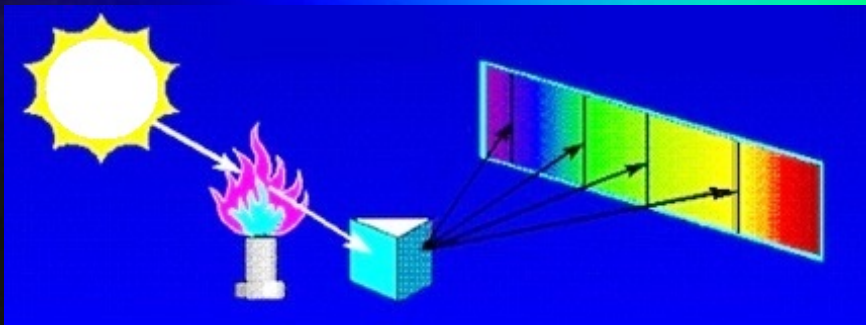


La ESPECTROGRAFÍA

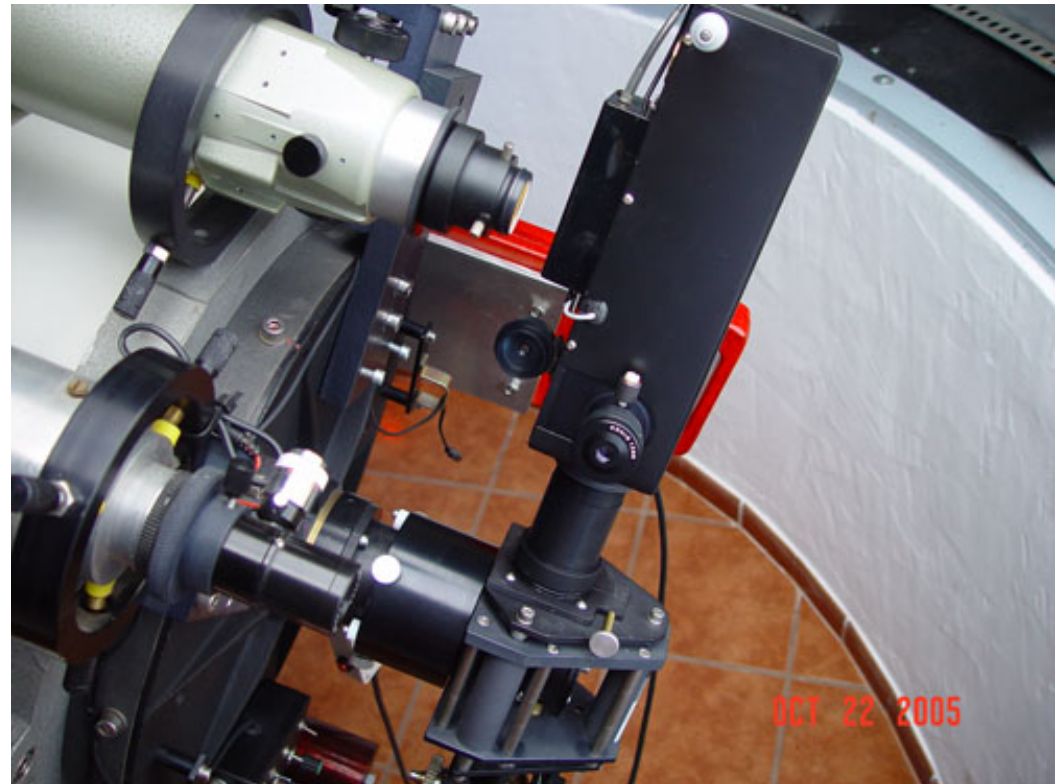
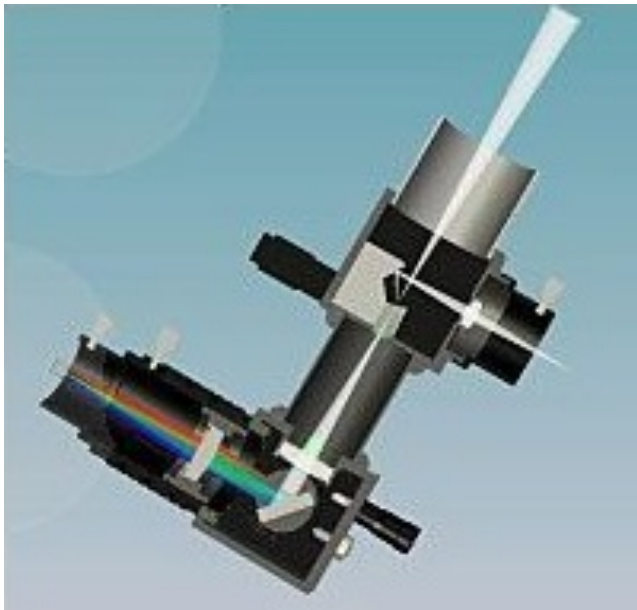
Kirchhoff y Bunsen interpretaron en 1850 las 'rayas', que son como la huella dactilar de un elemento químico



Cuando un átomo (en el ejemplo, de un gas en combustión) está caliente emite fotones de longitudes de onda concretas, que crean las rayas de emisión.

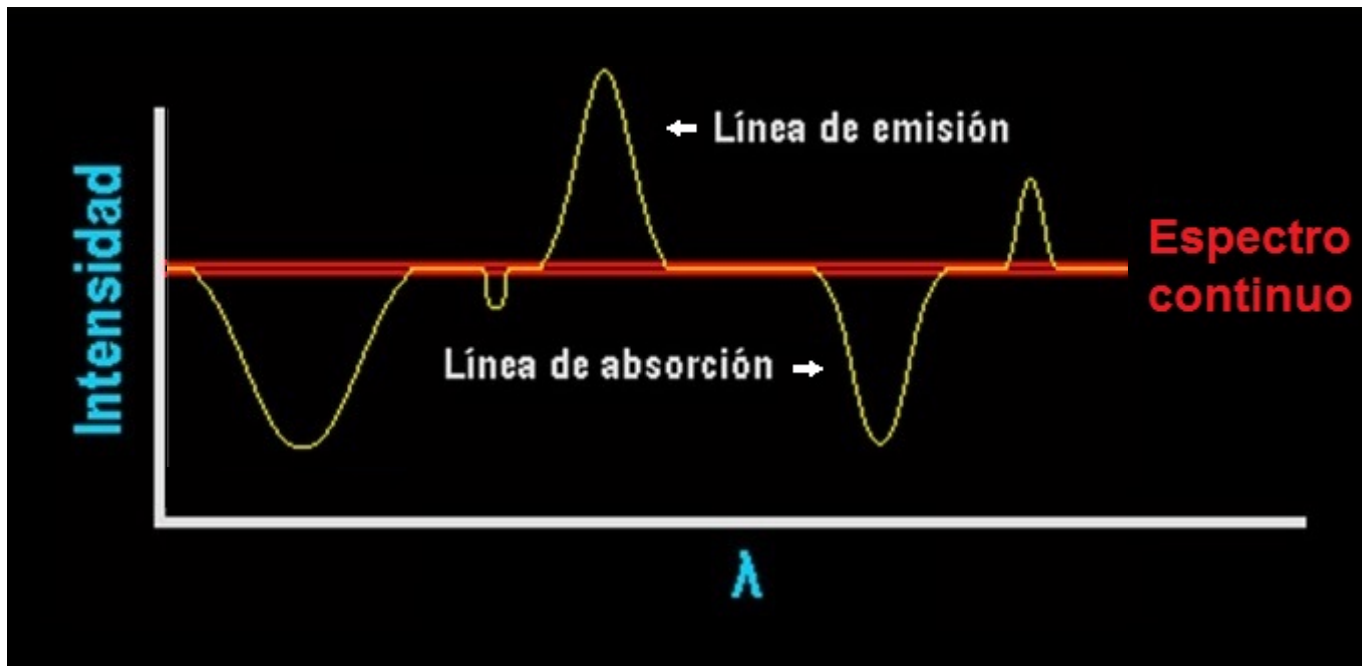


Si pasa luz blanca a su través, absorbe esos mismos fotones, faltando en la luz resultante sus rayas de absorción.



**Espectrógrafos
montados en telescopios**

En la espectrometría no se identifican independientemente las líneas de emisión y absorción; se utiliza la densitometría óptica con referencia a la intensidad de un espectro continuo.

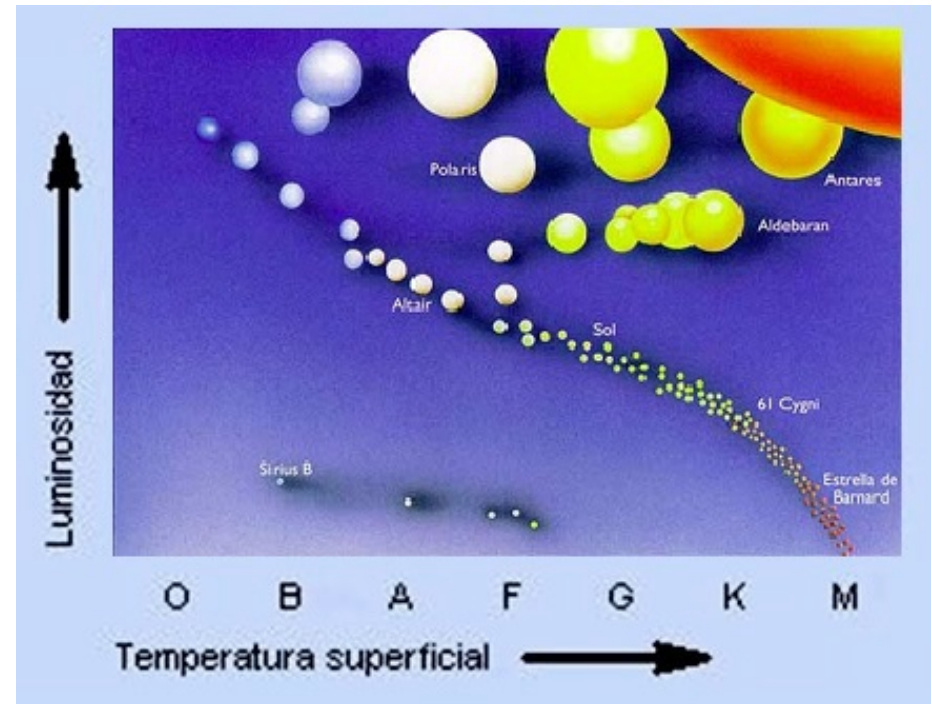
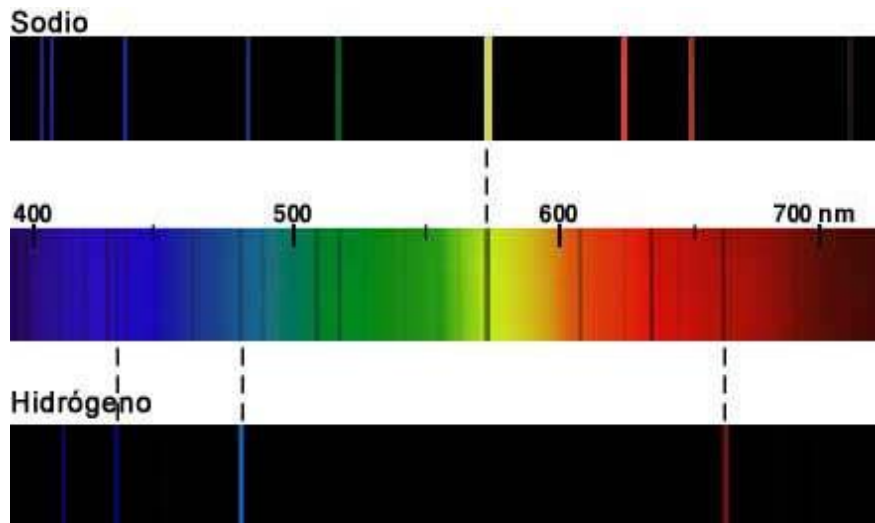


En el espectrograma se miden las amplitudes luminosas para cada longitud de onda λ .

El valor de los picos o valles indica la abundancia del elemento correspondiente y su temperatura.

El color de las estrellas depende de su temperatura superficial.

En 1911 se clasificaron en un diagrama, llamado de Hertzsprung-Russel, según luminosidad/temperatura



Se identificaron elementos según sus rayas de emisión por calor y según las de su absorción atmosférica

CLASIFICACIÓN ESTELAR

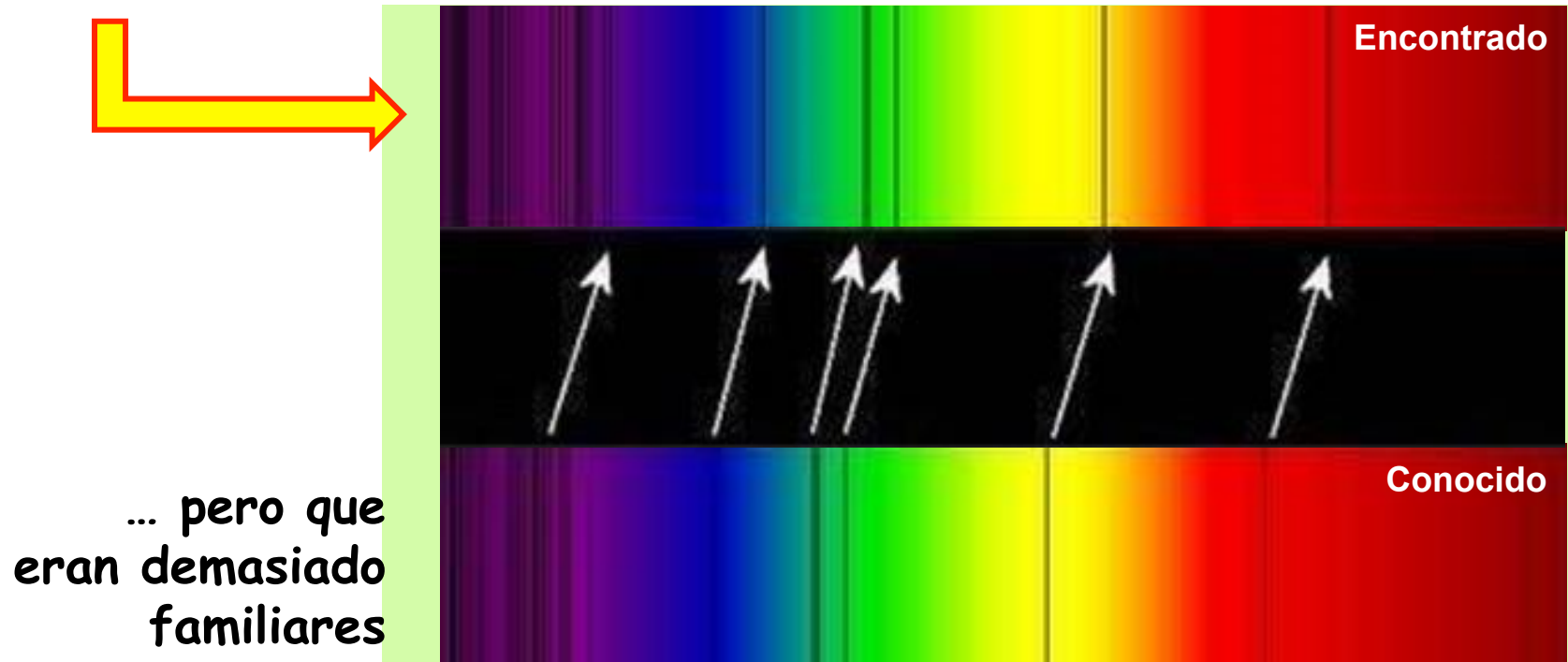
TIPO	COLOR Y TEMPERATURA	
O	Estrellas azules violáceas De 25.000 a 50.000 grados Imagen: Alnitak	
B	Estrellas azules De 11.000 a 25.000 grados Imagen: Rigel (B8)	
A	Estrellas azul pálido (cian) De 7.500 a 11.000 grados Imagen: Sirio	
F	Estrellas amarillo pálido De 6.000 a 7.500 grados Imagen: Canopo	
G	Estrellas amarillas De 5.000 a 6.000 grados Imagen: el Sol	
K	Estrellas anaranjadas De 3.500 a 5.000 grados Imagen: Epsilon Eridani	
M	Estrellas rojizas Menos de 3.500 grados Próxima Centauri	

Se establecieron unas
clases espectrales...

... con la composición
de sus atmósferas
calientes

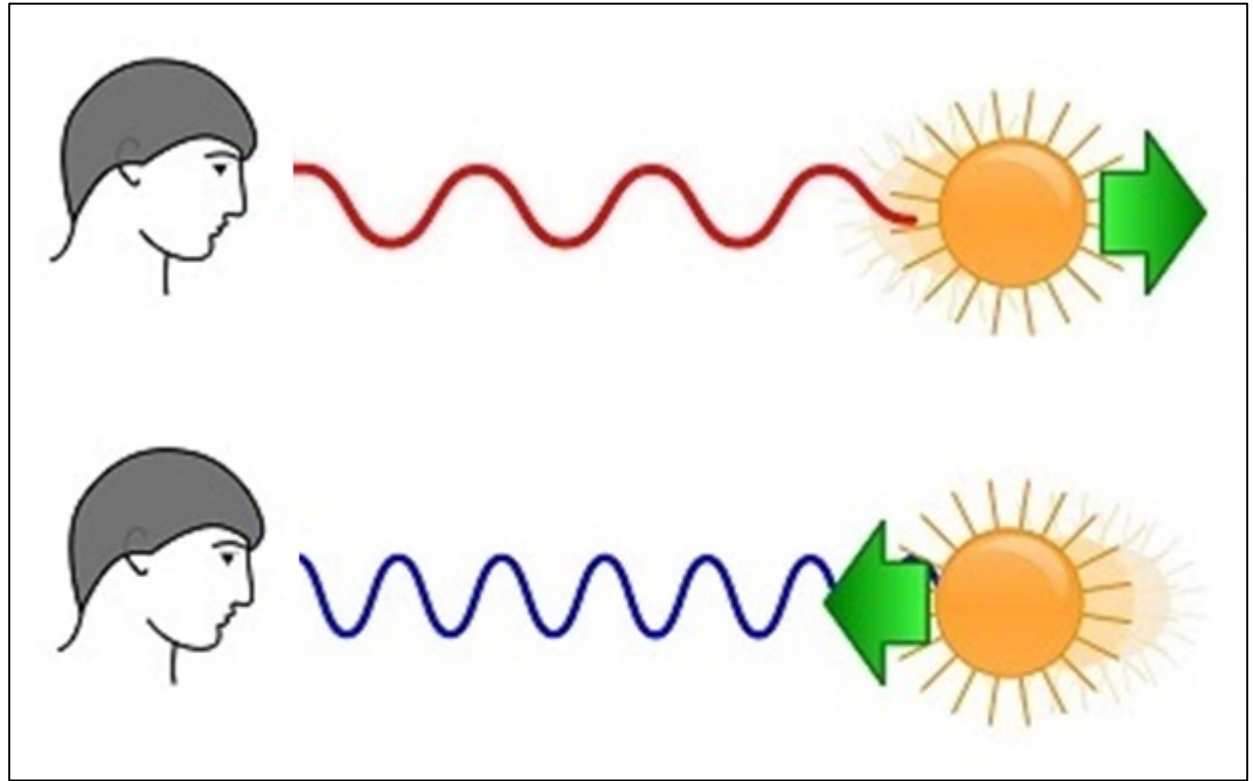
TIPO COLOR	TEMPERATURA ATMOSFÉRICA	COMPOSICIÓN
O Azules	25.000° a 50.000° C	He, Si
B Celestes	11.000° a 25.000° C	He, Si, Mg, O
A Blanca - azul	7.500° a 11.000° C	H, Metales
F Blanca	6.000° a 7.500° C	Ca, Metales
G Amarillas	5.000° a 6.000° C	H, He, Metales
K Anaranjadas	3.500° a 5.000° C	Metales, Ca, H, He
M Rojas	< 3.500° C	Metales, Ti, Ca

En los espectrogramas de algunas estrellas había grupos de rayas no coincidentes con los conocidos...



Se dedujo que, al alejarse la fuente, las líneas espectrales de un elemento sufrían un corrimiento hacia el rojo provocado por el alejamiento radial; y viceversa.

La velocidad del desplazamiento radial de la fuente es calculable mediante el efecto Doppler-Fizeau.



Se dedujo que las líneas espectrales de un elemento sufrían un corrimiento hacia el rojo provocado por el desplazamiento radial cuando se alejaba (que sería hacia el azul si se acercara).

El corrimiento hacia el rojo (o viceversa) es como un velocímetro.

Un cúmulo globular medio tiene un diámetro de 100 años luz, con un millón de estrellas que se mueven en direcciones aleatorias dentro del cúmulo en sí.

El movimiento de una estrella puede ser en cualquier dirección, radial y tangencial, pero la velocidad media resultante es estadísticamente igual; como con la gente en un baile.

La velocidad radial media tenderá a ser igual que la velocidad tangencial media.

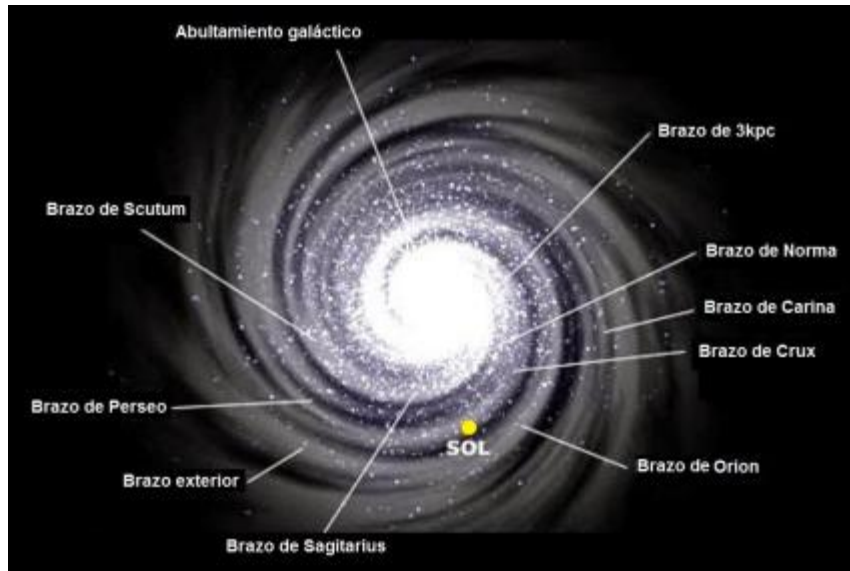
La velocidad radial media puede ser medida espectroscópicamente.

El desplazamiento tangencial medio es medible angularmente.

Puede calcularse a qué distancia coinciden ángulo y velocidad.

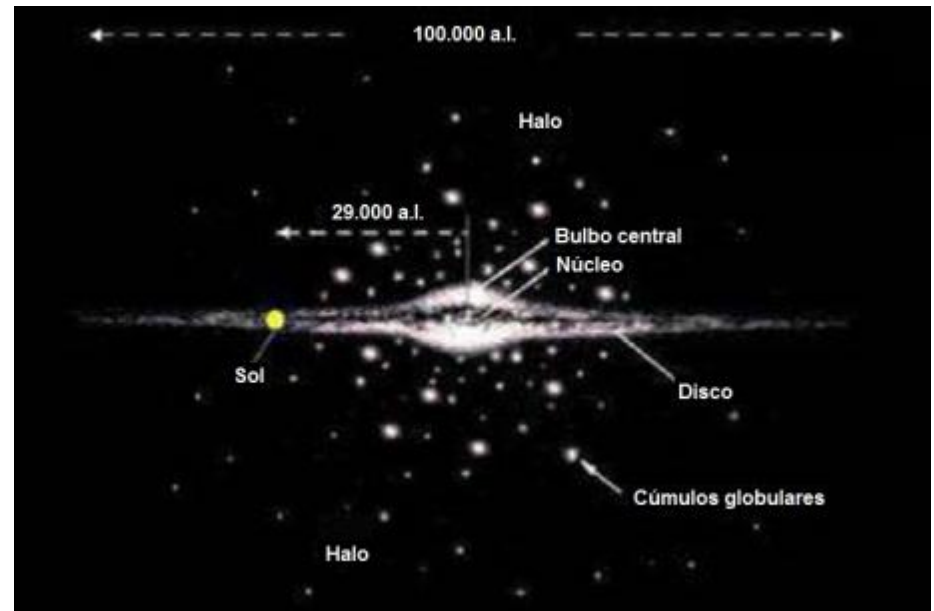
DISTANCIA AL CÚMULO GLOBULAR: ¡MEDIDA!

La 'ESCALA PROPORCIONAL CEFEIDA' se convirtió así en la 'ESCALA ABSOLUTA CEFEIDA', y se podía medir con ella.



Se pudo dar dimensión a la ya conocida figura de la *Galaxia*

La *Galaxia* es lenticular, con un diámetro de 100.000 años luz -quizá más- y un espesor de al menos 16.000. Está formada por unos 100.000 millones de estrellas



El ya mencionado diagrama Hertzsprung-Russell de 1911 permite conocer el estado de evolución de una estrella

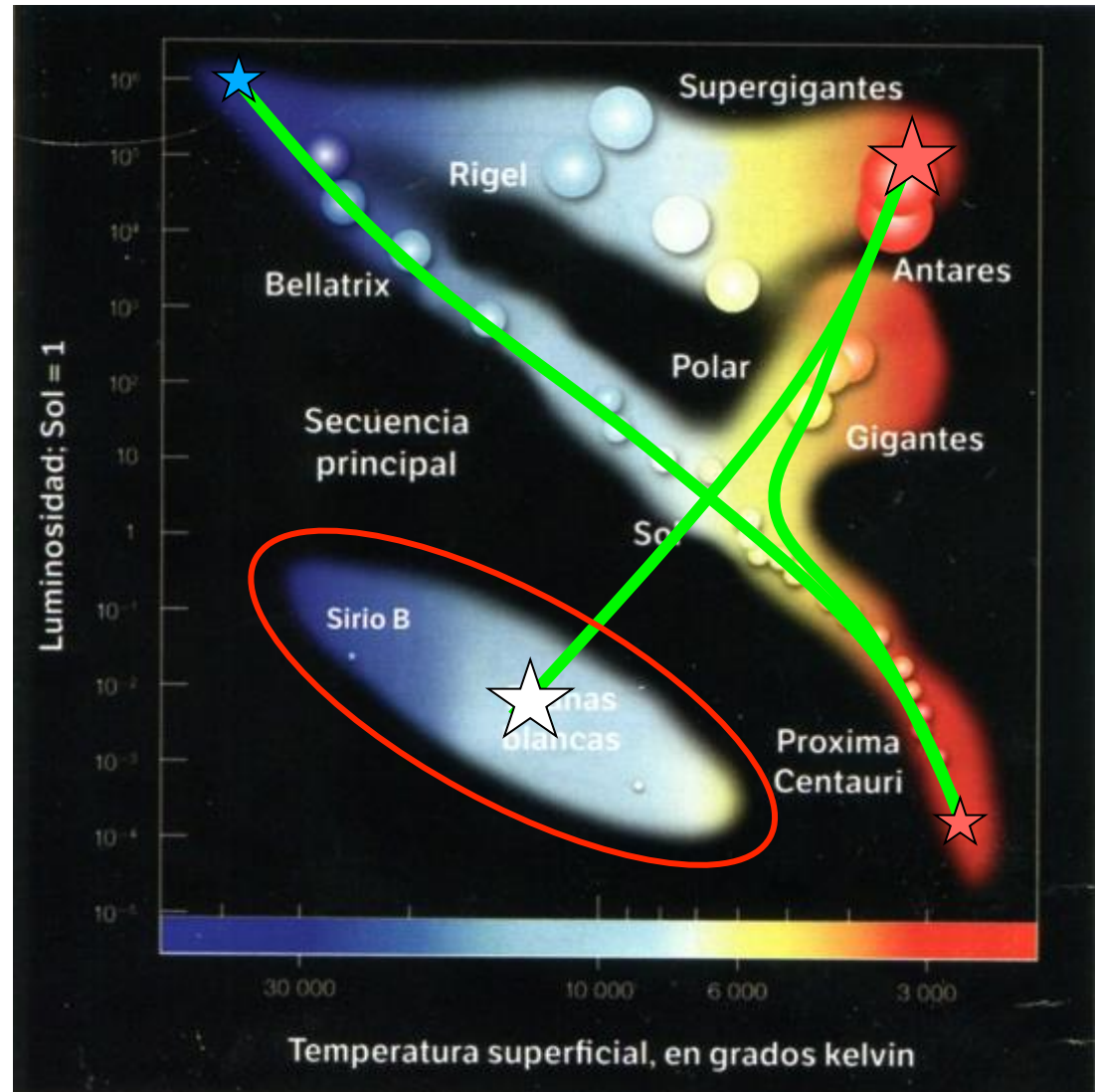
La estrella comienza como azul muy caliente

Evoluciona según la secuencia principal pasando a roja templada

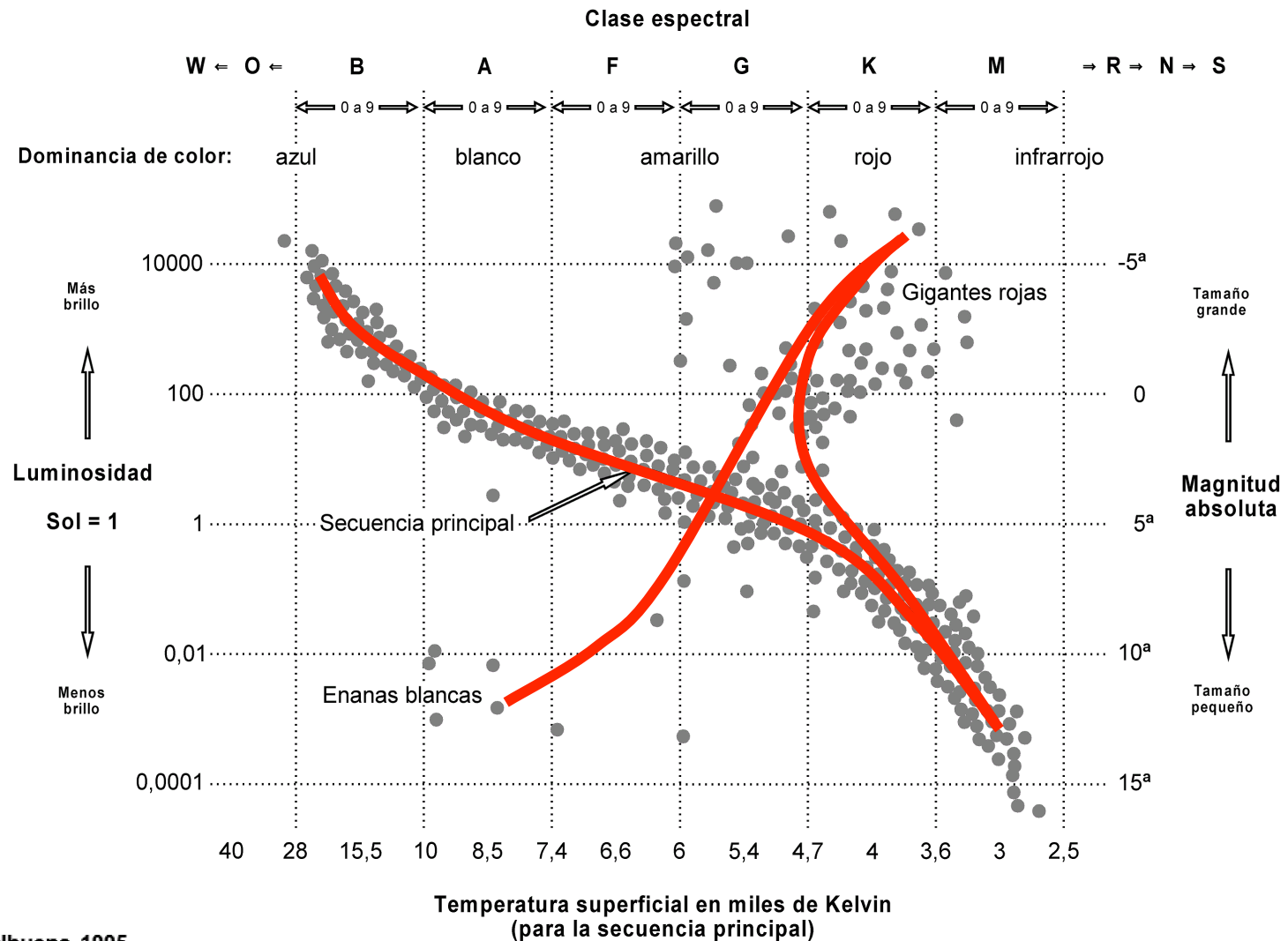
Entonces se convierte en gigante roja

Y termina pasando a enana blanca

Así terminan.



En este diagrama H-R se clasifican las estrellas según sus clases espectrales, su brillo y su temperatura superficial



Más allá de la Galaxia

En 1923 Edwin Powell Hubble pudo distinguir en Andrómeda estrellas aisladas, y localizó varias cefeidas.

Usó el telescopio Hooker, de 2,5 m $\varnothing$



(ecuatorial
de bastidor)



Usando la escala cefeida, Andrómeda resultó estar a 800.000 años luz: era lo más distante conocido.

En 1917 se habían medido por desplazamiento espectral velocidades de fuga de hasta 640 km/s; en 1928, 3800 km/s; en 1936, hasta 40.000 km/s (0,13 c); luego más*, mucho más...

Al correlar las distancias conocidas a estrellas con sus velocidades de fuga medidas, en 1929 Hubble estableció su *Ley*.

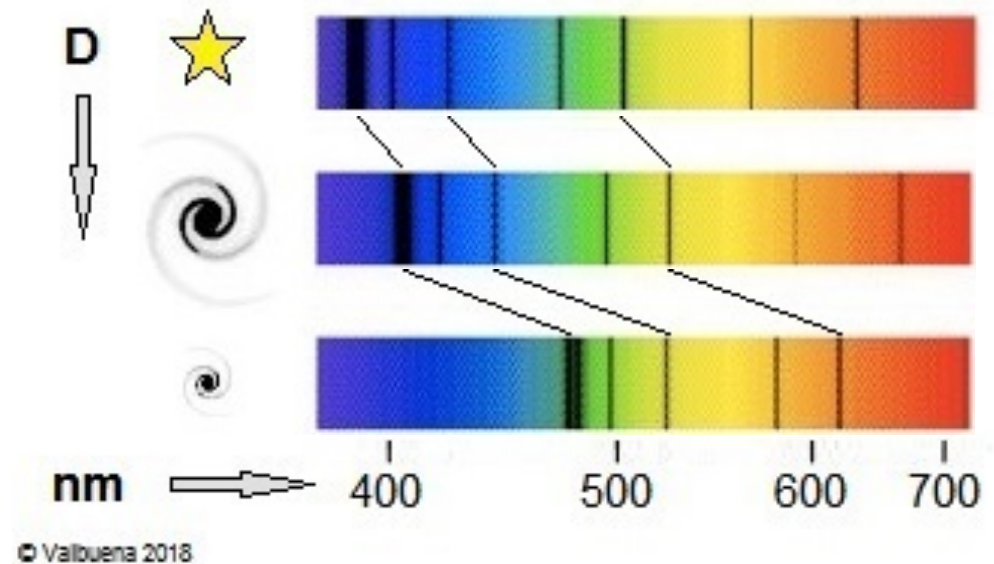
* El cuásar ULAS J1120+0641, el más distante descubierto hasta la fecha, está a 12.900 millones de años luz y tiene una velocidad de fuga superior a 0,9 c.

Hubble estableció la constante **H** en función del desplazamiento al rojo, la velocidad de la luz **c** y la distancia **D** a la estrella.

La Ley de Hubble relaciona la distancia a una estrella con su velocidad de fuga:

$$\mathbf{V} = \mathbf{D} \times \mathbf{H}$$

$$\mathbf{D} = \mathbf{V} / \mathbf{H}$$



donde **V** es la velocidad de fuga en km/s

D es la distancia en megaparsecs (Mpc)

H es la constante de Hubble

Con la escala cefeida, el desplazamiento espectral y la ley de Hubble ya se tuvo un conocimiento fiable del Universo.

Conociendo las distancias se pudieron estimar los tamaños absolutos de lo observado, en función de su tamaño aparente.

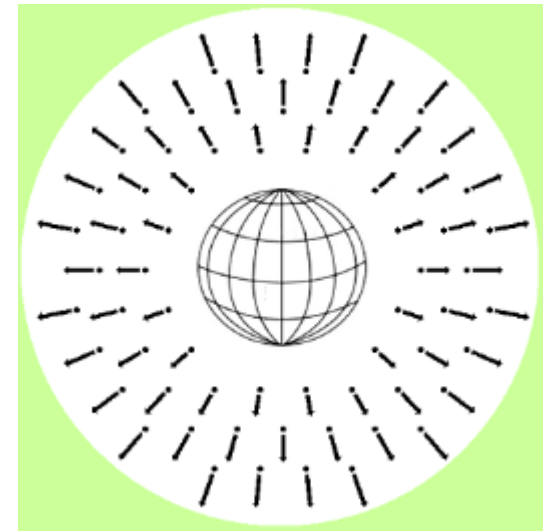
Y resultó que las estrellas nos huían, tanto más deprisa cuanto más lejanas



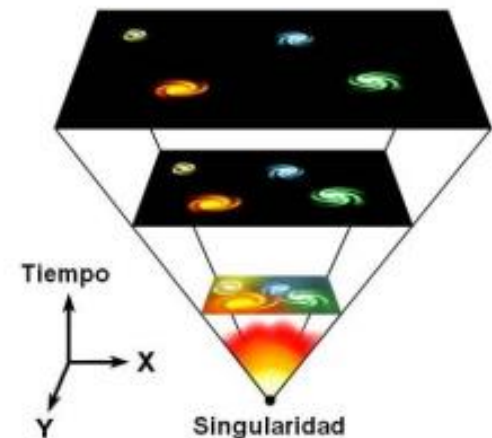
El Universo estaba en expansión

Todo se alejaba de todo.

Ese fue el fundamento de la teoría del Big Bang



Éramos un centro repulsor



Pero... surgió un problema:

Todo en nuestra Galaxia era enorme en comparación con el resto:

Andrómeda era cuatro veces menor.

Los cúmulos globulares encontradas en las nuevas galaxias estaban más próximos unos a otros y eran más pequeños.

Hasta las novas extragalácticas eran más débiles que las de la Galaxia.

Algo no encajaba... y ya habíamos aprendido humildad...

Revisión de la escala cefeida

En 1942 el germanoamericano Walter Baade volvió a estudiar Andrómeda, en cuyas cefeidas se basó la ley de Hubble. Y las encontró de dos clases espectrales.

Las cefeidas observadas en Andrómeda eran estrellas jóvenes, grandes y calientes, situadas en los brazos espirales, y las llamó 'Población 1' (P₁). En el núcleo y los cúmulos globulares, eran viejas, pequeñas y frías, y las denominó 'Población 2' (P₂).

Leavitt y Shapley habían observado cefeidas de P-2 en las Nubes de Magallanes y en nuestros cúmulos globulares. No vieron nuestras P-1, en los brazos de la Galaxia, que estaban ocultas por polvo estelar.

A igualdad de magnitud aparente, las cefeidas I, de la P-1, eran de mayor período que las cefeidas II, de la P-2.

Hubble había observado cefeidas P-1 en Andrómeda.

Aplicando el patrón P-2 a las cefeidas de P-1, todo estaba más lejos, por lo que era más grande.

La ley de Hubble seguía vigente, pero el valor de su constante H , basado en las cefeidas II, hubo de cambiarse a la mitad para las cefeidas I.

La constante de Hubble H_0 está ahora fijada (WMAP-2008) en $70,1 \pm 1,3 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

Andrómeda estaba a 2,7 millones de años luz, no a 800.000; y el resto de objetos del Universo se alejó proporcionalmente: ya éramos *normales*.

En la década de 1990 se empezaron a medir distancias a galaxias según el brillo de cierto tipo de supernovas.

La supernova
proviene de una
enana blanca que
tiene un tamaño
como el de la
Tierra, pero masa
como la del Sol,
situada en las
proximidades de
otra estrella de la
que "aspira" gas
(acreción)



La enana blanca va ganando masa con la acreción. Cuando supera el llamado 'límite de Chandrasekhar' (1,4 veces la masa de nuestro Sol) se produce una reacción termonuclear que provoca la explosión*

Las supernovas Ia, son perfectamente identificables espectroscópicamente y siempre tienen el mismo brillo en el momento de explotar. Se emplean como 'candela estándar' (valor de referencia) para medición comparativa de distancias.

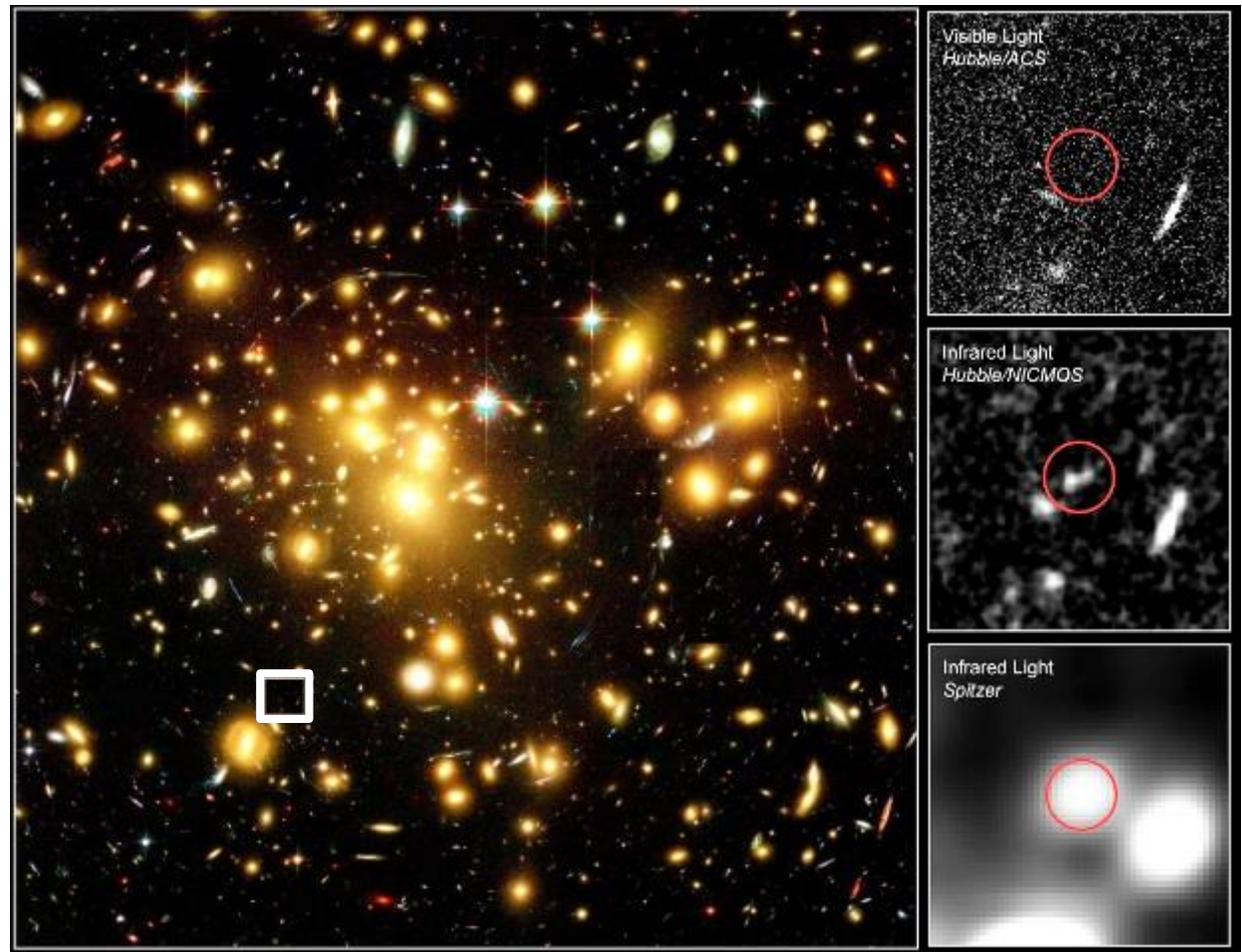
Con estas nuevas balizas de referencia se ha podido actualizar más exactamente la constante de Hubble.

* Esto ocurre cuando la acreción es rápida, pero si es lenta, la capa superficial no se 'enciende' y colapsa en estrella de neutrones.



La galaxia más
lejana hasta ahora
detectada es la
“*galaxia-bebé*”
A1689-zD1, a
12.800 millones de
años luz

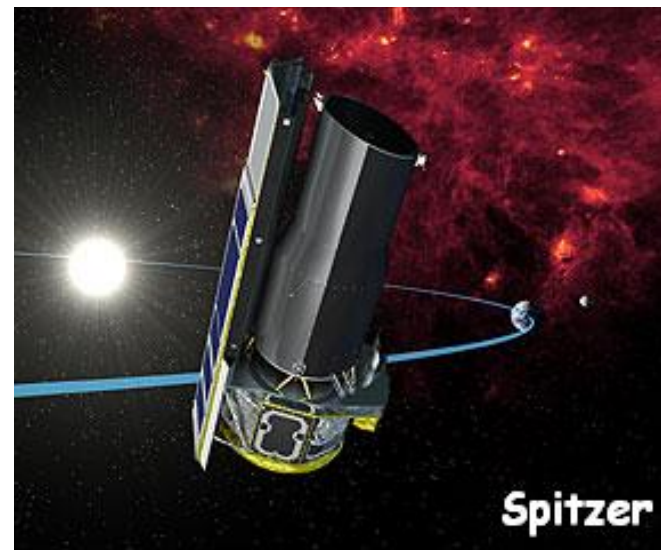
Las emisiones
ahora recibidas se
generaron cuando
el Universo estaba
en su infancia.



La descubrieron los telescopios espaciales Hubble y Spitzer gracias al efecto “lente-gravitatoria” del cúmulo de galaxias Abell 1689, a 2200 millones de años luz de la Tierra, que magnifica la imagen de la lejanísima galaxia, aumentando su brillo en más de 10 veces.



Telescopios espaciales



De estrella (Sol) para arriba, la jerarquía del Universo es: cúmulo de estrellas, galaxia, grupo local, cúmulo de galaxias y súper galaxia.

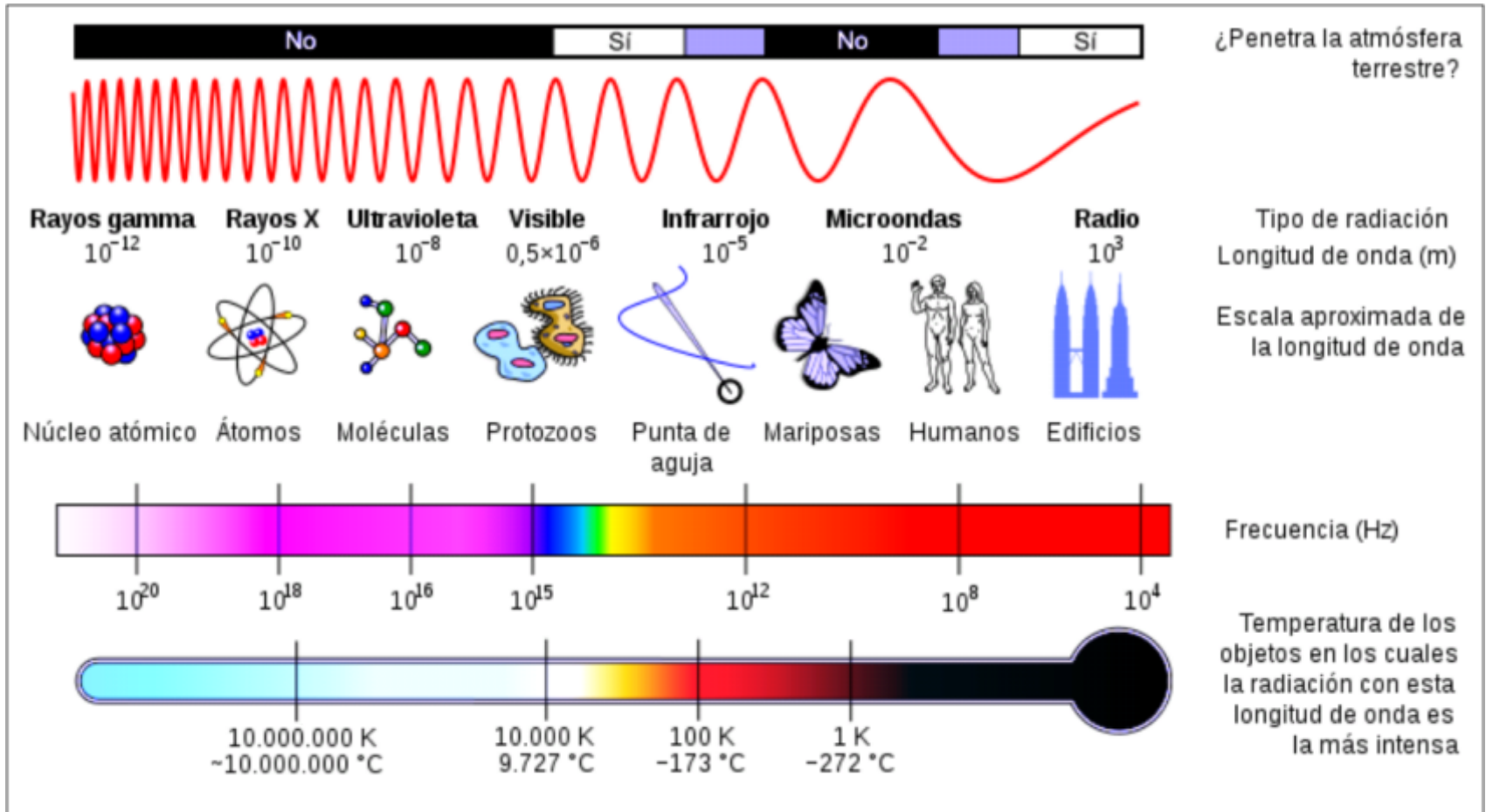
La jerarquía, de estrella para abajo es: planeta, satélite, asteroide, cometa y cuerpo menor.

Grupo local son las galaxias cercanas que no huyen entre sí. En nuestro caso, 27; entre ellas, las Nubes de Magallanes y, en el límite, Andrómeda.

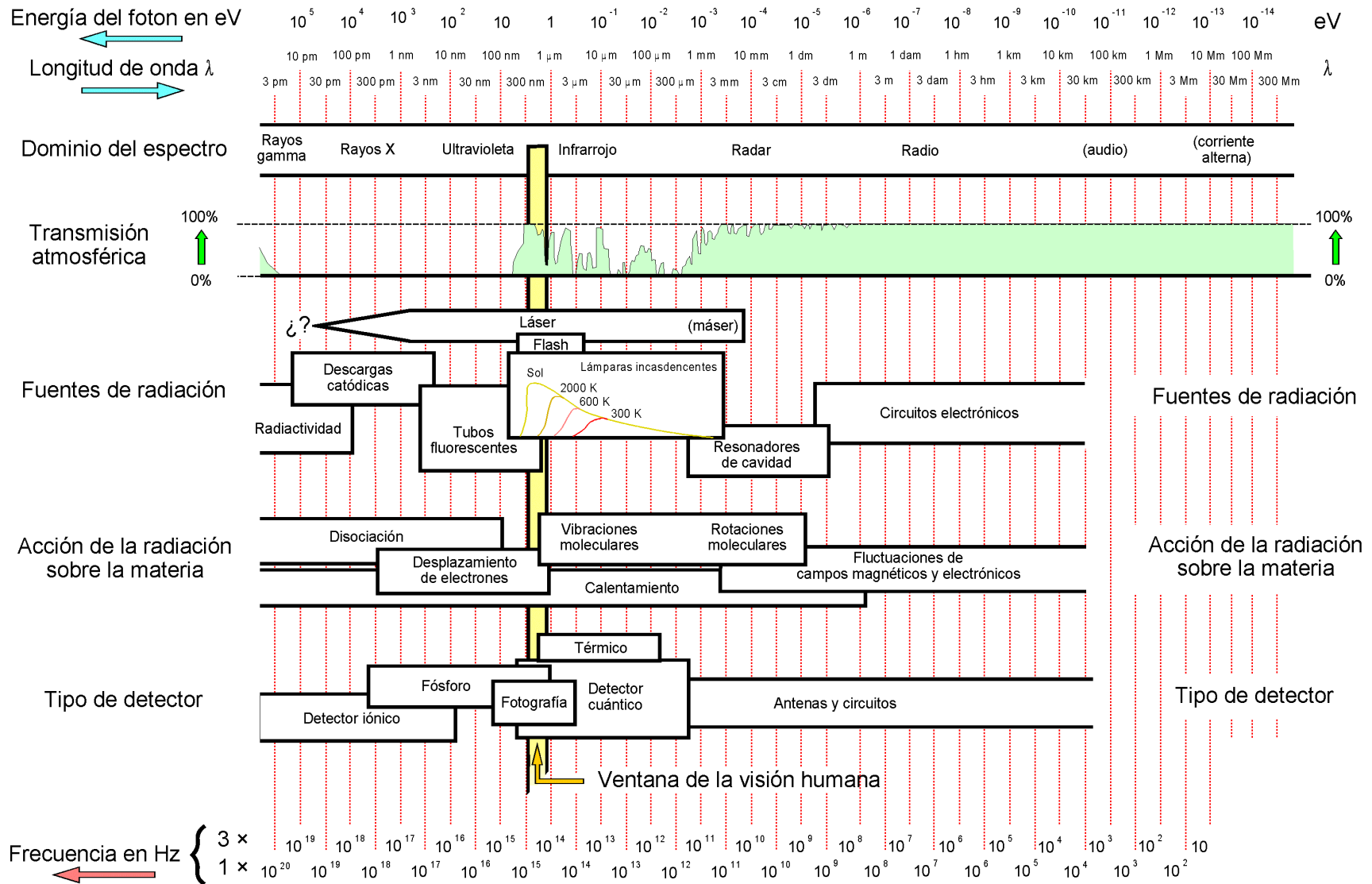
La extensión de nuestro grupo local es de unos 3 millones de años luz, con distancia entre galaxias de unos 20 millones de años luz.

Sobre Radioastronomía

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



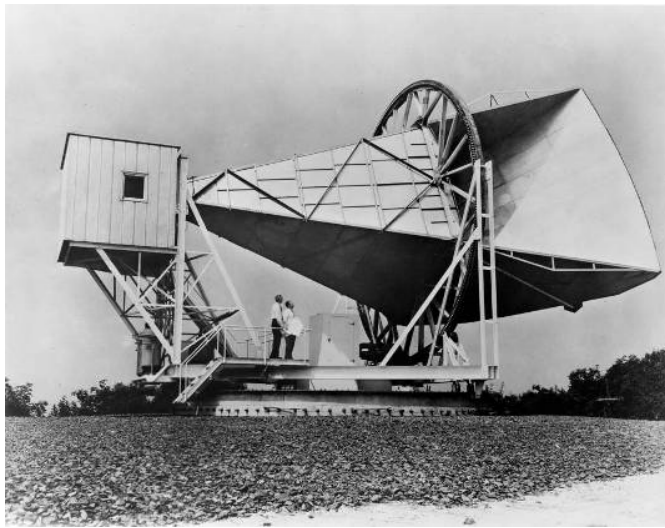
ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



Hasta comienzos del siglo XX, sólo podíamos observar la luz visible de las estrellas, que era su única emisión conocida.

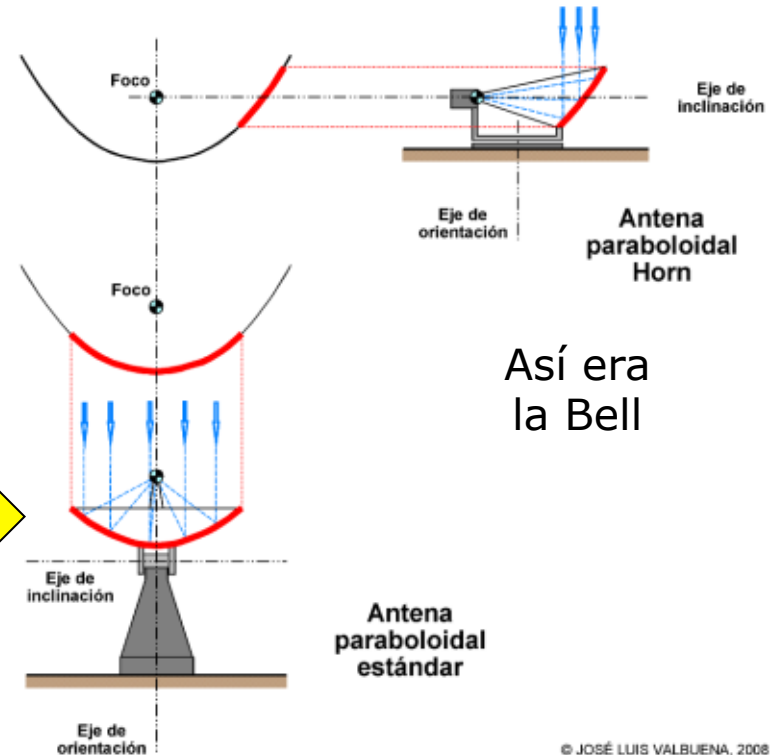


En 1897 Guglielmo Marconi descubrió cómo utilizar las emisiones en la banda radio del espectro electromagnético



Esta antena se usó para enlazar con el TELSTAR, el primer satélite de comunicaciones (1965)

Antena de Bell Telephone



Así era la Bell

DISCOVERY OF COSMIC BACKGROUND



Predicha en 1948 por Alpher, Bethe y Gamow

Descubierta en 1968 por Wilson y Penzias



Robert Wilson



Arno Penzias

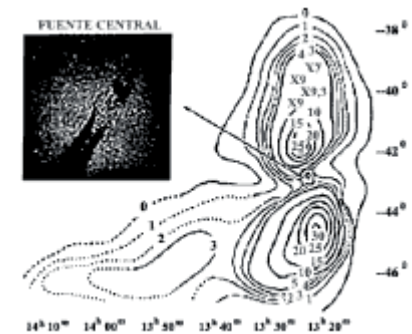
Wilson y Penzias descubrieron con ella la radiación cósmica de fondo (*radiación relicta del Big Bang*) y obtuvieron el Premio Nobel en 1978

Las radiofuentes ordinarias exteriores pueden dividirse en galácticas y extragalácticas.

Las de la Galaxia son:
planetas con turbulencias
atmosféricas, estrellas
normales, de neutrones -o
púlsares- y novas



Las extragalácticas pueden
ser nubes de gas, galaxias,
galaxias en colisión,
radiogalaxias y cuásares



(Estas imágenes de astros radiantes son de su emisión en la banda visible.)

GRANDES ANTENAS

Jodrell
Bank (UK)
1957

Su antena
Lowell de
76 m Ø



GRANDES ANTENAS

Construcción 1968

Colapso 1998

Observatorio Green Bank
Antena de 100 m Ø

Sustituida por la Bird (2000)



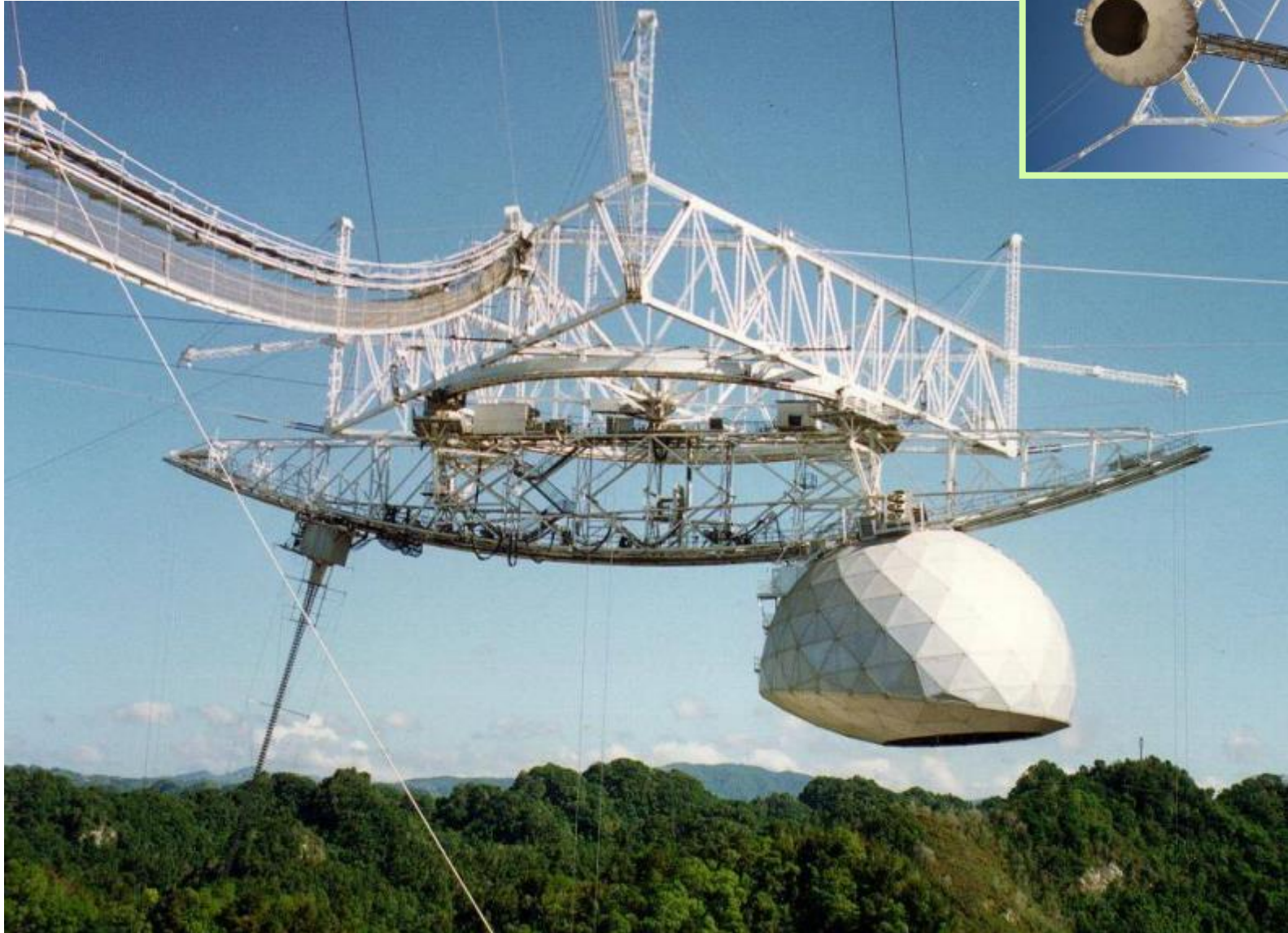
ARECIBO

300 m Ø



ARECIBO

Brazo de acimut (100 m)



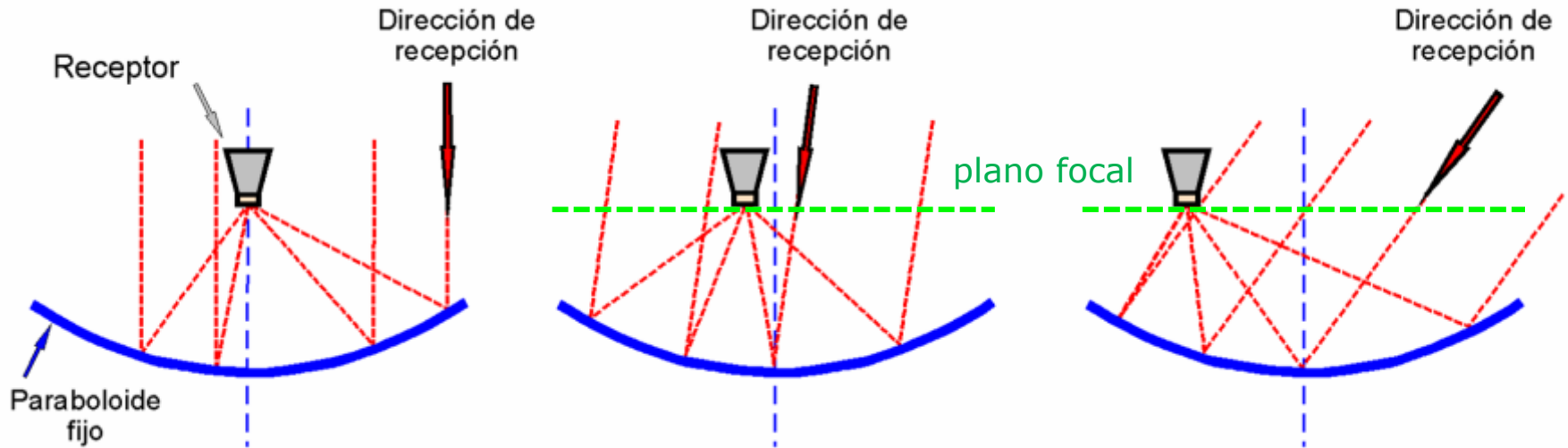
FAST



Con 500 m $\varnothing$ ha entrado en servicio en China en 2016

PARABOLOIDES FIJOS

Orientación de recepción



Observación
cenital

Variación de dirección desplazando el
receptor en el plano focal.

No pueden observar cerca del horizonte, pero tampoco es especialmente deseable, al ser la zona más desfavorable por turbulencias y el excesivo recorrido atmosférico.

Sobre Tiempo y Espacio



¡Dije 4004, y es en serio!

En 1650 el arzobispo James Ussher calculó, usando la cronología según datos de la Biblia, que la Creación se produjo a las 8 de la tarde del 22 de octubre del año 4004 a.C.



Pero los ciclos de la erosión, según su avance, son como mínimo de millones de años; y ha habido muchos ciclos. Con la datación por desintegración radioactiva, las cifras crecieron hasta miles de millones de años.

La formación del Sol y su Sistema data de unos 4900 millones de años; la de la Tierra, unos 4600.

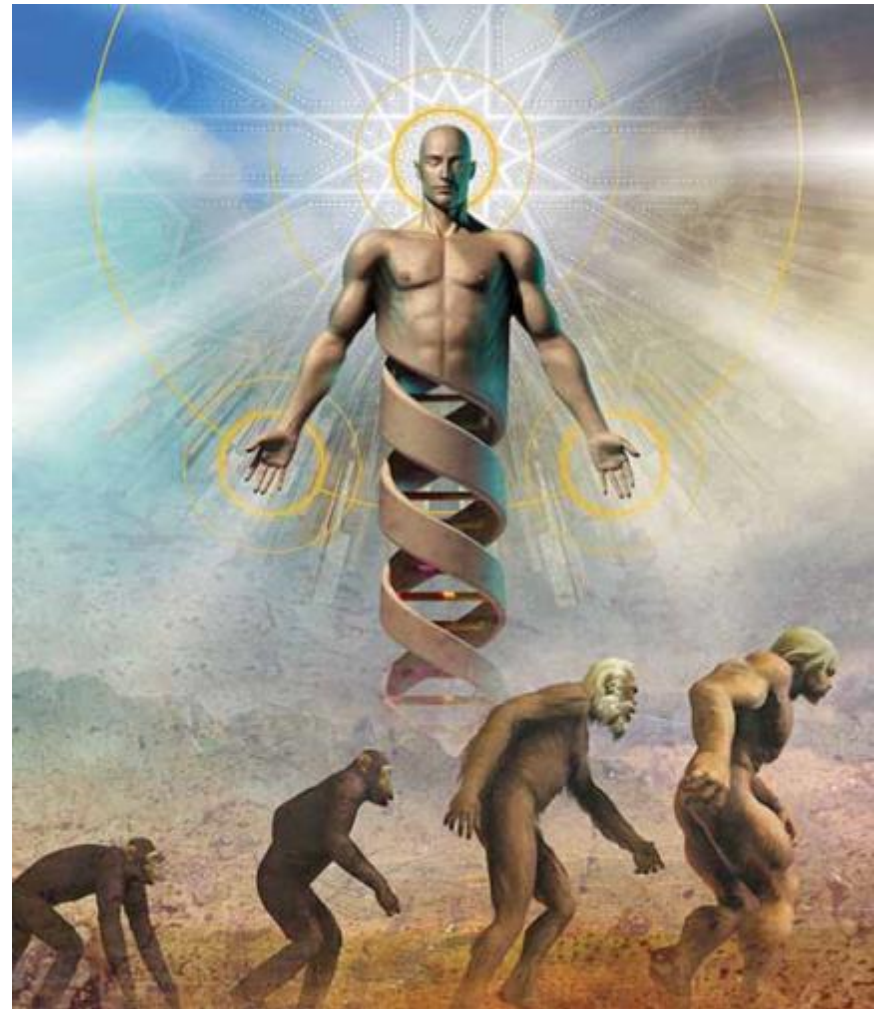
Pero para el creacionismo fundamentalista, todo lo observado y encontrado así ha sido dispuesto por la voluntad de Dios*.

* O, alternativamente, es un perverso engaño del demonio.



Creacionismo...

... o evolucionismo.



Cronograma

La historia de la vida en un suspiro

Si la historia de nuestro sistema solar se redujera a un año, comprobaríamos que el *Homo sapiens sapiens* aparece tan sólo unos segundos antes de las doce campanadas de fin de año.



En 1931 el sacerdote y astrónomo belga Georges Lemaître retomó una teoría que había sido esbozada en 1922 por el ruso Aleksander Friedman.

Hizo un cálculo inverso regresivo con las velocidades, conocidas por la ley de Hubble, cambiando expansión por contracción, en la búsqueda del arranque del Big Bang.



Fijó el origen hace 13.700 millones de años. La cifra hoy aceptada es de 13.798 ± 37 millones de años.

Aclarado el tema del TIEMPO,
queda pendiente el del ESPACIO.

¿Hasta dónde llega el Universo?

Ni lo sabemos ni podremos saberlo

No se puede ver o detectar un astro con velocidad de fuga igual o superior a c , la de la luz.

Según la ley de Hubble, a 13.700 millones de años luz la velocidad de fuga es igual a c .

A esa distancia, en cualquier dirección, hay una infranqueable frontera, una pausa para todo acontecer y para todo conocimiento. Es el llamado 'Horizonte de luz cósmica'.

Allí termina el Universo que podemos conocer.

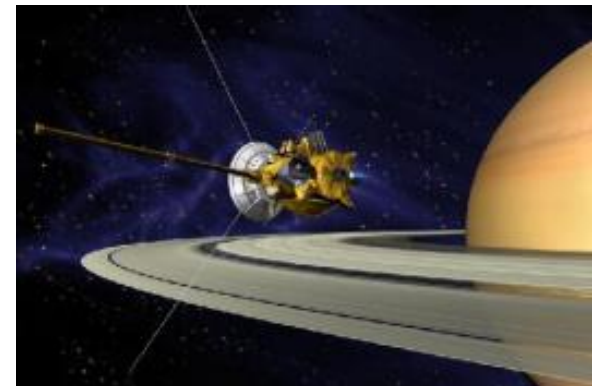
13.700 millones de
años luz es el límite
que resuelve la ya
mencionada paradoja
de Olbers: más allá,
nada podemos ver,
nada hay para
nosotros.



Los antiguos que decían que la Tierra es el centro del
Universo, como el pionero Tolomeo, tenían razón: lo es de
Nuestro Universo.

Y quien dijera lo mismo en cualquier sitio, aun en la más lejana
galaxia, estaría igualmente acertado; y quizá lo esté (*in
memóriam* de Giordano Bruno).

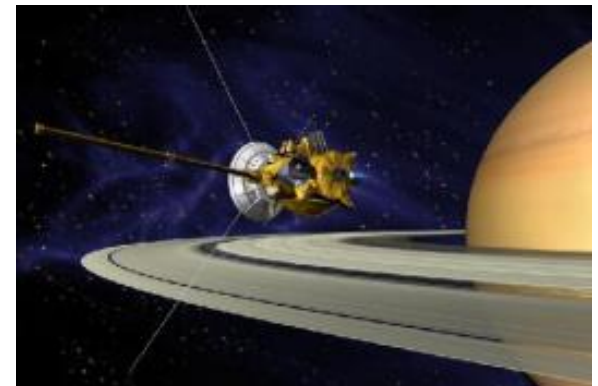
Para terminar, unas curiosas imágenes. La animación fue el '*Doodle*' de cuando la Sonda Cassini terminó la misión



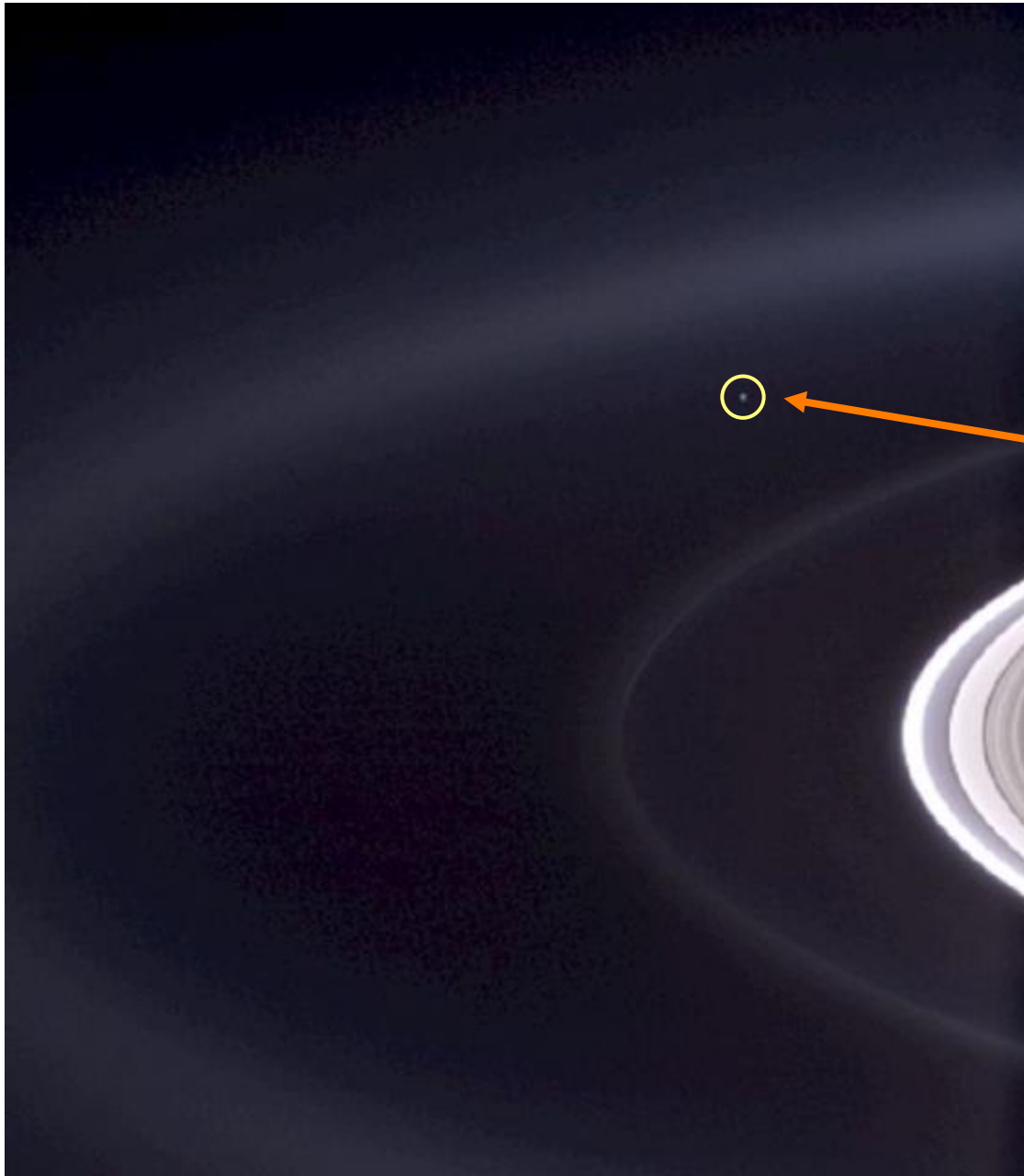
Sonda Cassini y
anillos de Saturno



Se dedicó a fotografiar Saturno

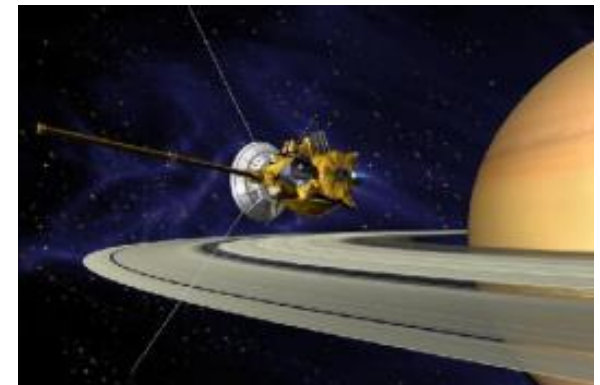


Sonda Cassini y
anillos de Saturno



Esta fue una foto
de los anillos de
las que tomó
durante la misión

**Esta motita perdida
en el Espacio es
nuestra Tierra**



Sonda Cassini y
anillos de Saturno

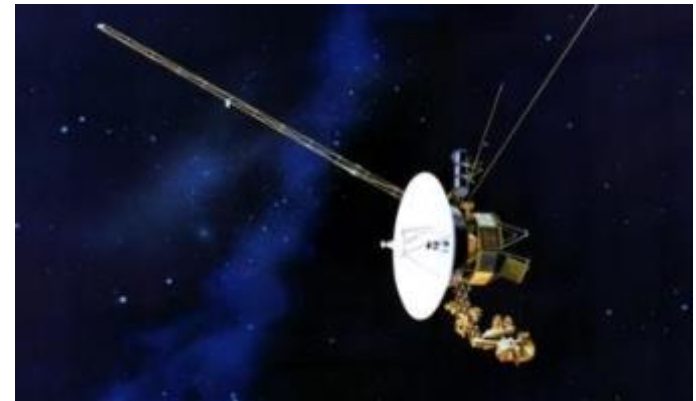
Pero hay otra foto más antigua de la Tierra vista desde lejos



La Tierra

Al final de la misión activa de la nave espacial Voyager 1, Carl Sagan, miembro del equipo de Voyager Imaging, persuadió al equipo de control para que se tomara una imagen de la lejana Tierra. El 14 de febrero de 1990, desde más allá de Neptuno, -a 6 mil millones de kilómetros de la Tierra-, la nave tomó la fotografía conocida como *The Pale Blue Dot* (Punto azul pálido). 34 minutos después, Voyager apagó sus cámaras definitivamente y quedó inerte.

En agosto de 2012, la Voyager 1 entró en el espacio interestelar. Sigue alejándose a 60.000 km/h. Es el objeto hecho por el hombre más distante de la Tierra. Está a 22.000 millones de kilómetros de la Tierra, unas 146 UA.



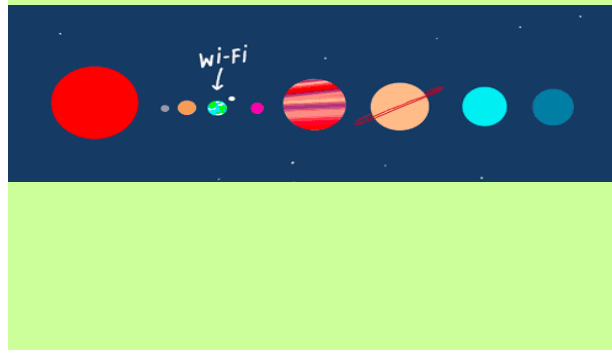
El Valbu *fecit* 2007 - 2018



Fin



elvalbu@yahoo.es



Gracias por la atención prestada