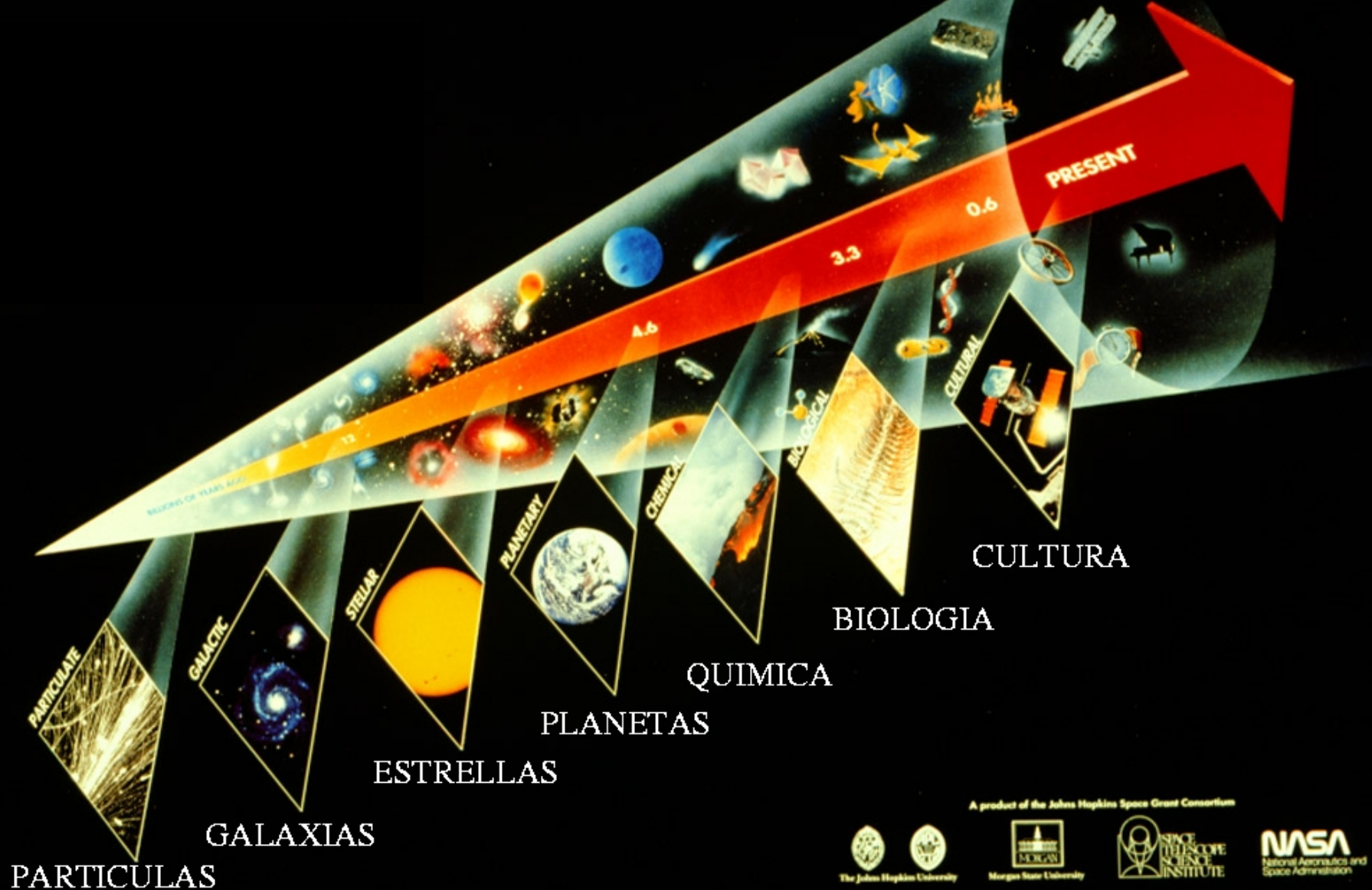


EVOLUCION COSMICA

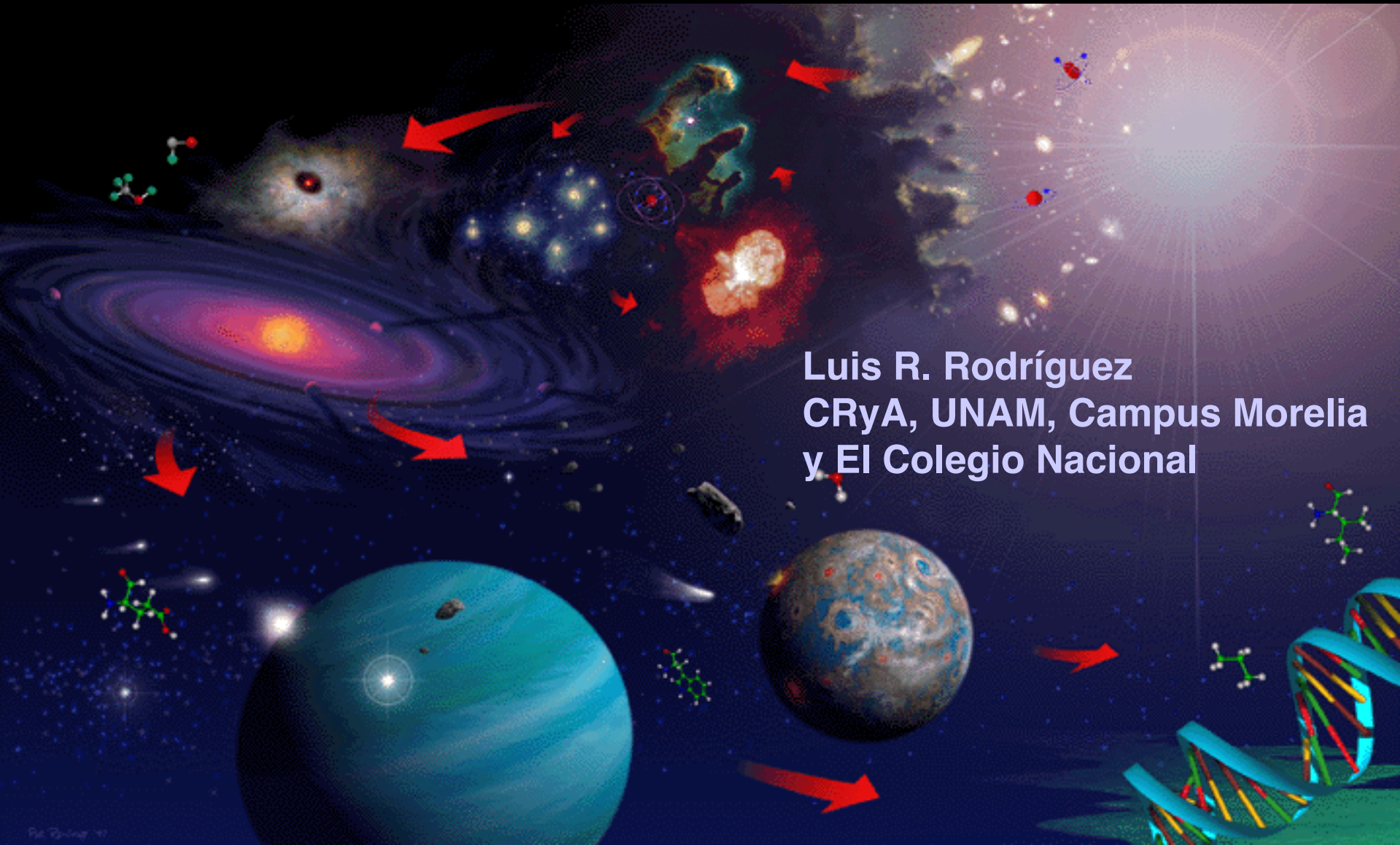


A product of the Johns Hopkins Space Grant Consortium



Fundamentos Astronómicos

Cambio en el Universo desde la Gran Explosión hasta Hoy



Luis R. Rodríguez
CRyA, UNAM, Campus Morelia
y El Colegio Nacional

Temario

- La línea del tiempo
- Cálculo de edades
- Galaxias, Estrellas, y Planetas
- Origen de los elementos químicos
- Evolución química
- Medio Interestelar

Plan de las Clases

Descripción Cualitativa

PLANETAS

ESTRELLAS

GALAXIAS

UNIVERSO

Origen y Evolución



El calendario cósmico (Sagan)

1 día = 40 millones de años

1 segundo = 470 años

- Gran Explosión: 1 de enero a las 0 horas
-
-
-
-
-
-
- Hoy: 31 de diciembre a las 24 horas

El calendario cósmico (Sagan)

1 día = 40 millones de años

1 segundo = 470 años

- Gran Explosión: 1 de enero a las 0 horas
- Formación de nuestra Galaxia: 1 de mayo
-
-
-
-
- Hoy: 31 de diciembre a las 24 horas

El calendario cósmico (Sagan)

1 día = 40 millones de años

1 segundo = 470 años

- Gran Explosión: 1 de enero a las 0 horas
- Formación de nuestra Galaxia: 1 de mayo
- Formación Sistema Solar: 10 de septiembre
-
-
-
- Hoy: 31 de diciembre a las 24 horas

El calendario cósmico (Sagan)

1 día = 40 millones de años

1 segundo = 470 años

- Gran Explosión: 1 de enero a las 0 horas
- Formación de nuestra Galaxia: 1 de mayo
- Formación Sistema Solar: 10 de septiembre
- Vida en la Tierra: 2 de octubre
-
-
- Hoy: 31 de diciembre a las 24 horas

El calendario cósmico (Sagan)

1 día = 40 millones de años

1 segundo = 470 años

- Gran Explosión: 1 de enero a las 0 horas
- Formación de nuestra Galaxia: 1 de mayo
- Formación Sistema Solar: 10 de septiembre
- Vida en la Tierra: 2 de octubre
- Primeros vertebrados: 19 de diciembre
-
- Hoy: 31 de diciembre a las 24 horas

El calendario cósmico (Sagan)

1 día = 40 millones de años

1 segundo = 470 años

- Gran Explosión: 1 de enero a las 0 horas
- Formación de nuestra Galaxia: 1 de mayo
- Formación Sistema Solar: 10 de septiembre
- Vida en la Tierra: 2 de octubre
- Primeros vertebrados: 19 de diciembre
- Extinción Cretácico-Terciario: 29 de diciembre
- Hoy: 31 de diciembre a las 24 horas

Quizá sorprendentemente, es posible determinar con bastante precisión cuando ocurrieron estos eventos.

- Edad del Universo
- Edad del Sistema Solar (Sol + planetas)

La edad del Universo

- A principios del siglo XX, el astrónomo Edwin Hubble descubre la expansión del Universo.
- Se da cuenta de que si sabe la velocidad de recesión de las galaxias (respecto a la nuestra) y su distancia a nosotros, puede determinar cuando fué que estaba todo junto.
- Determinar la velocidad es fácil (efecto Doppler), pero no así la distancia.

La Escala Física del Universo

- Desde hace miles de años, el ser humano ha estado estableciendo el tamaño del Universo.
- Para esto, ha desarrollado una “escalera” cósmica de distancias que van desde el tamaño de la Tierra, hasta el del mismo Universo.
- Repasemos algunos escalones de esta escalera...

El Diámetro de la Tierra



Eratóstenes (Nació en 276 AC en Cirene, ahora Shahhat, Libia; murió en 197 AC en Alejandría, Egipto.)

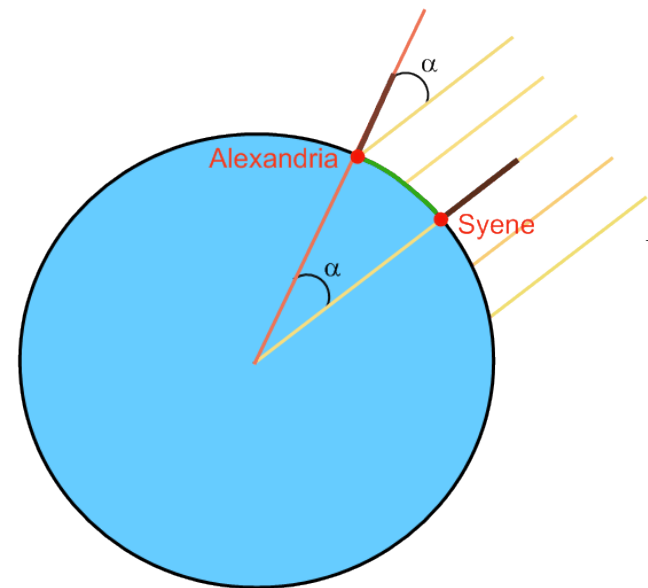
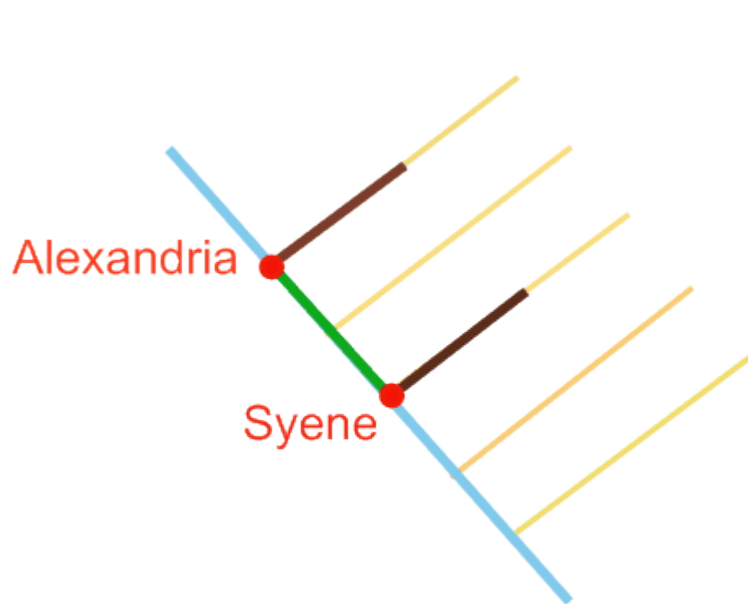
Se dió cuenta de que en el solsticio de verano (21 de junio) al mediodía los rayos del Sol caían a plomo en Siena, mientras que este no era el caso en Alejandría.





Esto ocurre porque la Tierra no es plana, sino redonda...

(Suponemos que los rayos del Sol llegan paralelos a la Tierra por la lejanía entre ambos cuerpos)

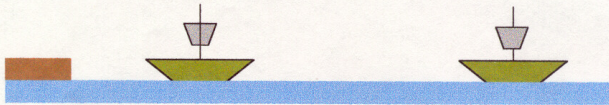


¿Cómo sabía Eratóstenes que la Tierra era redonda?

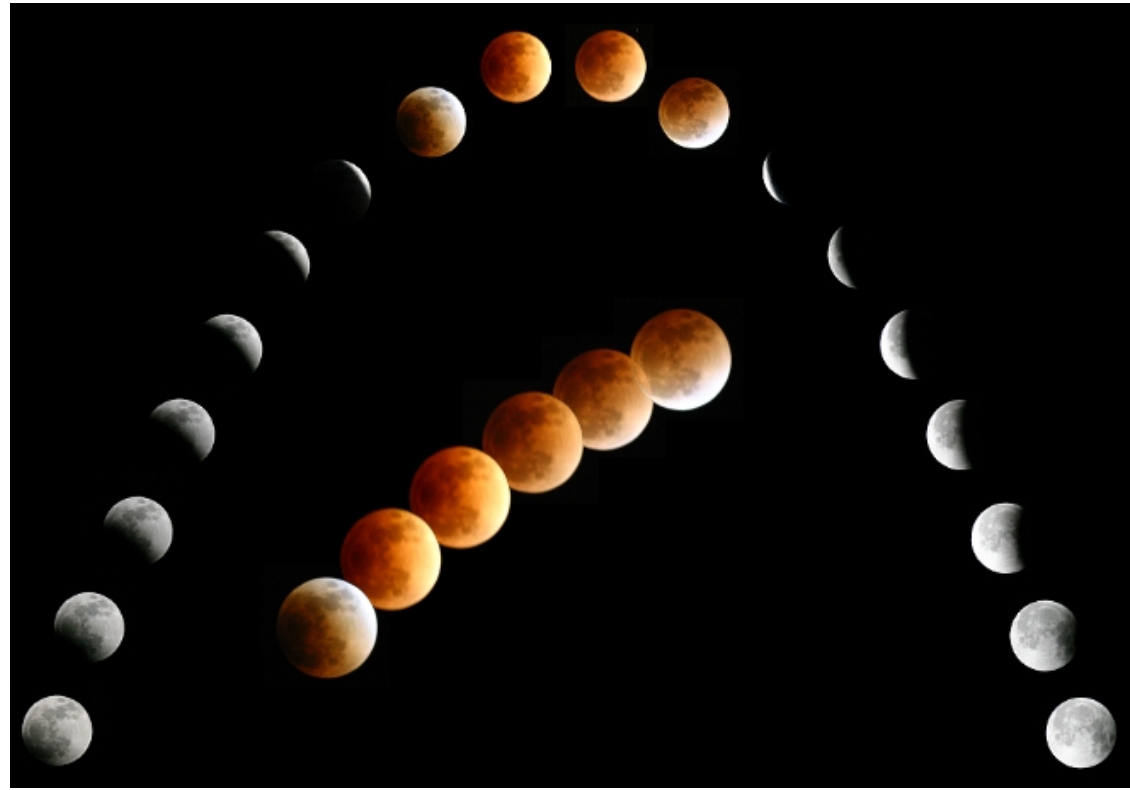
The Behaviour of Ships Leaving Shore

The observer on the wharf sees the ship dwindle in size in each case, but the curvature of the Earth means that we can see the masts but not the hull of the distant ship.

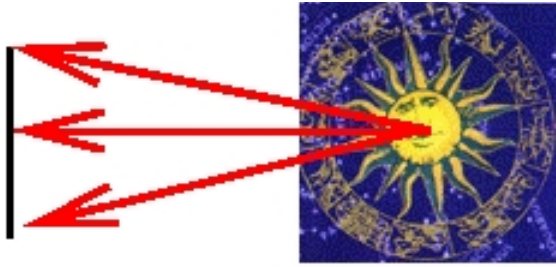
(a) If the Earth were flat:



(b) ...but the Earth is round, so:

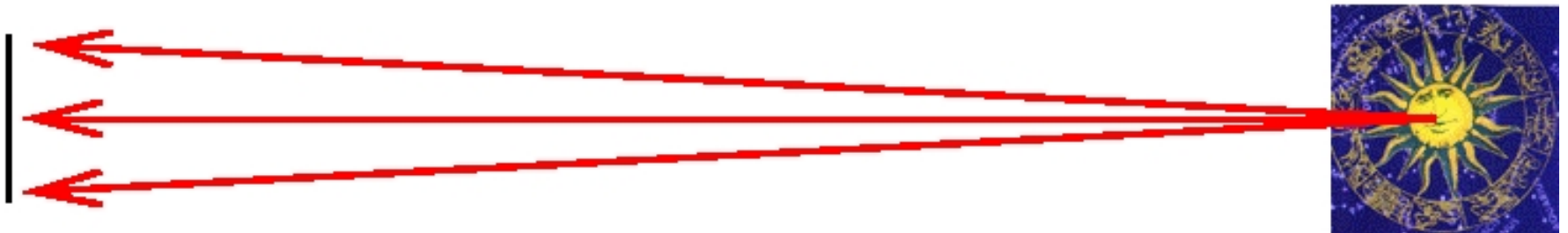
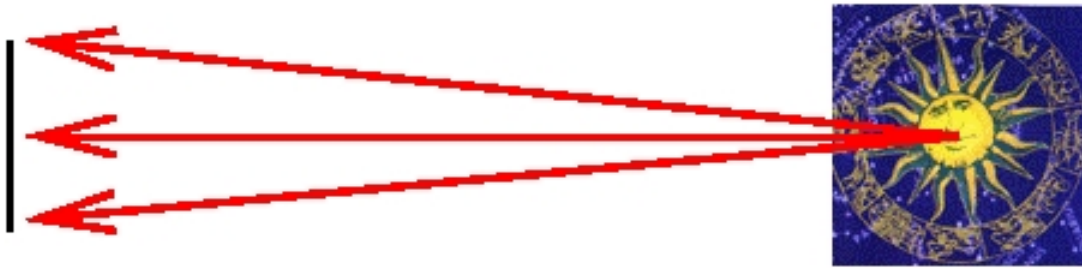


Eclipse Lunar

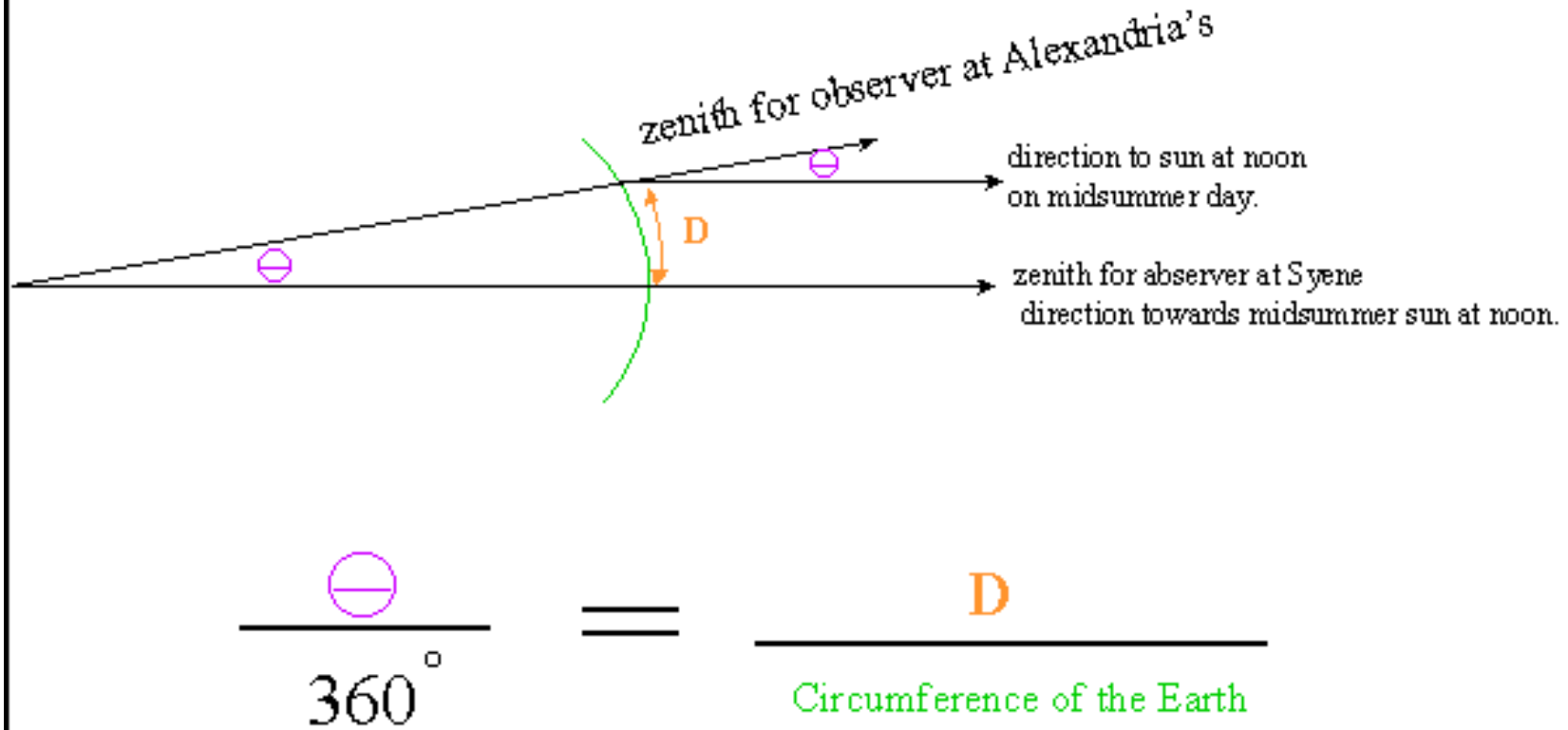


¿Podemos suponer que los rayos del Sol nos llegan paralelos?

Sí, si está suficientemente lejos.



ERATOSTHENE'S



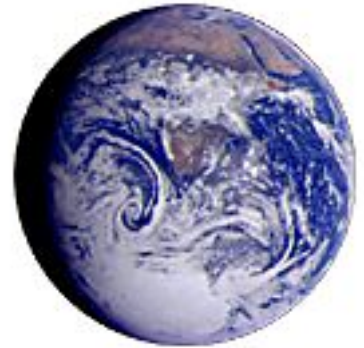
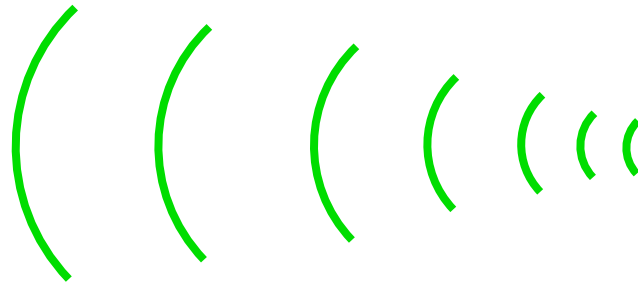
Eratóstenes determinó que θ era 7 grados y que D era aproximadamente 800 km. De lo anterior sale que la circunferencia de la Tierra es de 41,140 km, muy cerca del valor moderno de 40,000 km.

¿Cómo podemos aumentar el alcance
de nuestros métodos para conocer las
distancias?

Indicadores de distancia

Eco de radar

- Dentro del Sistema Solar, las distancias se pueden medir con gran precisión rebotando señales de radar en los otros planetas.
- Sólo sirve hasta una distancia de ~ 10 UA (más allá el eco es muy débil para ser detectado.)

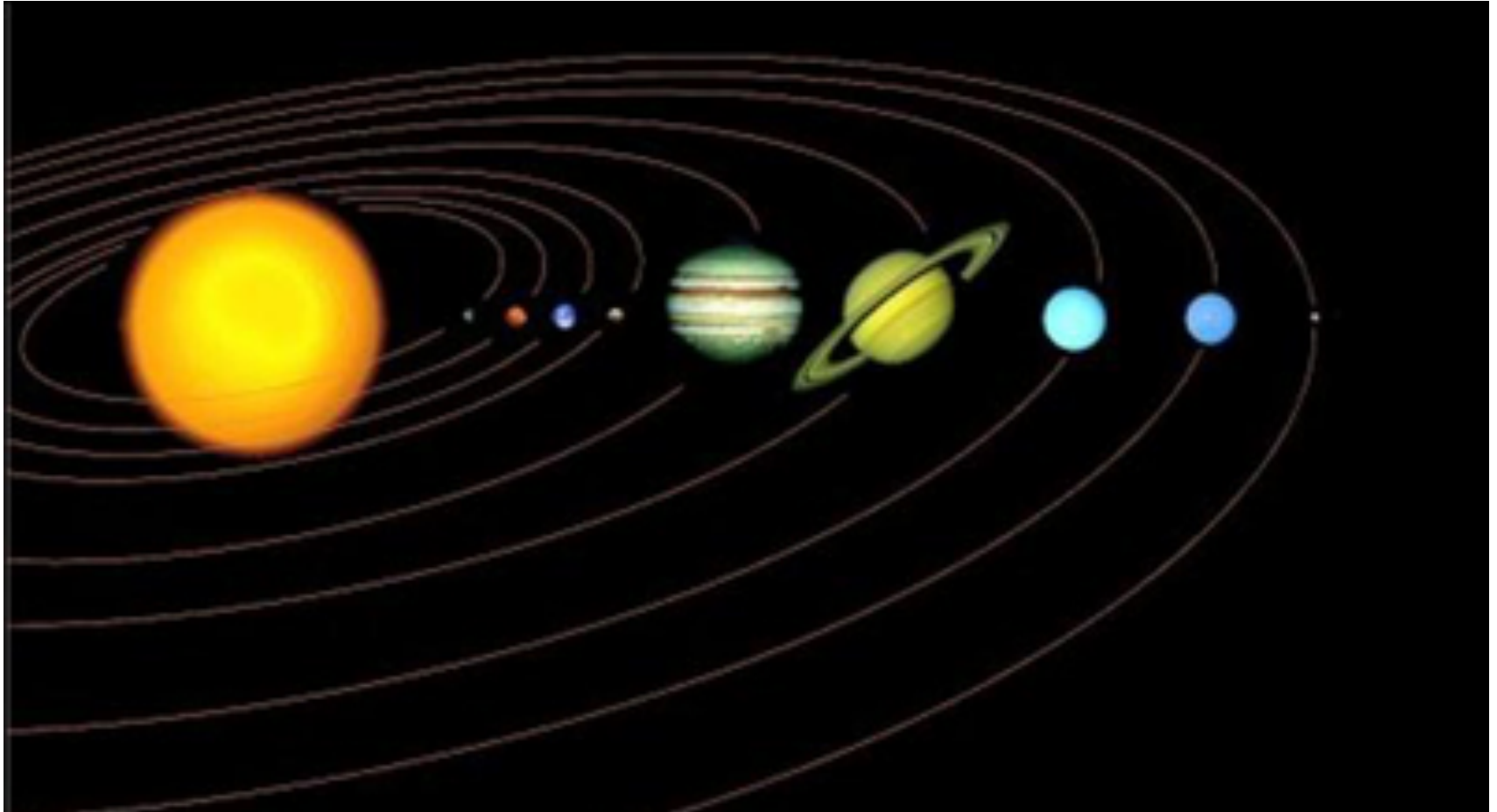


$$d = \frac{1}{2} c \Delta t$$

1 UA = 149,597,870,691 m

1 Unidad
Astronómica es la
distancia media
Tierra-Sol

Ahora conocemos muy precisamente las dimensiones del Sistema Solar



No está a escala real

Es un buen momento para definir planetas y estrellas:

- Cuerpos sin fuente importante de energía propia. Vienen en dos tipos: terrestres y jovianos. Existen en órbita alrededor de algunas estrellas (aunque otros podrían ser libres).
- Esferas gaseosas que generan energía termonuclear en su interior. Son de miles a millones de veces más masivas que los planetas.

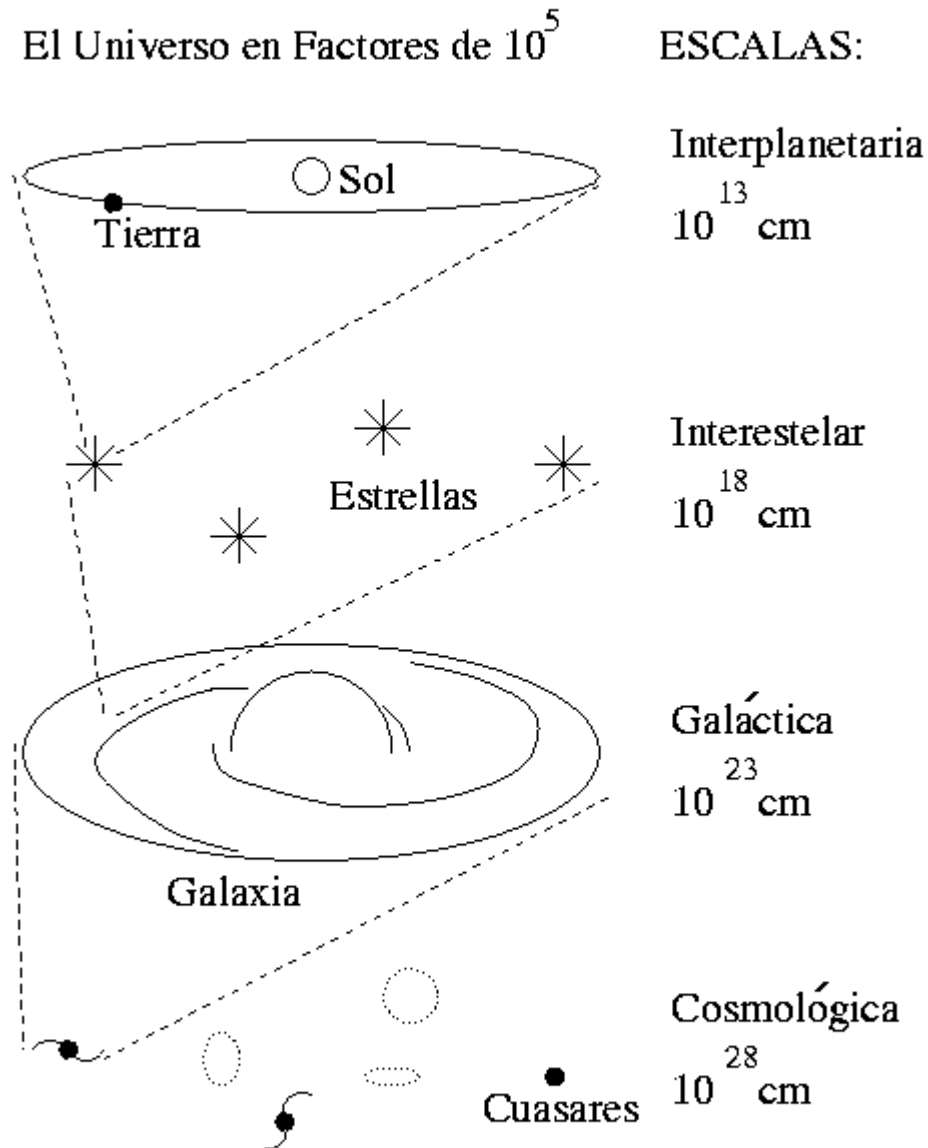
La luz, moviéndose a
300,000 km por segundo,
tarda en recorrerlas:

De minutos a horas

De años a décadas

De miles a cientos de
miles de años

De millones a miles de
millones de años



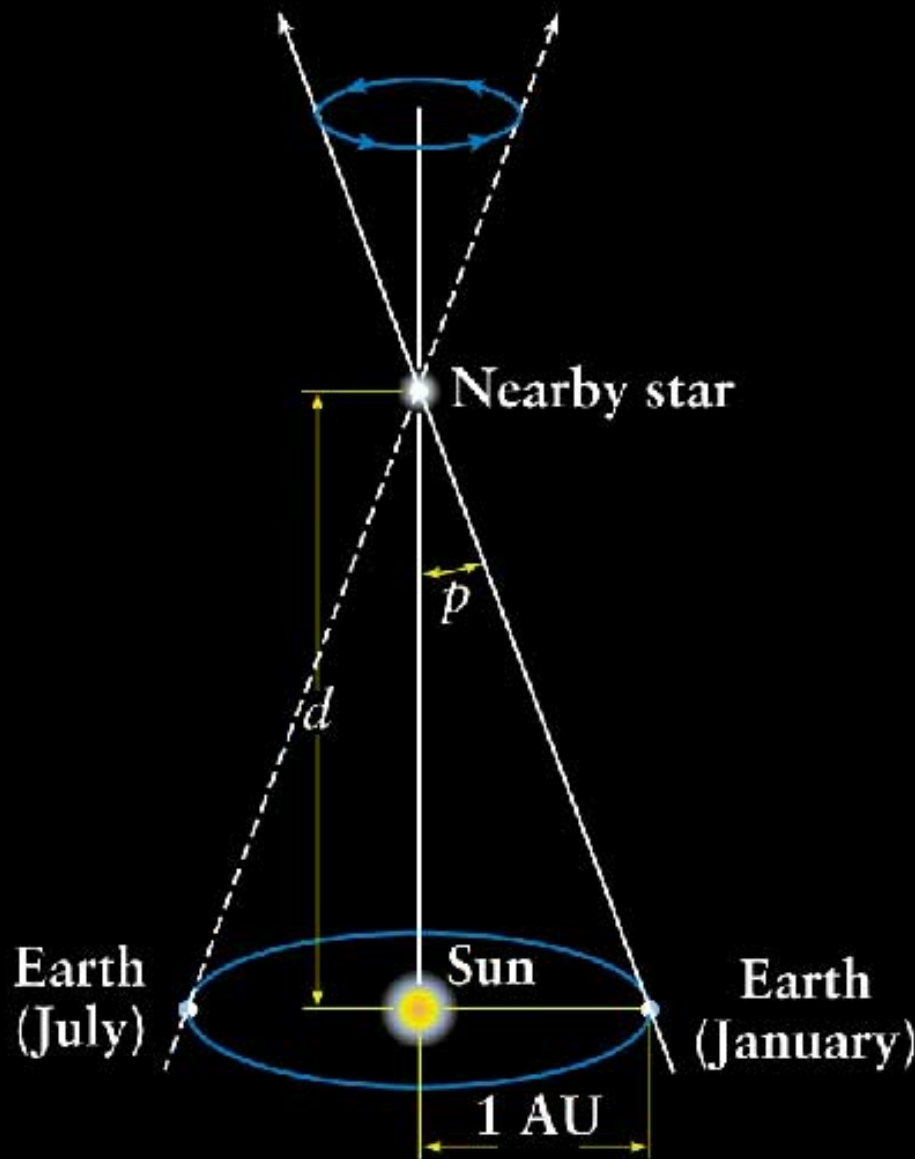
Paralaje Estelar

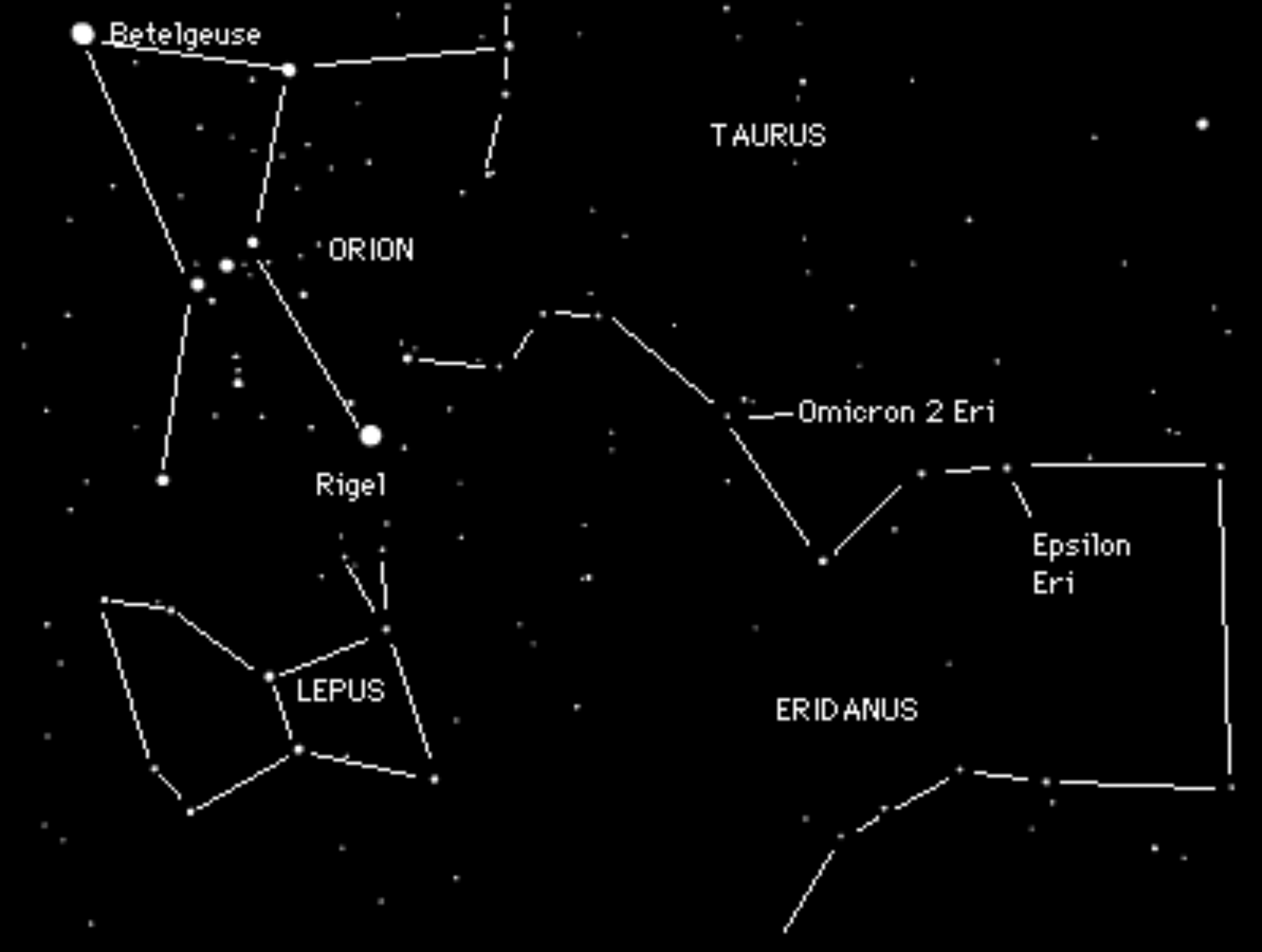
Conforme la Tierra se mueve de un lado a otro del Sol (seis meses), las estrellas cercanas parecen cambiar su posición respecto a las estrellas lejanas de fondo.

$$d = 1 / p$$

d = distancia a las estrellas cercanas en parsecs

p = ángulo de paralaje de la estrella en segundo de arco







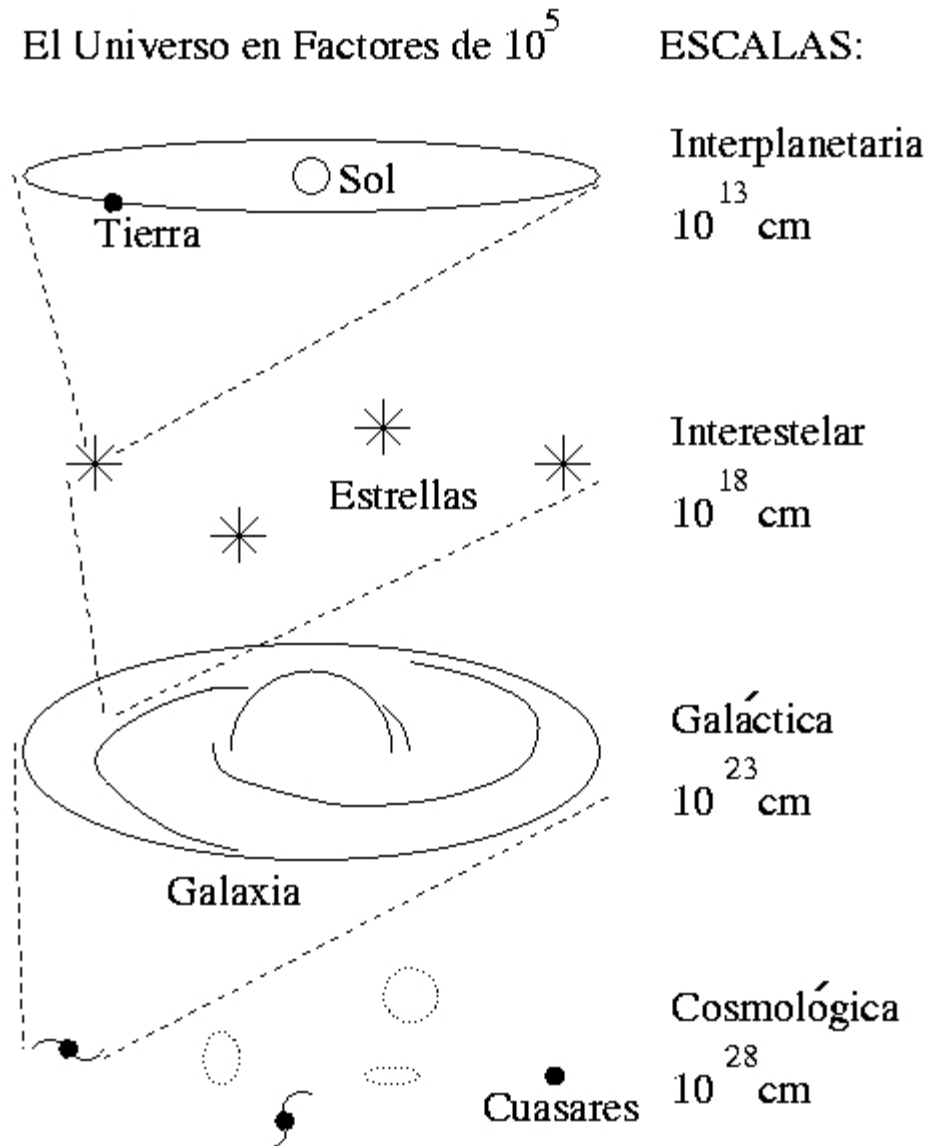
La luz, moviéndose a
300,000 km por segundo,
tarda en recorrerlas:

De minutos a horas

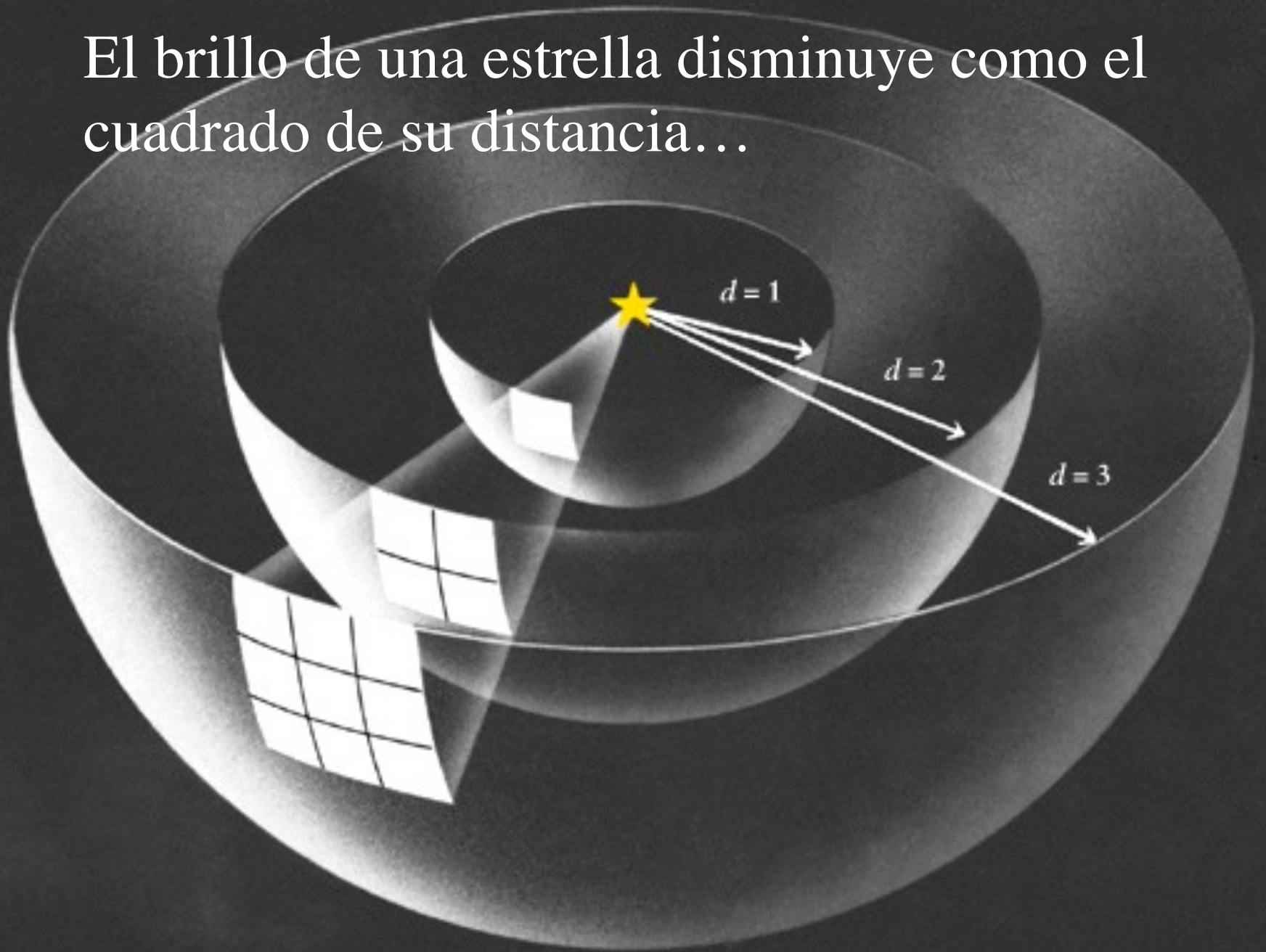
De años a décadas

De miles a cientos de
miles de años

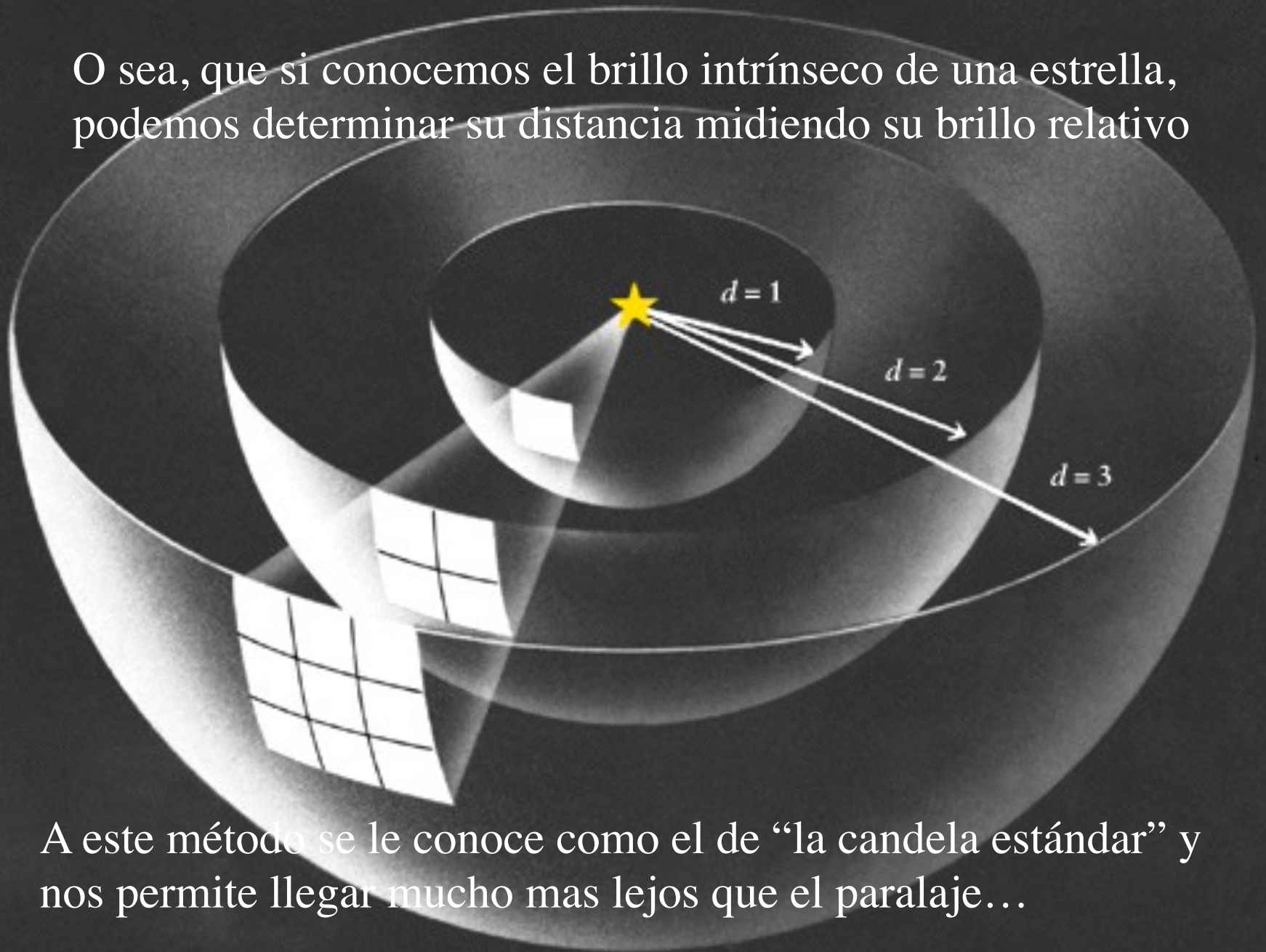
De millones a miles de
millones de años



El brillo de una estrella disminuye como el cuadrado de su distancia...

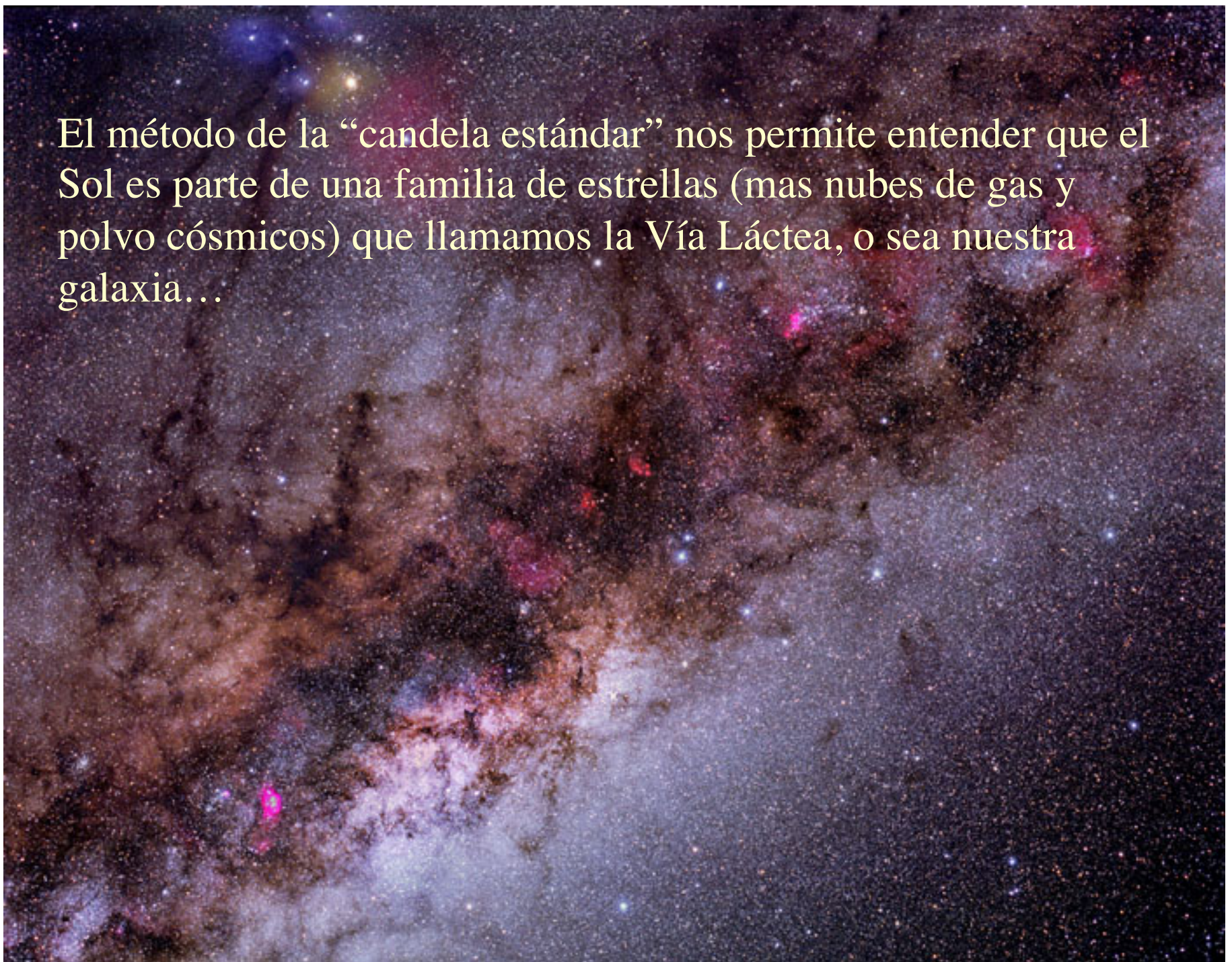


O sea, que si conocemos el brillo intrínseco de una estrella, podemos determinar su distancia midiendo su brillo relativo



A este método se le conoce como el de “la candela estándar” y nos permite llegar mucho mas lejos que el paralaje...

El método de la “candela estándar” nos permite entender que el Sol es parte de una familia de estrellas (mas nubes de gas y polvo cósmicos) que llamamos la Vía Láctea, o sea nuestra galaxia...



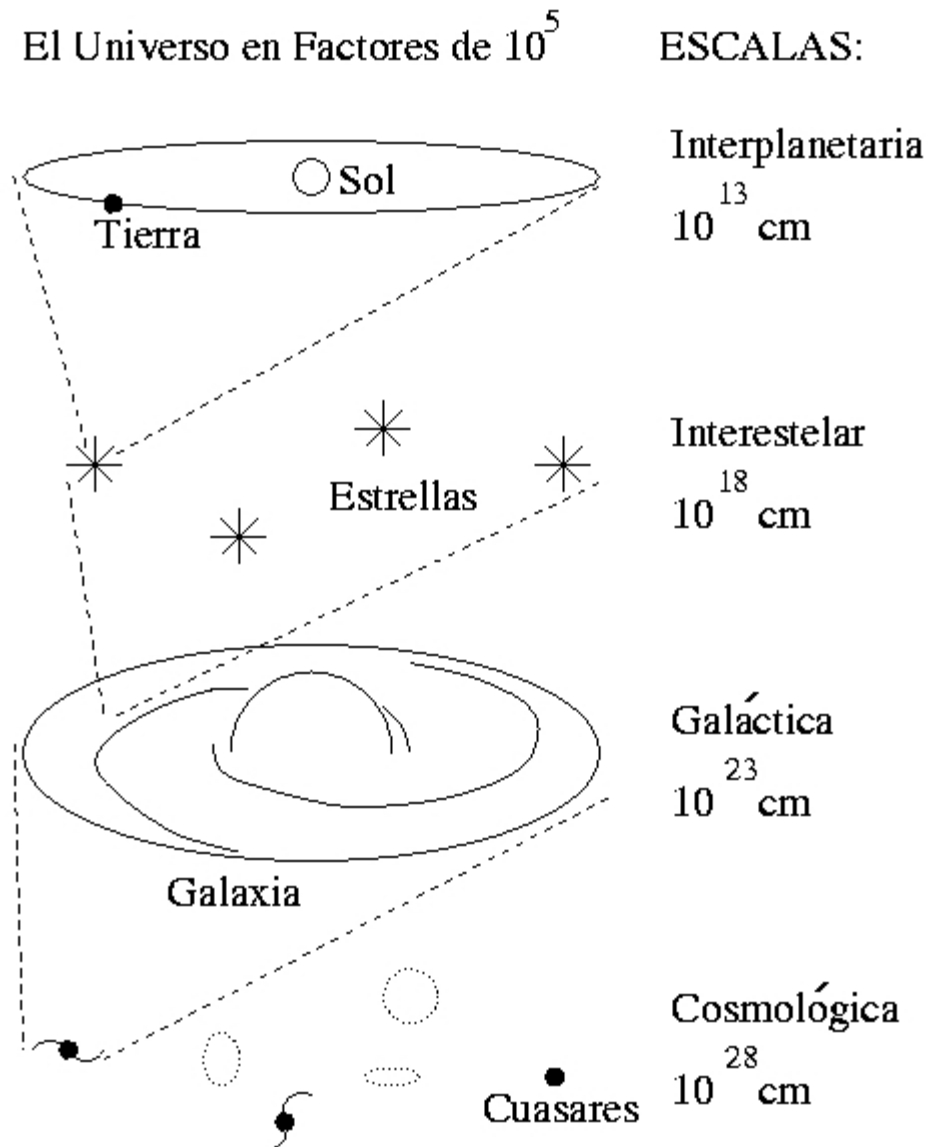
La luz, moviéndose a
300,000 km por segundo,
tarda en recorrerlas:

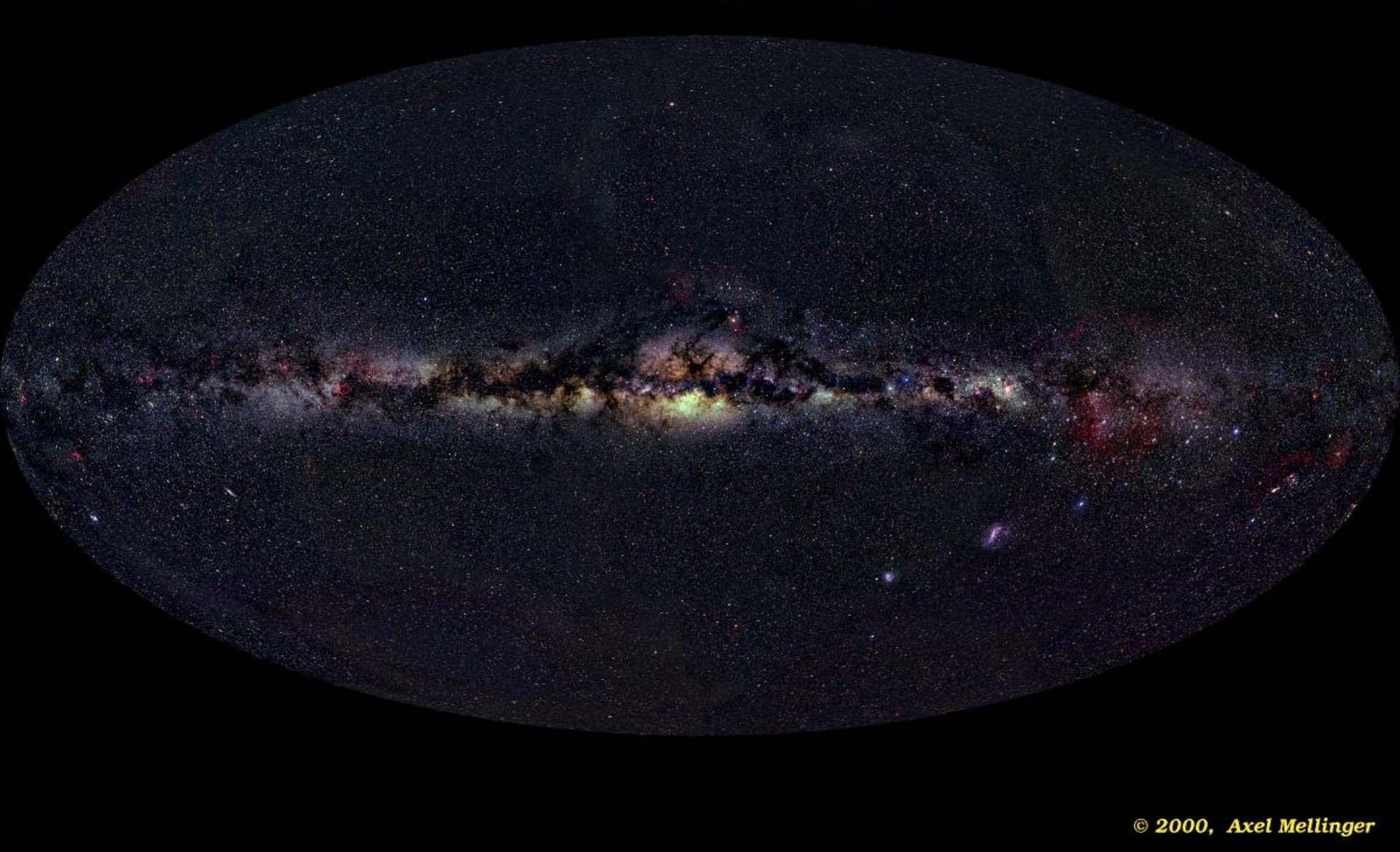
De minutos a horas

De años a décadas

De miles a cientos de
miles de años

De millones a miles de
millones de años





Nuestra Galaxia, la Vía Láctea. ¿Hay algo afuera de ella? Veamos primero su morfología...

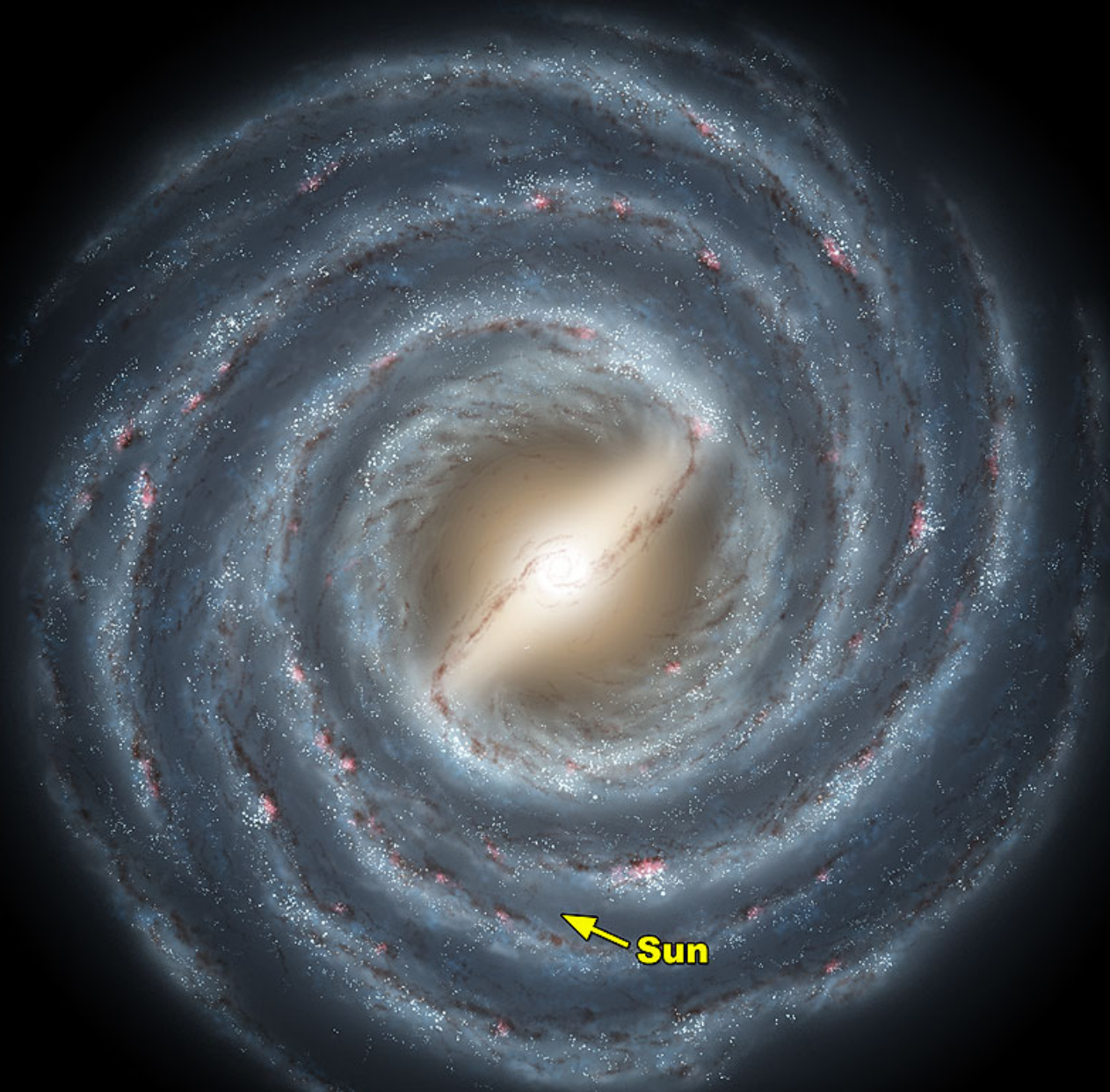


Imagen artística de la Vía Láctea



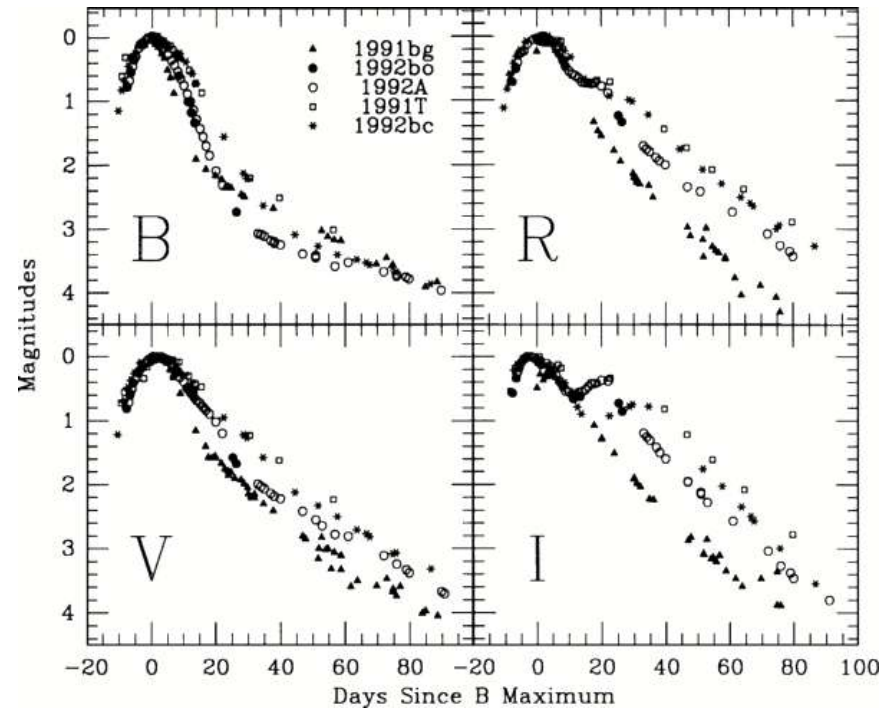
Otra imagen artística de la Vía Láctea.

Supernovas tipo Ia

Se cree que todas alcanzan la misma luminosidad pico, por lo tanto, son una “candela estándar”

$$M_{B,\max} = -18.33 + 5 \lg h_{100} \quad \{L \sim 10^{10} L_o\}$$

SN1994D en NGC4526 en el Cúmulo de Virgo (15 Mpc)



NGC

NGC 4565, una galaxia espiral de canto



NGC 1232, una galaxia espiral de frente



Las galaxias

- Conglomerados de estrellas, gas y polvo con dimensiones de cientos de miles de años-luz.
- Llegan a contener hasta un billón de estrellas.
- Se clasifican como espirales, elípticas, e irregulares.

M87, una galaxia elíptica





La Nube Mayor de Magallanes,
una galaxia irregular

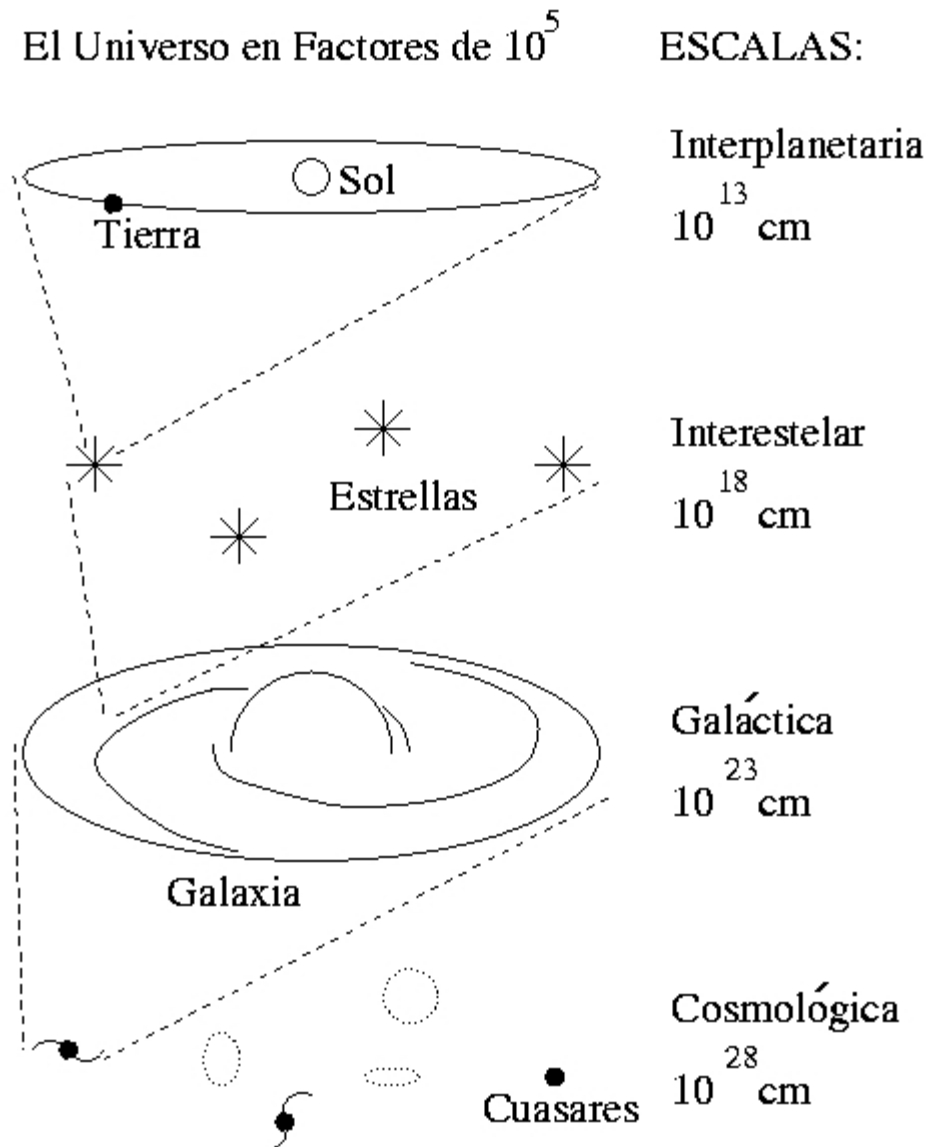
La luz, moviéndose a
300,000 km por segundo,
tarda en recorrerlas:

De minutos a horas

De años a décadas

De miles a cientos de
miles de años

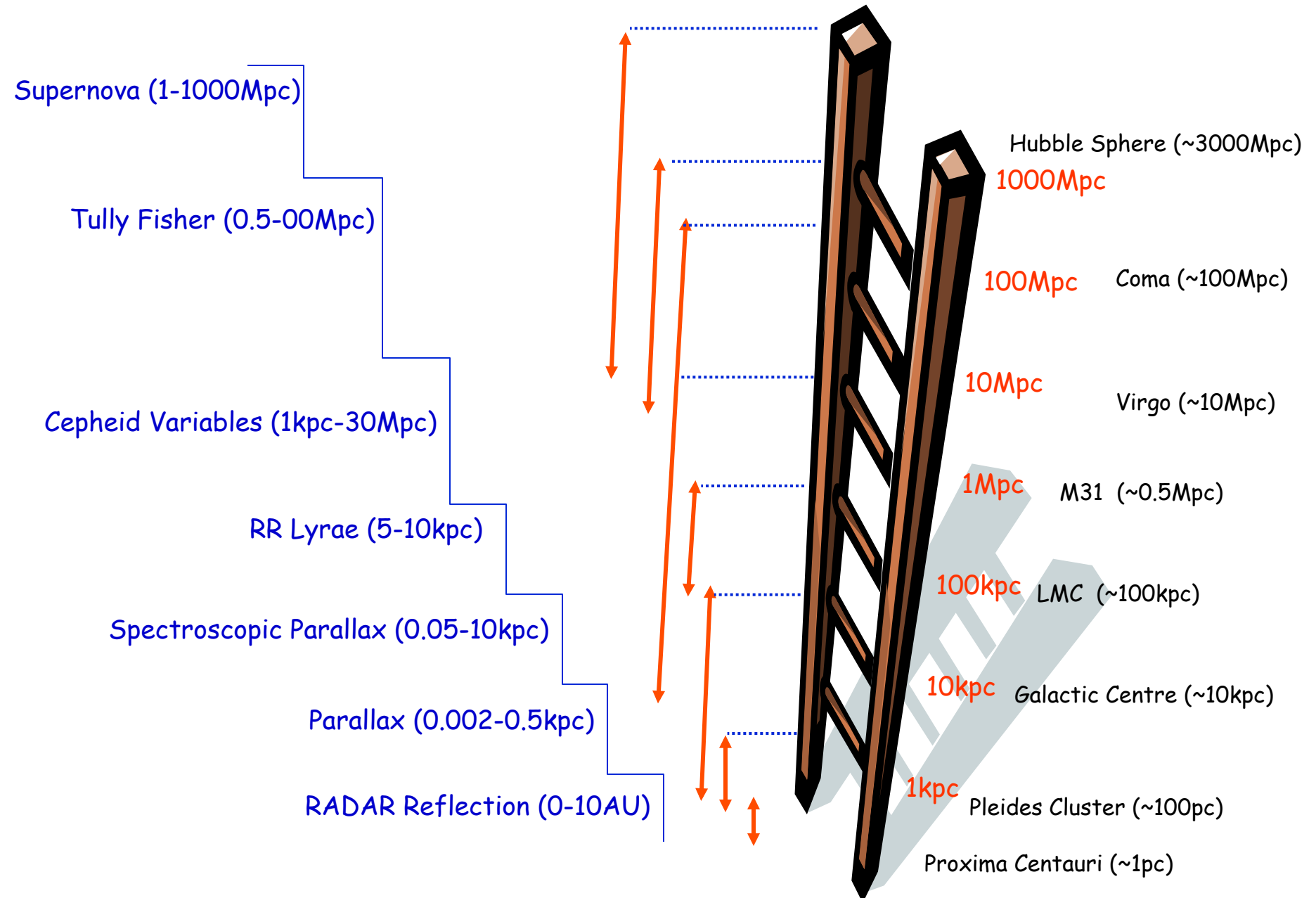
De millones a miles de
millones de años

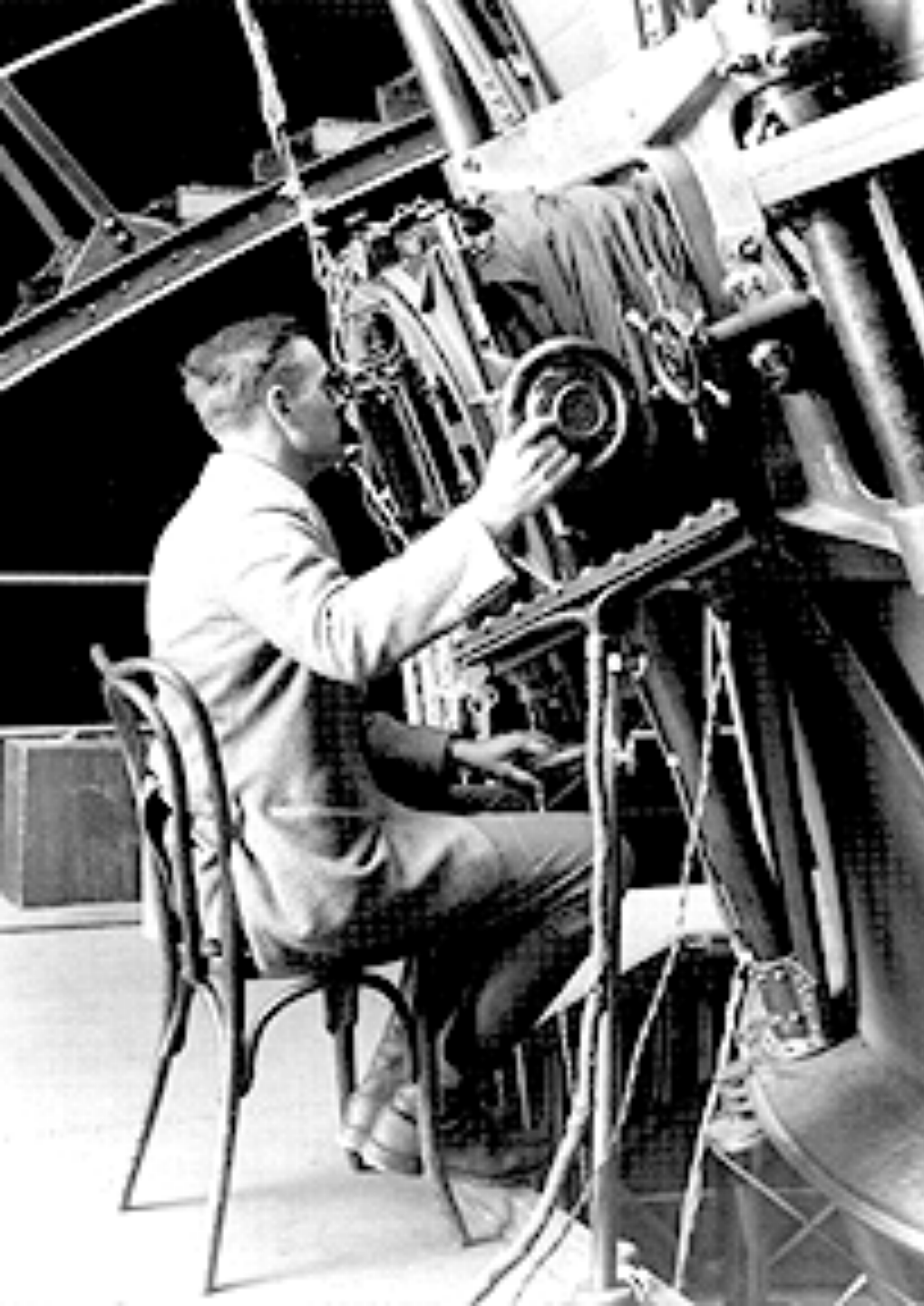


La escala cosmológica

- Es en la escala cosmológica, donde la luz nos llega después de viajar de millones a miles de millones de años, donde podemos esperar ver efectos evolutivos fuertes...

La “Escalera” Cósmica





En los años 1920's, el astrónomo estadounidense Edwin Hubble comenzó a estudiar las galaxias, habiendo él mismo establecido antes que eran “islas-universos” similares a la Vía Láctea...

El lado humano de Hubble



Basketball

High School was very fortunate, this year, in securing Mr. Hubble, a former basketball star of the University of Chicago, to coach the team.

Mr. Hubble, with the material afforded, was able to build up a team that defeated every team of any consequence in this section of Indiana, and in Kentucky.

The team this year was, without a doubt, the best that New Albany has ever had. Before going to Bloomington it had a perfect record, having defeated the teams from Salem, New Albany Y. M. C. A., Lexington and Henderson (Ky.), and many other teams of note.

In the tournament at Bloomington they started off in fine manner, winning the first two games on the schedule, but the third was lost to the team from Clinton High School. This defeat eliminated them from the race and they were forced to come home without the coveted championships. They made a fine showing, however, and the students are as proud of them as if they had won the State championships.

At the close of the tournament, Fawcett and Joseph were picked on the All-State Second Team, while Daniel was picked among the six best centers.

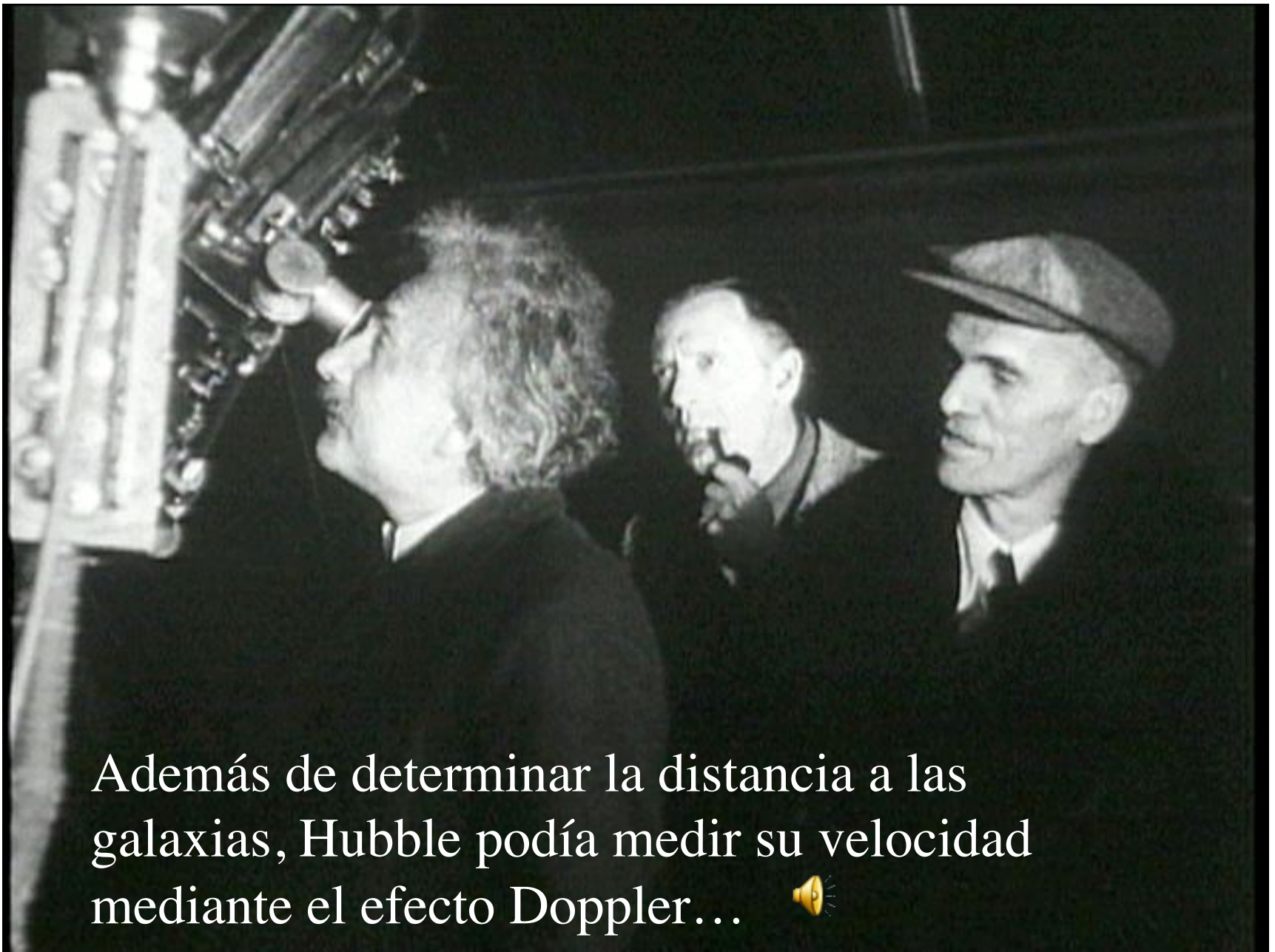
The students of the school showed their school spirit by collecting a purse of about forty dollars to pay the team's expenses in Bloomington and by giving them a reception when they returned.



© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved.
Commercial use or modification of this material is prohibited.

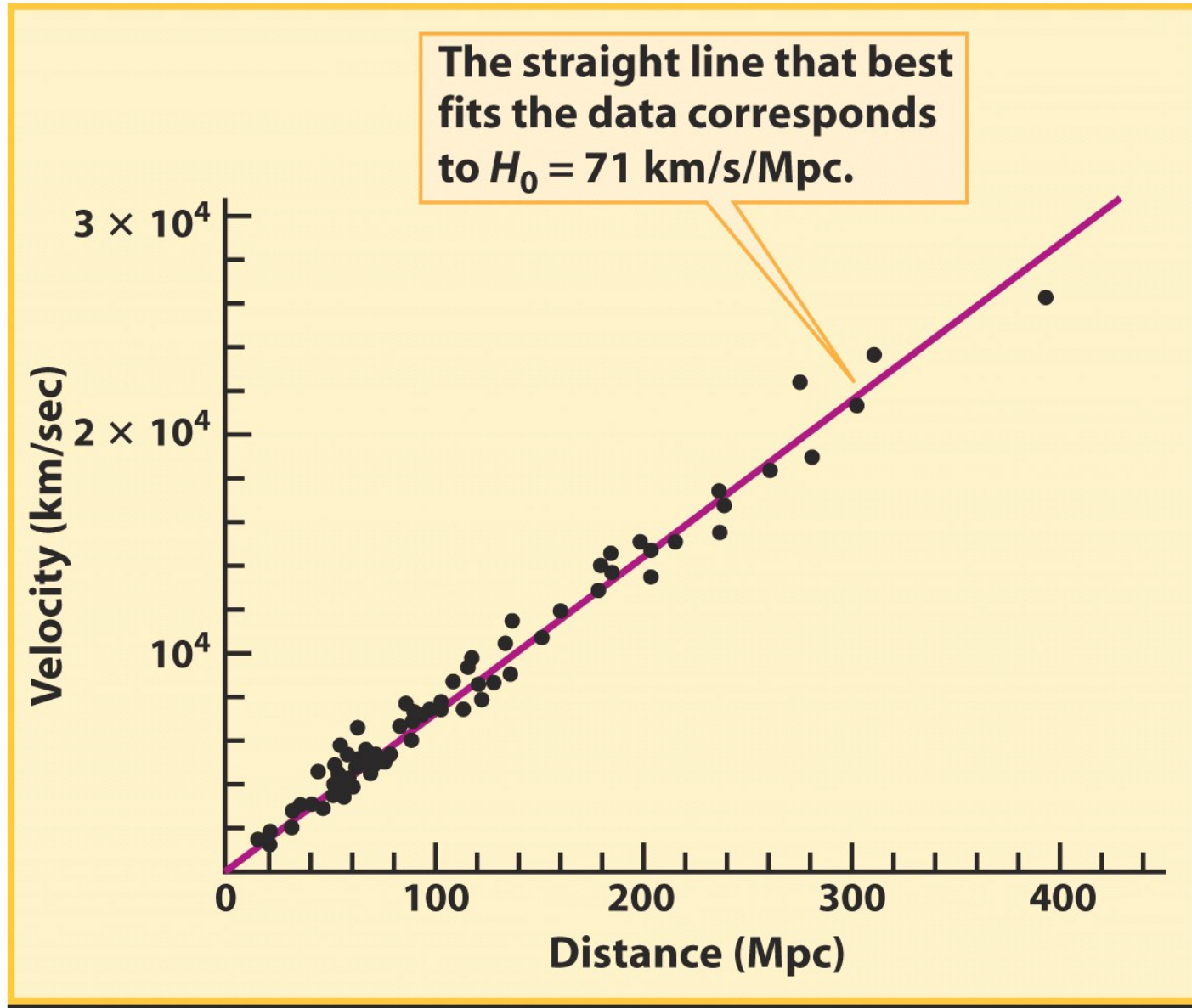


Además de determinar la distancia a las galaxias, Hubble podía medir su velocidad mediante el efecto Doppler...



Además de determinar la distancia a las galaxias, Hubble podía medir su velocidad mediante el efecto Doppler... 📢

Expansión del Universo: $v = H_0 d$



La Ley de Hubble

$$v = H_0 d$$

v = velocidad de recesión

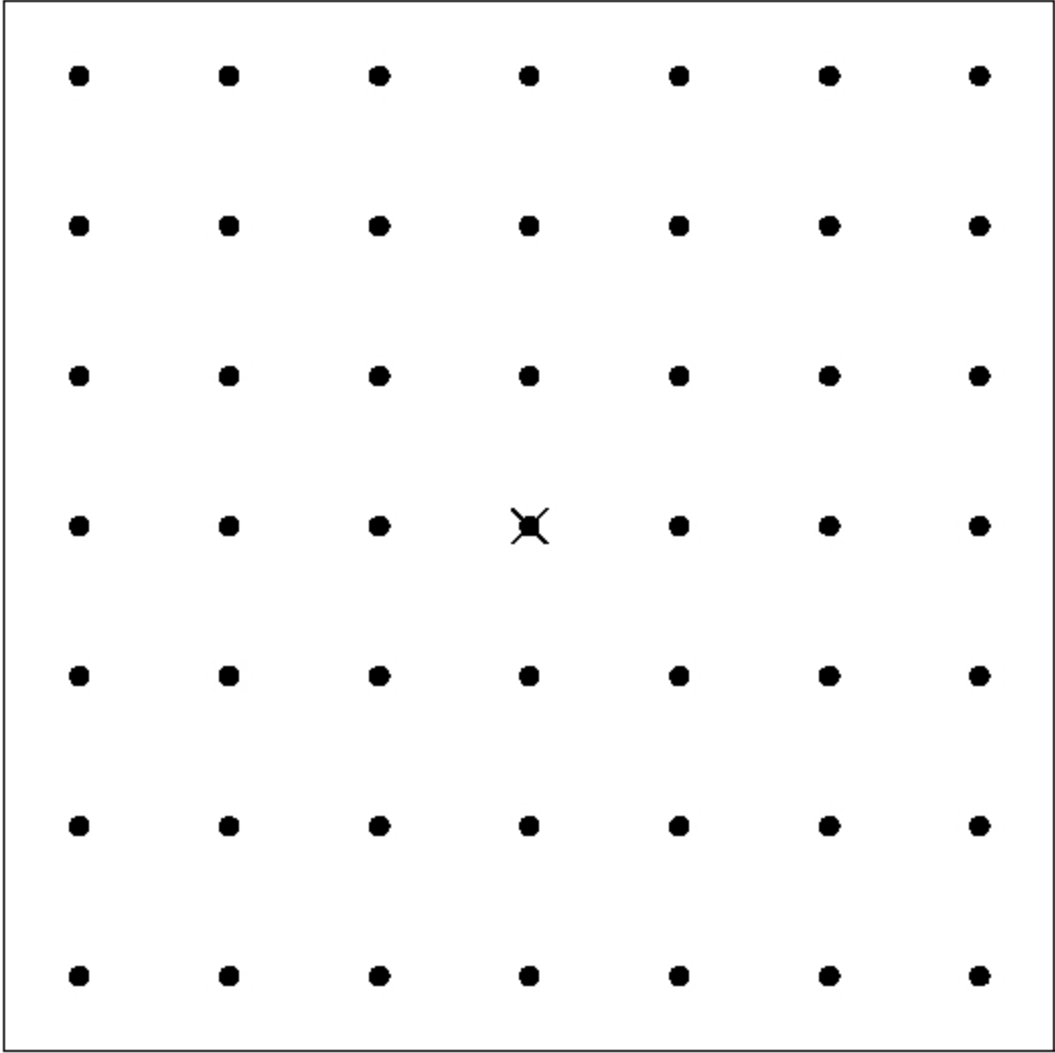
H_0 = “constante” de Hubble

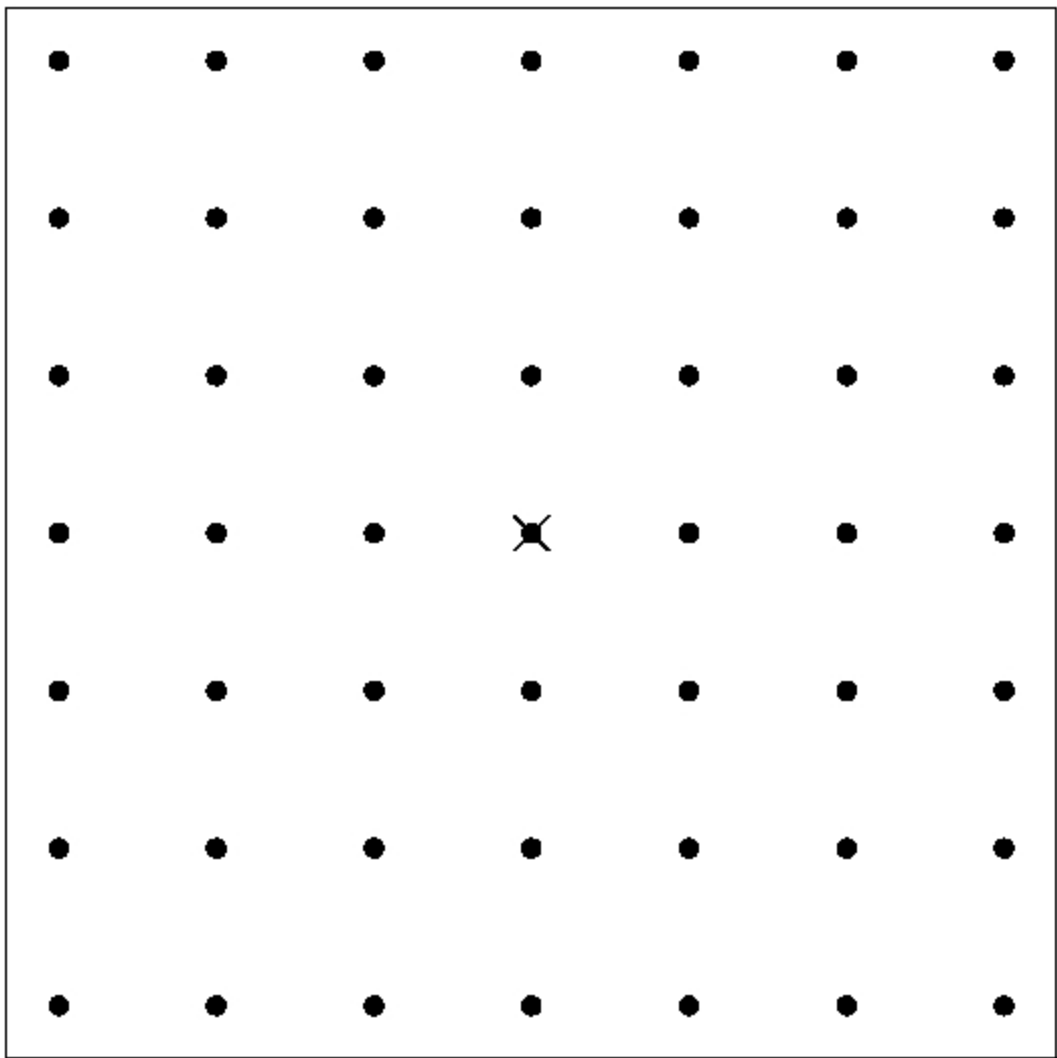
d = distancia a la galaxia estudiada

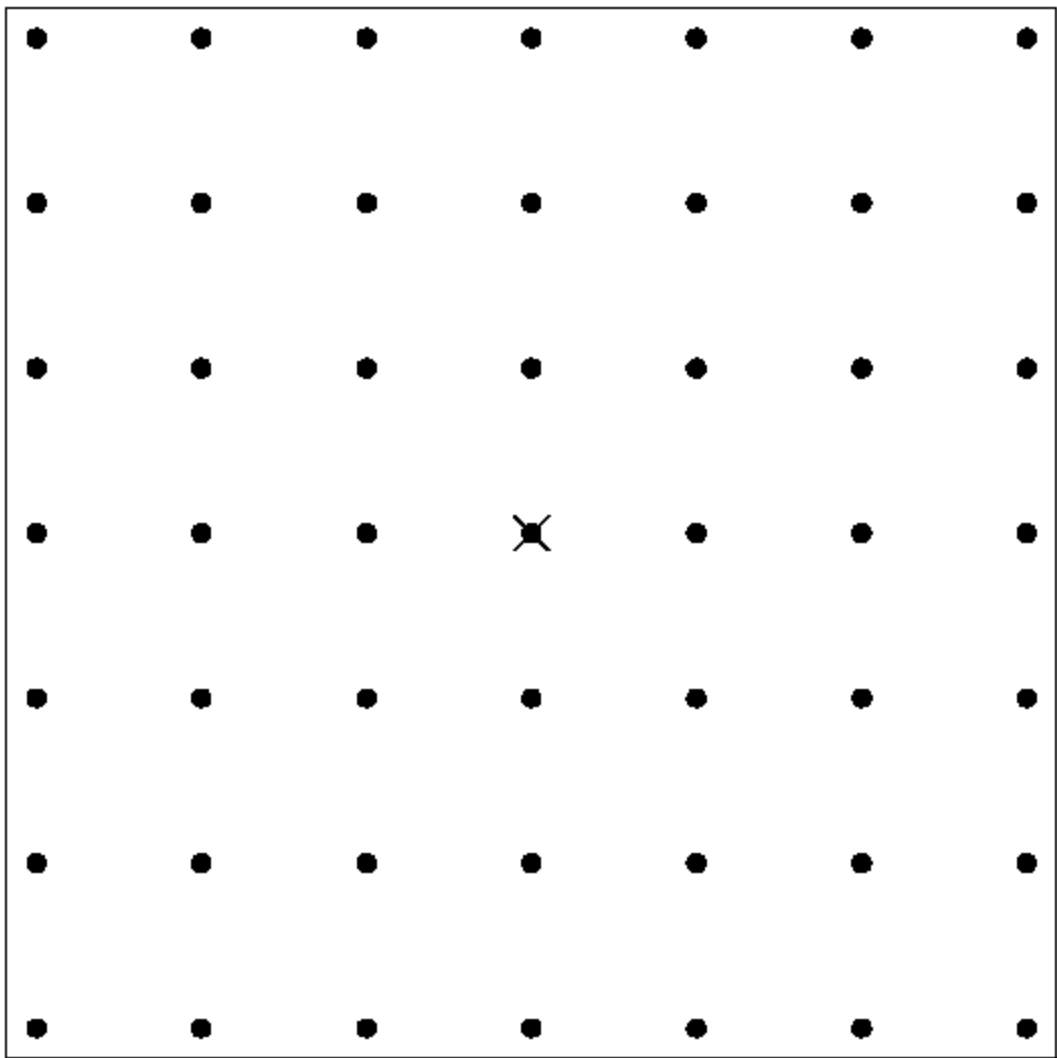
Conclusión: el Universo está en expansión, mientras más lejana la galaxia, más rápido se aleja de nosotros...

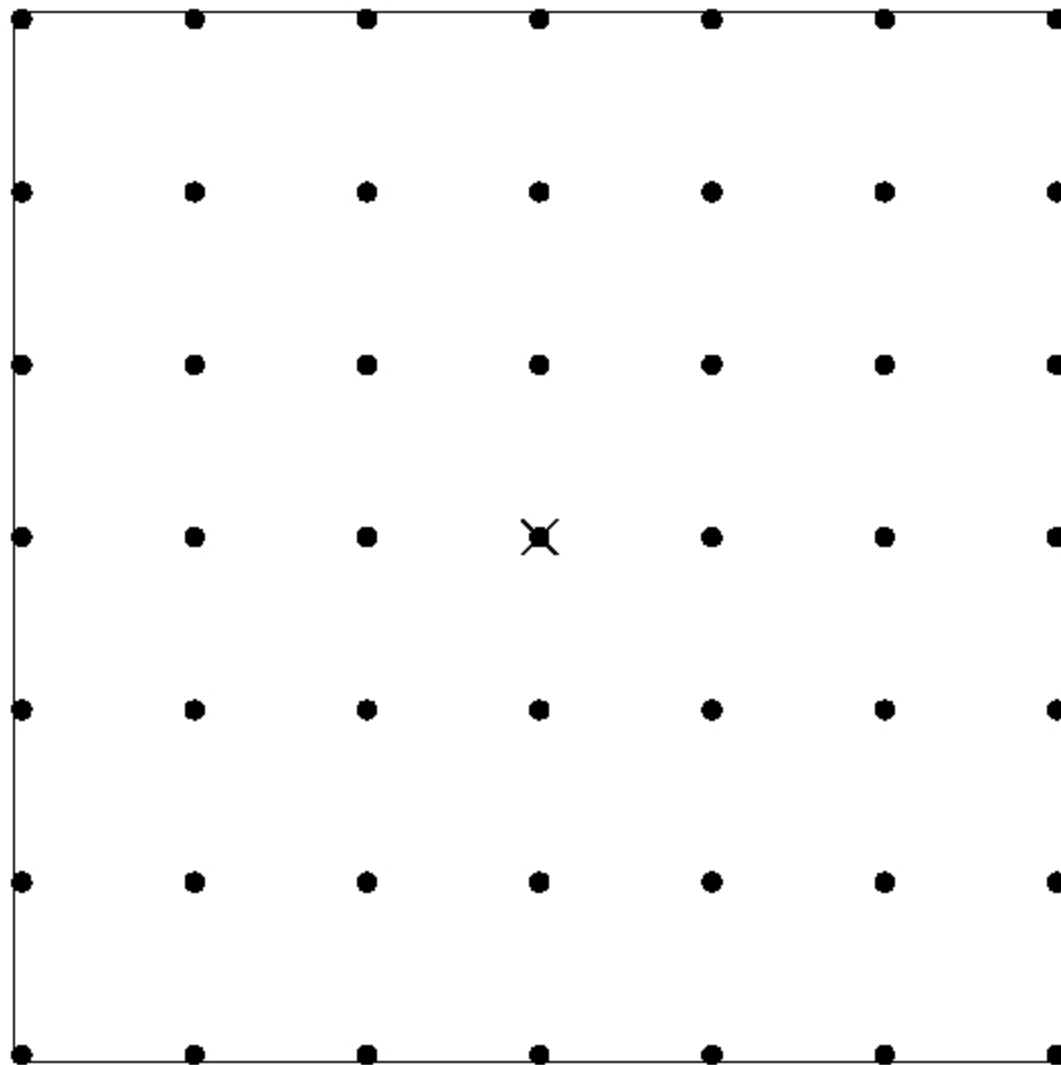
Un error común

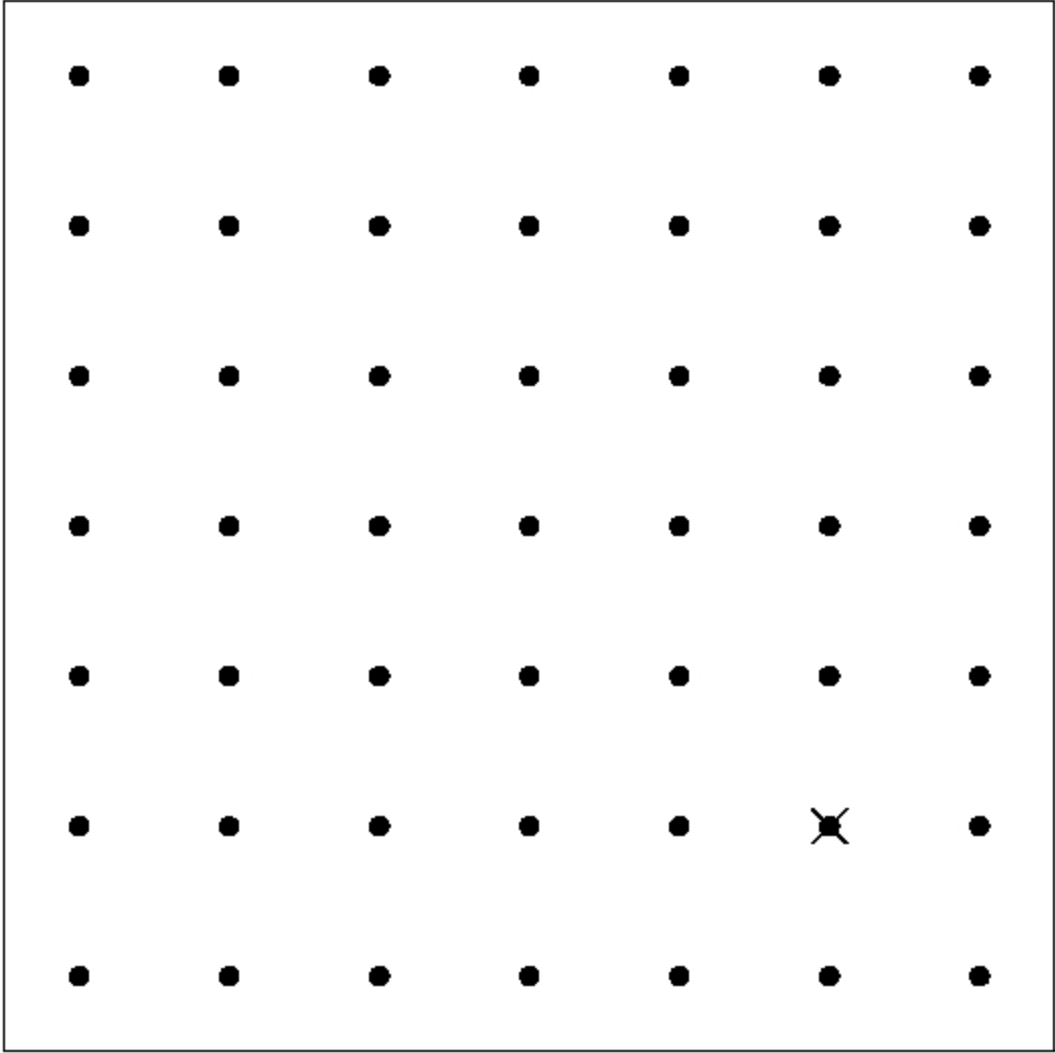
- Es común concluir que puesto que todo se aleja de nosotros, somos el Centro del Universo.
- Sin embargo, desde cualquier otra galaxia verán lo mismo (el Universo es homogéneo).
- La solución a esta paradoja es que toda la materia y todo el espacio estuvieron en la Gran Explosión.

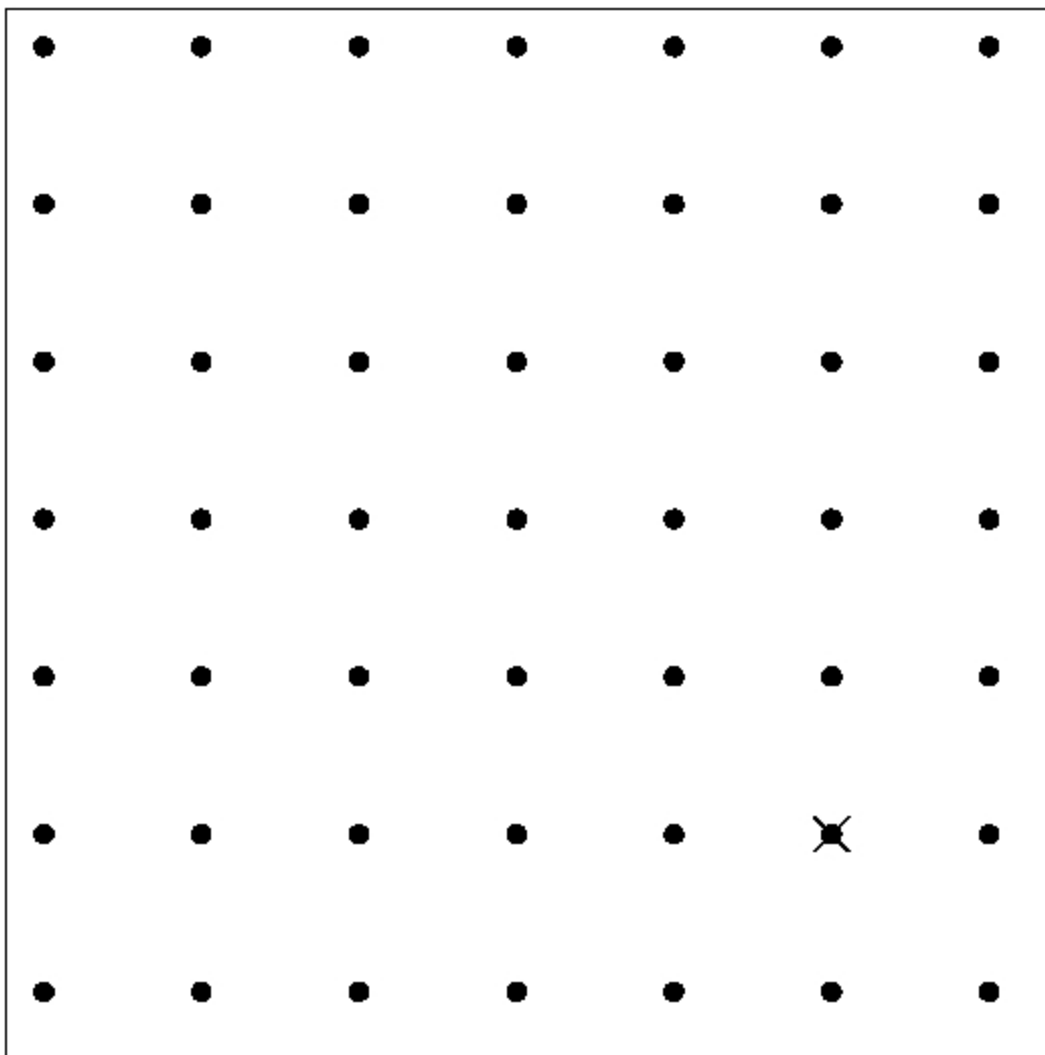


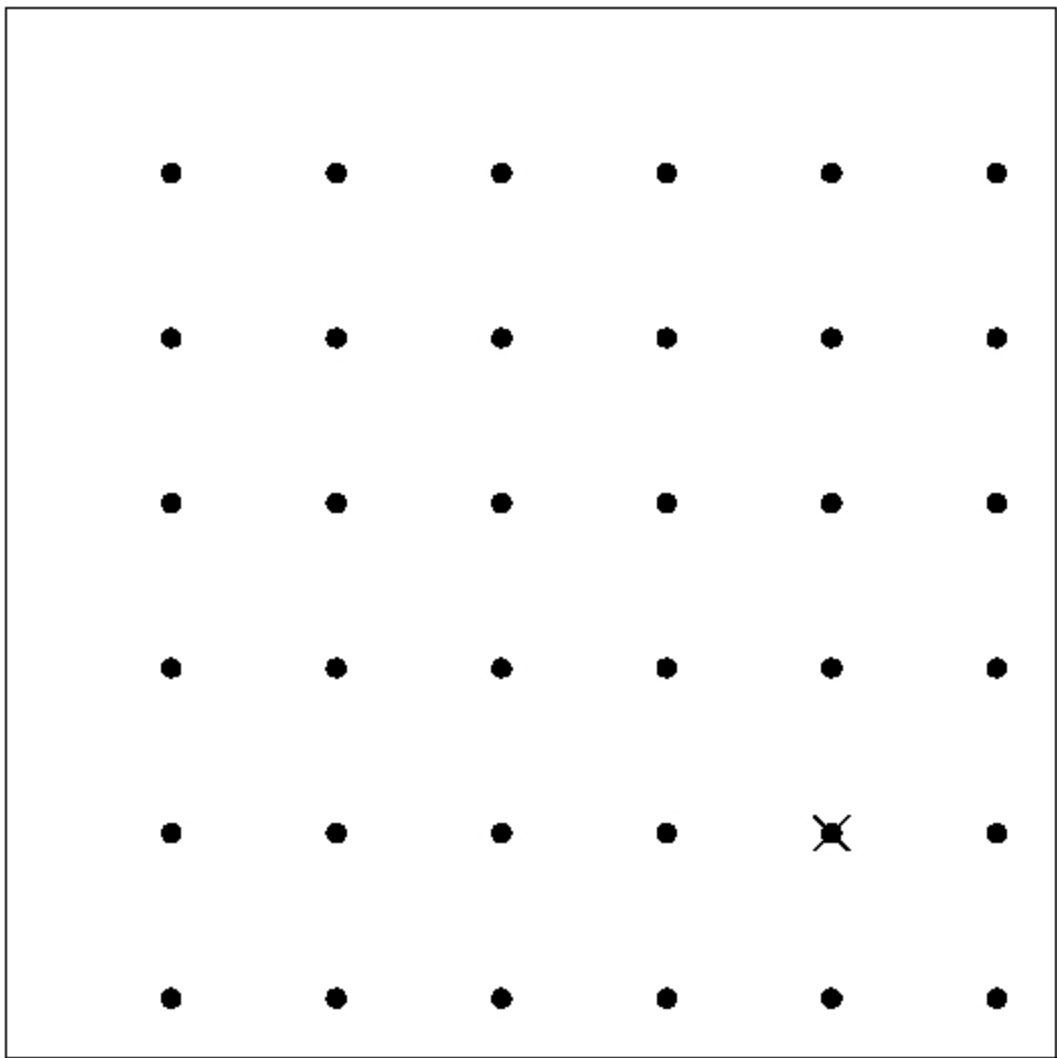


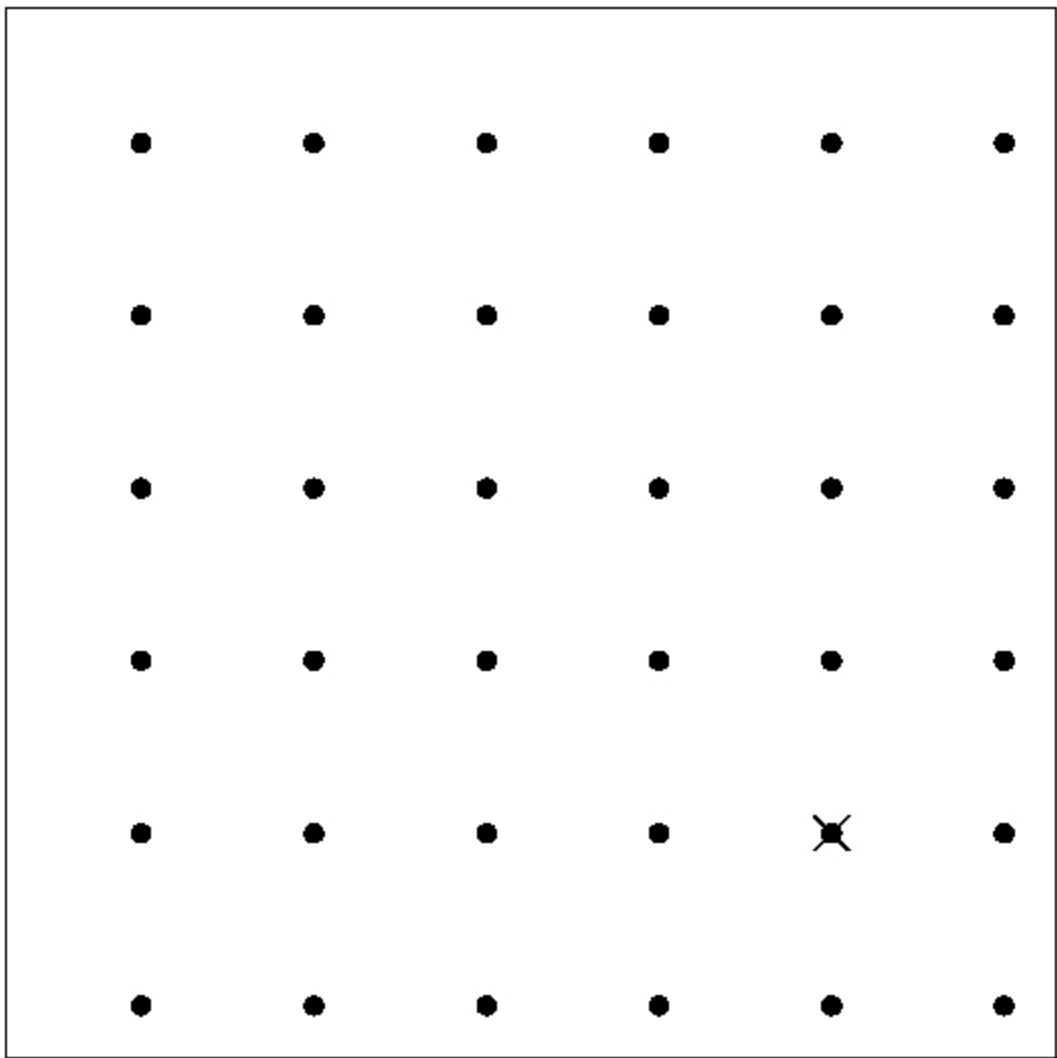












¿Podemos derivar la edad del Universo a partir de la ley de Hubble?

- Sí. Pensemos en el siguiente problema: Una persona sale en su auto de un punto de origen a velocidad constante de 50 km/h (la carretera está en línea recta). Un tiempo después se encuentra a 200 km del origen. ¿Cuánto tiempo hace que salió de su origen?
- Para encontrar el tiempo, dividimos la distancia recorrida entre la velocidad, para encontrar que fue hace 4 horas.
- Hagamos lo mismo con el Universo...

La Edad del Universo

Tiempo = Distancia/Velocidad

Como por la ley de Hubble:

Velocidad = Constante de Hubble X Distancia,

Obtenemos que

Tiempo = 1/Constante de Hubble

$$t = \frac{1}{H_0}$$

Los valores actuales de la constante de Hubble
(más correcciones) dan una edad de unos 13,800
millones de años...

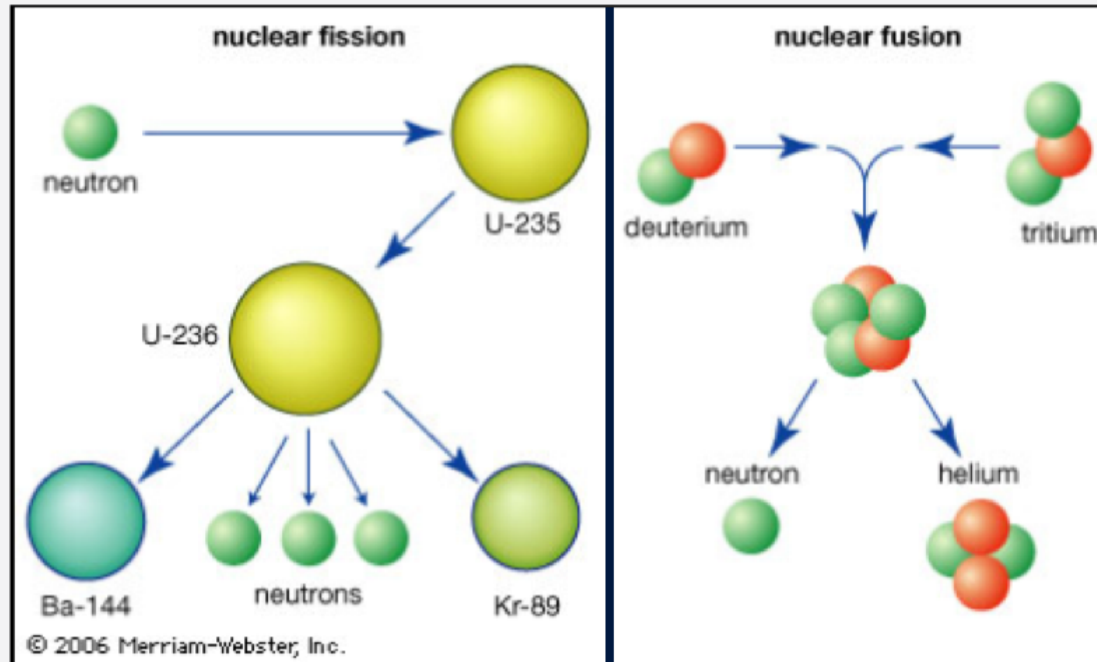
¿Qué ocurrió hace 13,800 millones de años?

- El Universo, o sea el tiempo, el espacio, la materia, y la energía se originaron en la llamada Gran Explosión (Big Bang).
- Si aceptamos estas “condiciones iniciales”, se puede describir mucho de la evolución del Universo a partir de ese momento.

¿Qué ocurrió **antes** de la Gran Explosión?

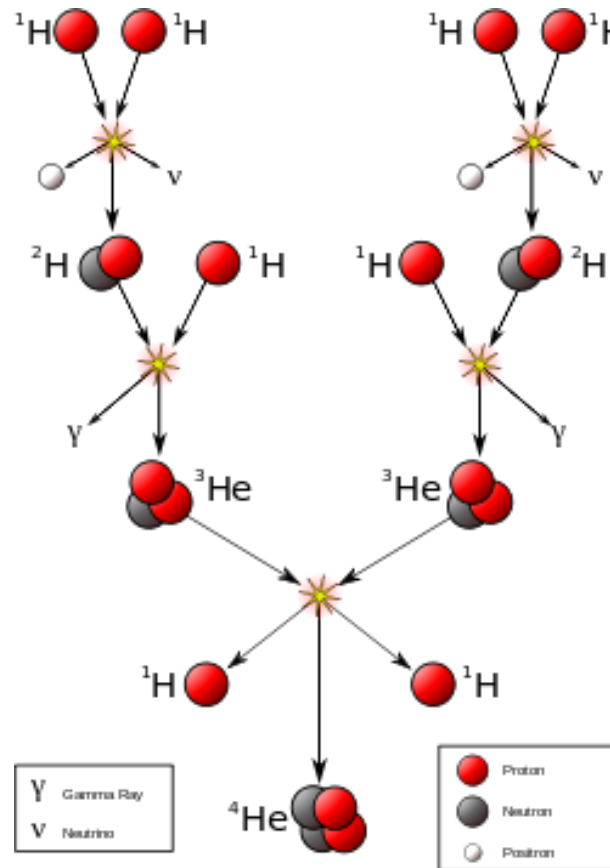
- Esta es la parte menos entendida del modelo.
- Sin embargo, los expertos dicen que “...preguntarse que pasó antes de la Gran Explosión es como preguntarse que hay un kilómetro al norte del Polo Norte...” O sea, que hay que pensar en la Gran Explosión como un momento de origen de todo.

NUCLEAR FISSION VS. NUCLEAR FUSION

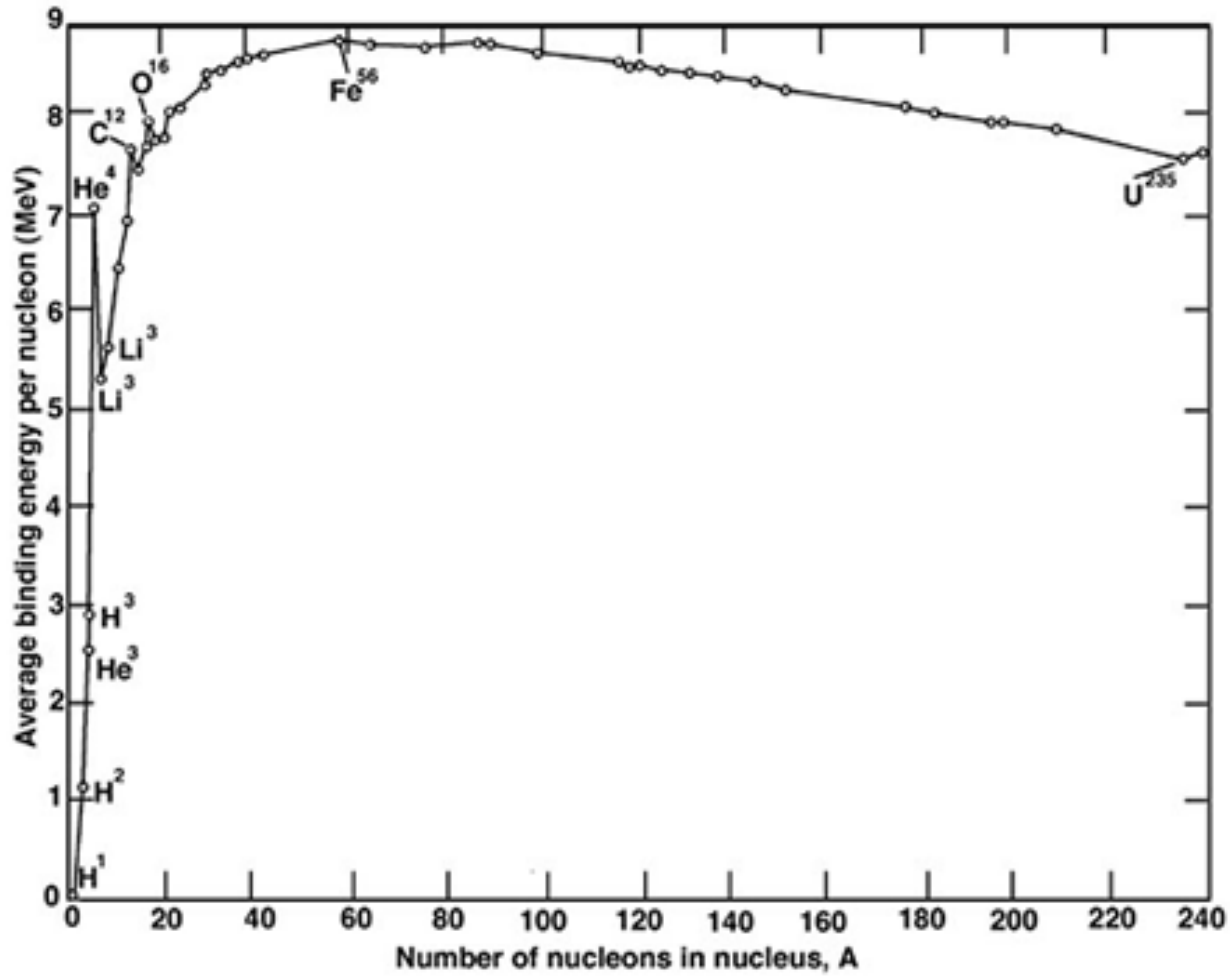


Top: Uranium-235 combines with a neutron to form an unstable intermediate, which quickly splits into barium-144 and krypton-89 plus three neutrons in the process of nuclear fission. Bottom: Deuterium and tritium combine by nuclear fusion to form helium plus a neutron.

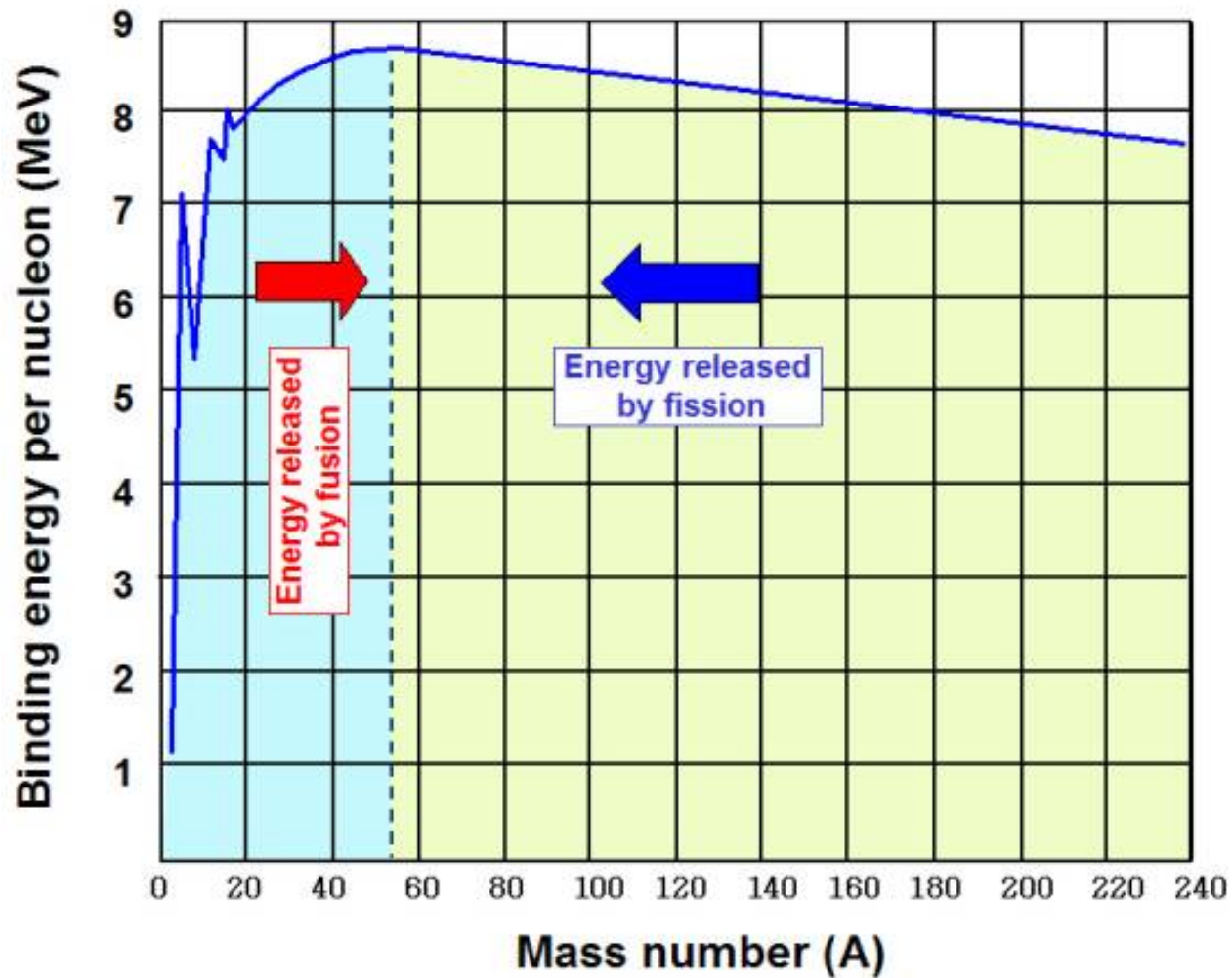
Primeros tres minutos: formación de helio



La curva de energía de amarre



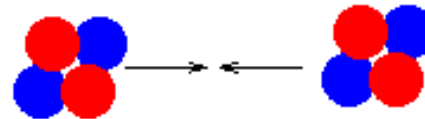
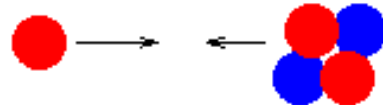
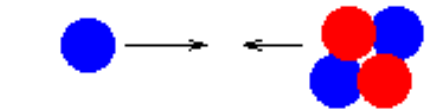
Fusión y fisión



El “cuello de botella” del berilio

 proton (+)

 neutron



Lithium-5
unstable!



Helium-5
unstable!



Beryllium-8
unstable!

La radiación cósmica de fondo

- El modelo de la Gran Explosión recibió el espaldarazo definitivo con el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo.
- Junto con la **materia**, durante la Gran Explosión se originó gran cantidad de **radiación**, que se había predicho debería de estar hoy en forma de ondas de radio (por la expansión del Universo).

¿Qué es la materia y que es la radiación?

- La materia tiene masa, por ejemplo, un átomo de hidrógeno o los átomos que nos forman.
- La radiación es una forma de energía pura, sin masa, y que sólo puede existir en movimiento (el cual es a la velocidad de la luz).
- Sin embargo, se pueden transformar de la una a la otra:

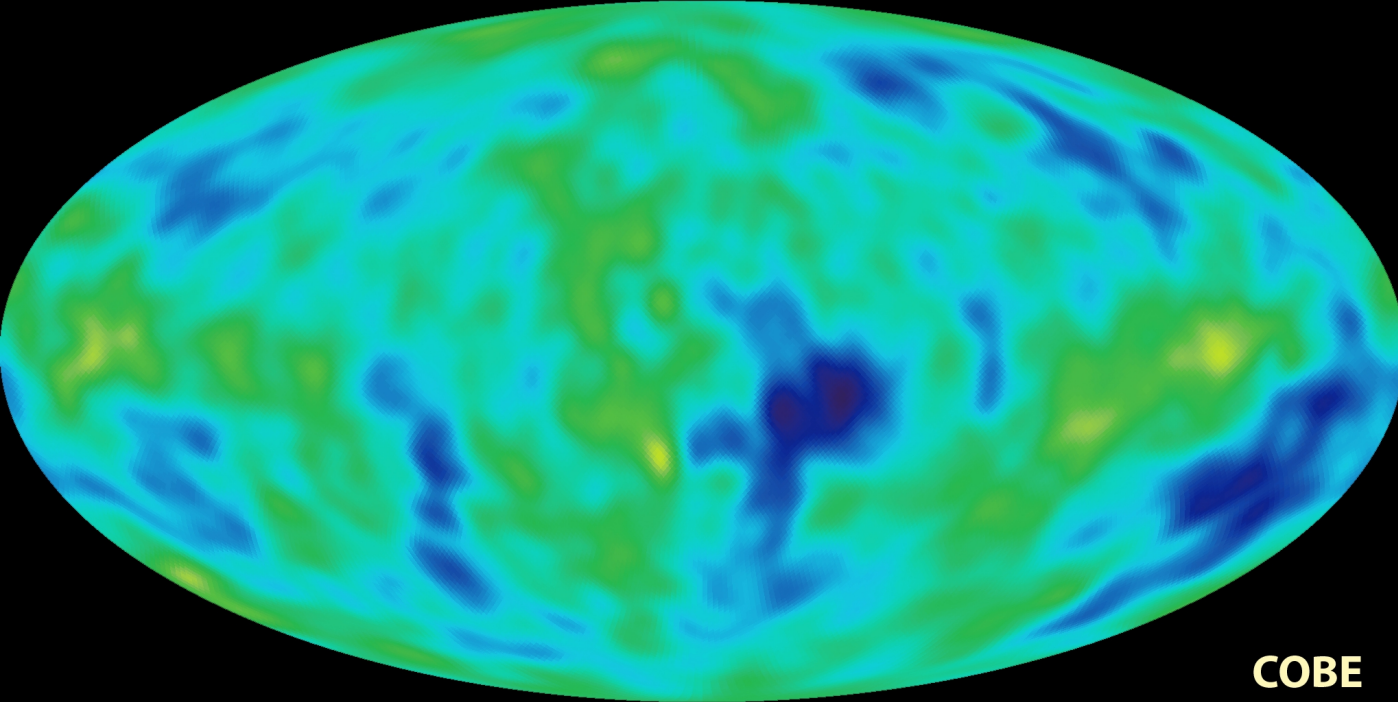
$$E = m c^2$$

Premio Nobel de Física
1978: Robert W. Wilson y
Arno Penzias

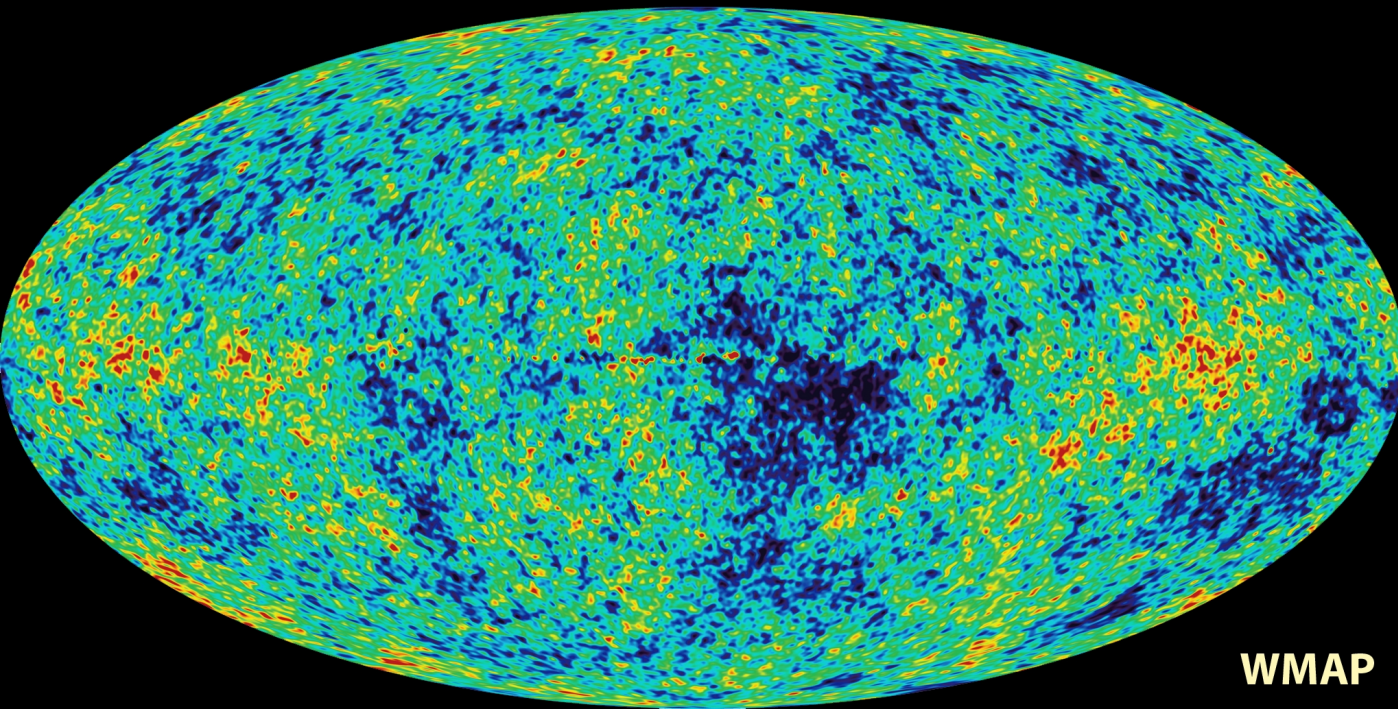
Descubrimiento de la
radiación cósmica de fondo



Scanned at the American
Institute of Physics



COBE



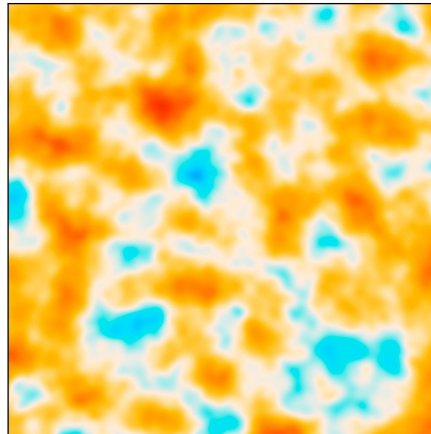
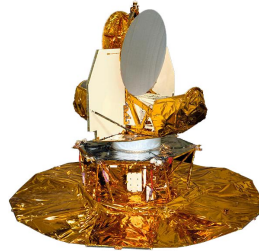
WMAP

COBE y WMAP son dos observatorios en órbita que midieron la distribución en el cielo de la radiación cósmica de fondo

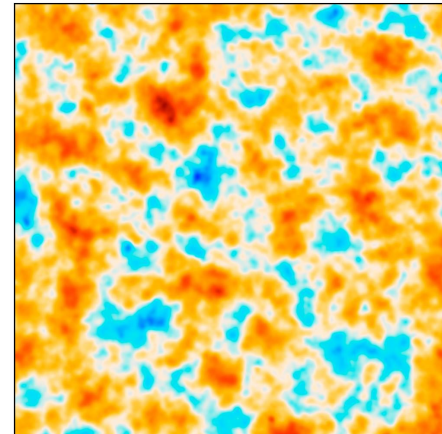
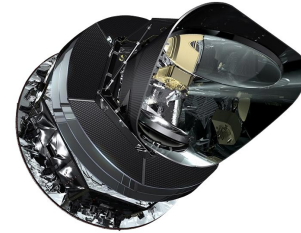
Cada vez mejor resolución angular



COBE



WMAP



Planck

Las variaciones en temperatura son del orden de 10^{-5}

Más de la radiación cósmica de fondo...

- Viene de cuando el Universo tenía tan sólo 380,000 años de creado, tan sólo 0.003 por ciento de su edad actual (13,800,000,000 años), equivalente a 10 minutos en el Calendario Cósmico.
- El Universo era entonces muy caliente (10,000 grados Kelvin, casi perfectamente homogéneo, y sólo tenía átomos de hidrógeno y helio.

¿Qué pasó desde
entonces que nos
llevó a la situación
actual, que es tan
distinta?

Receso...



www.crya.unam.mx



CENTRO DE RADIOASTRONOMIA
Y ASTROFISICA
INSTITUTO DE MATEMATICAS
UNAM



Fundamentos Astronómicos

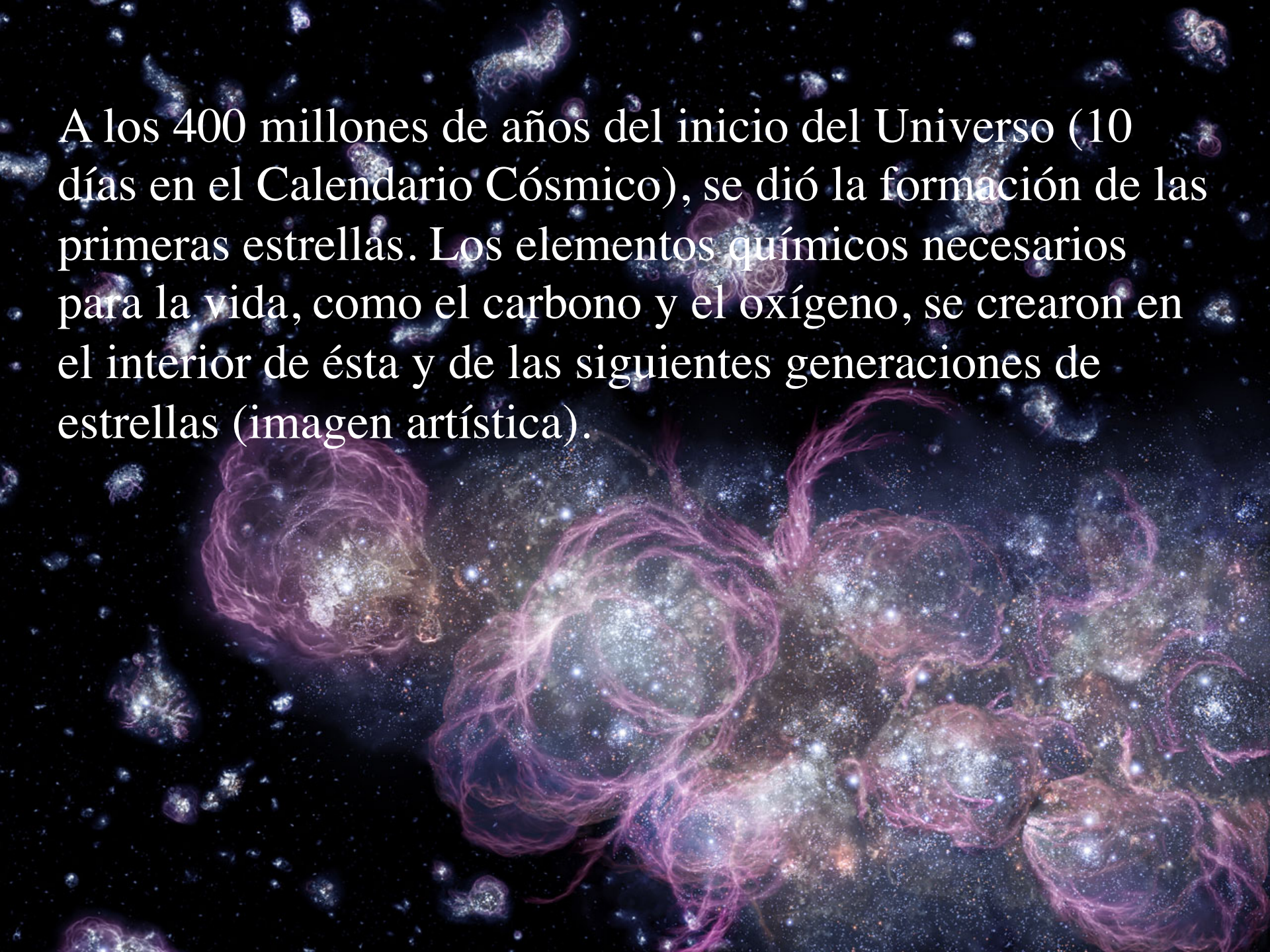
Luis F. Rodríguez, CRyA, UNAM y El Colegio Nacional



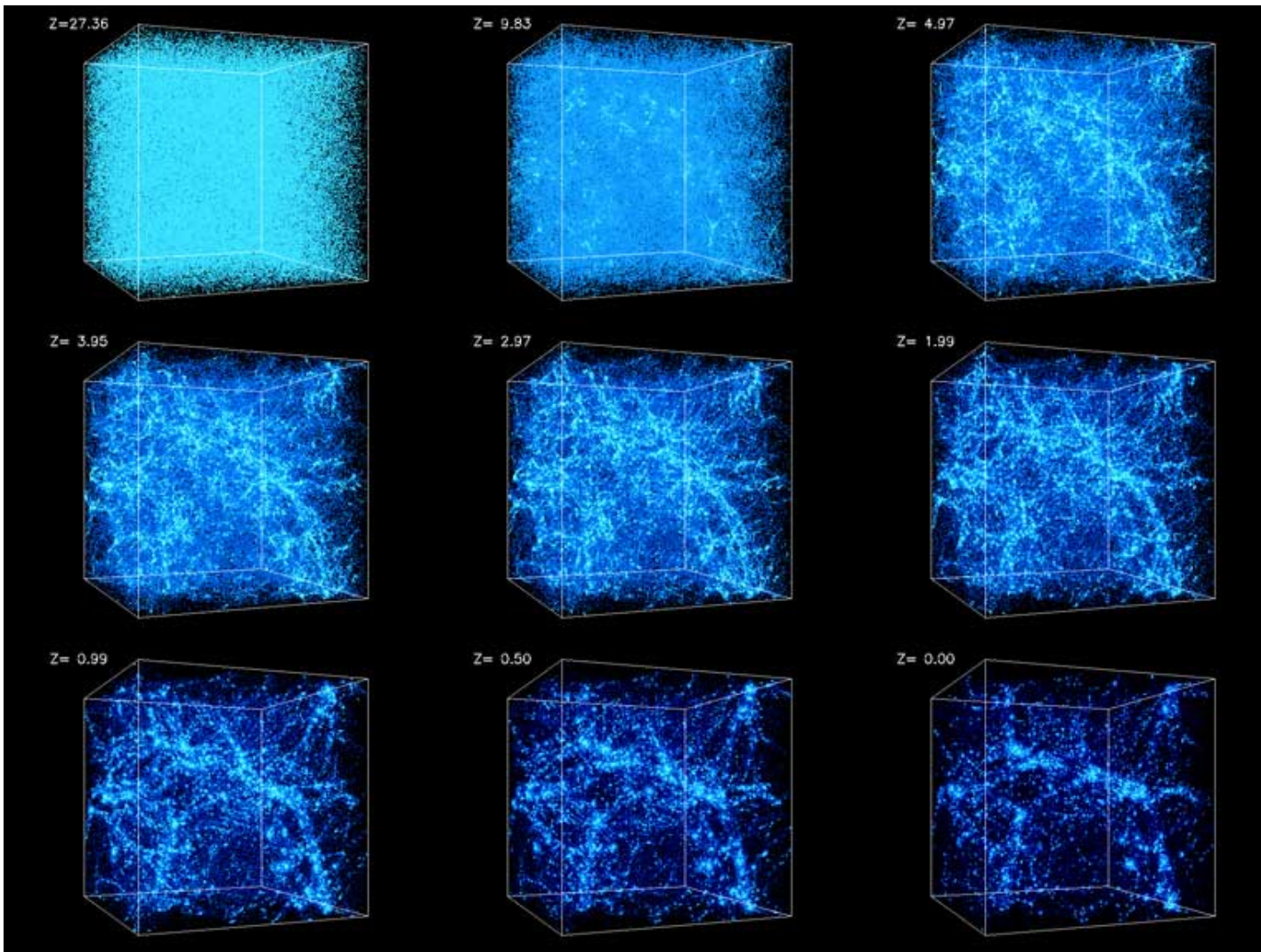
Abundancias Químicas en el Universo Original (por cada 100,000 átomos)

[illegible]

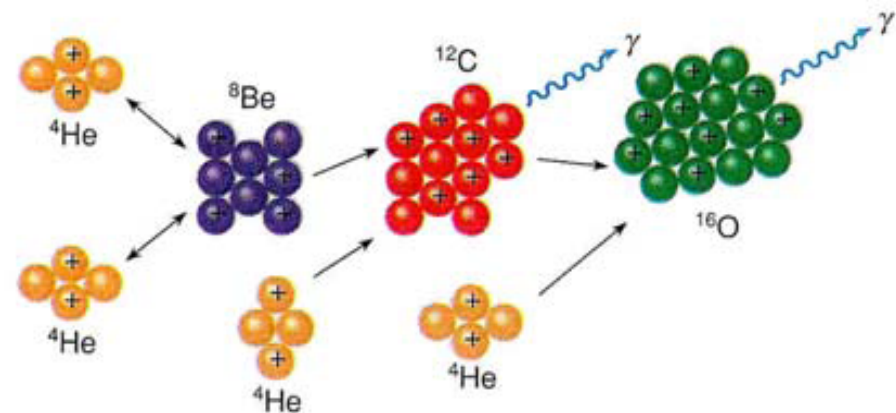
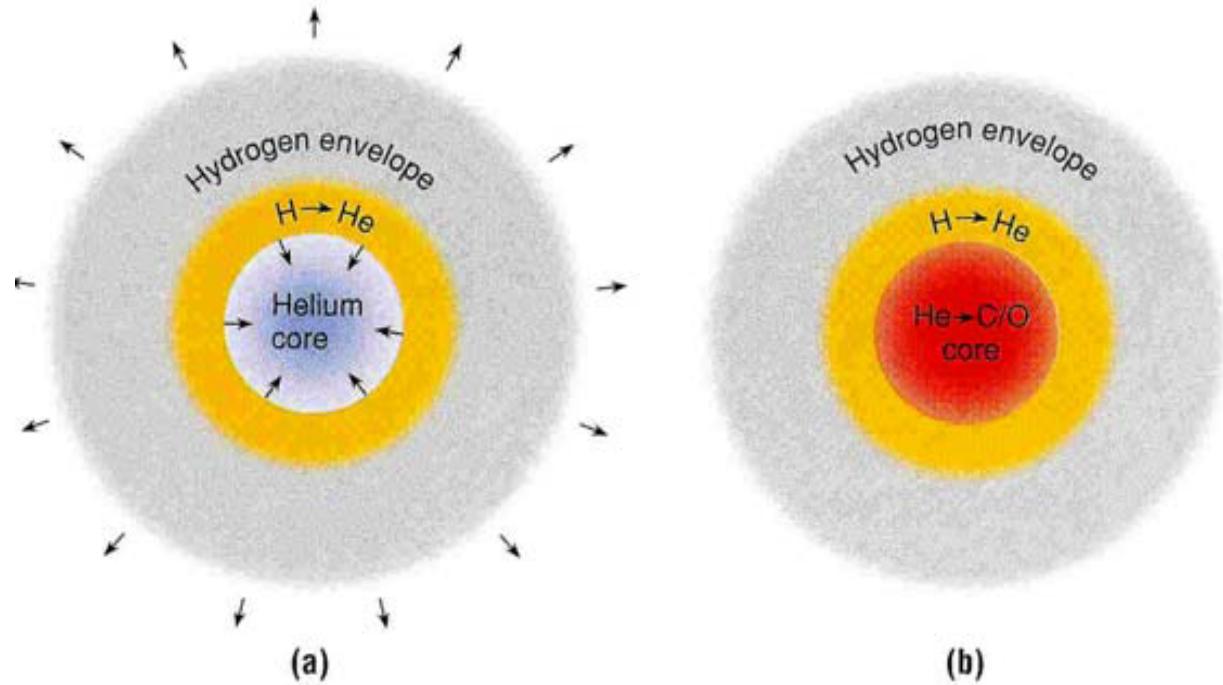
A los 400 millones de años del inicio del Universo (10 días en el Calendario Cósmico), se dió la formación de las primeras estrellas. Los elementos químicos necesarios para la vida, como el carbono y el oxígeno, se crearon en el interior de ésta y de las siguientes generaciones de estrellas (imagen artística).



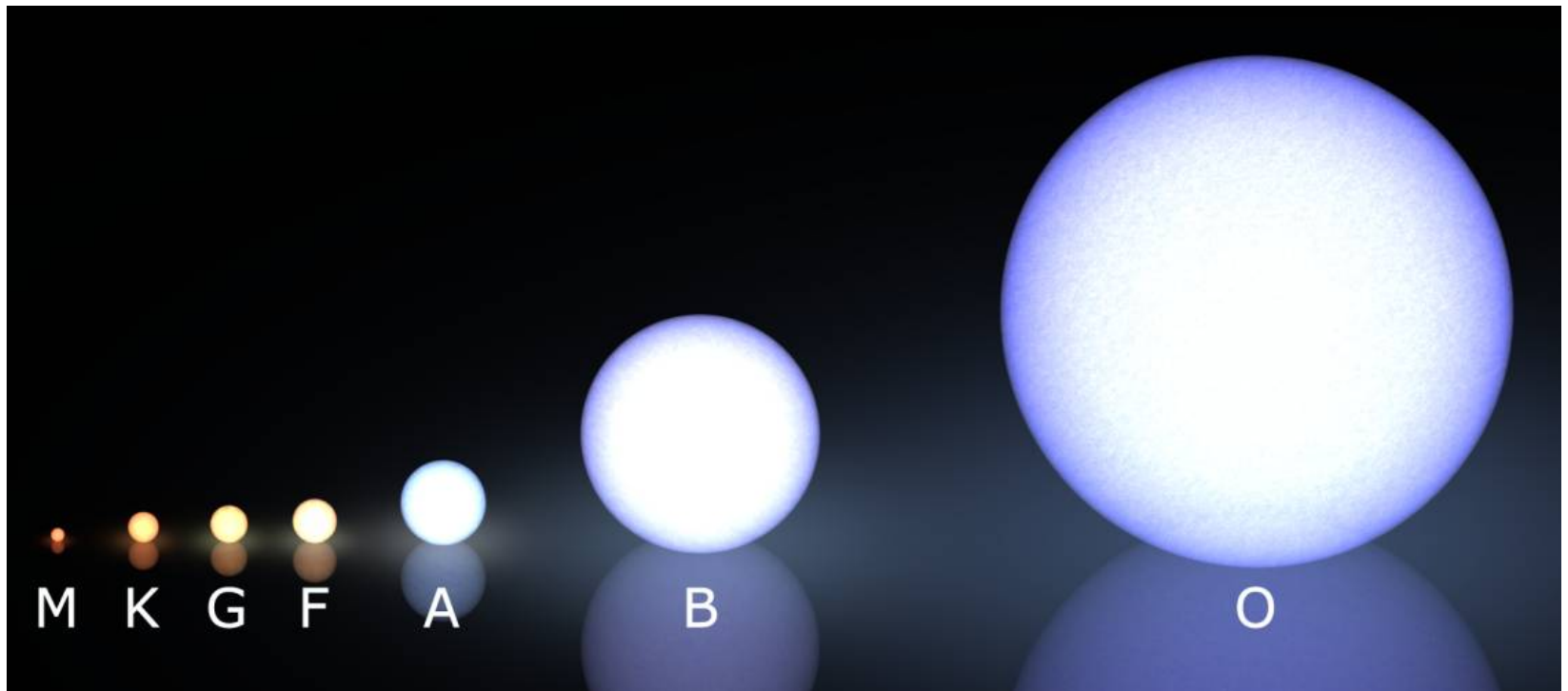
Formación de estructura en el Universo temprano



En el interior de las estrellas hay suficiente tiempo y densidad para pasar el cuello de botella del berilio y formar C y otros elementos.



Clasificación estelar



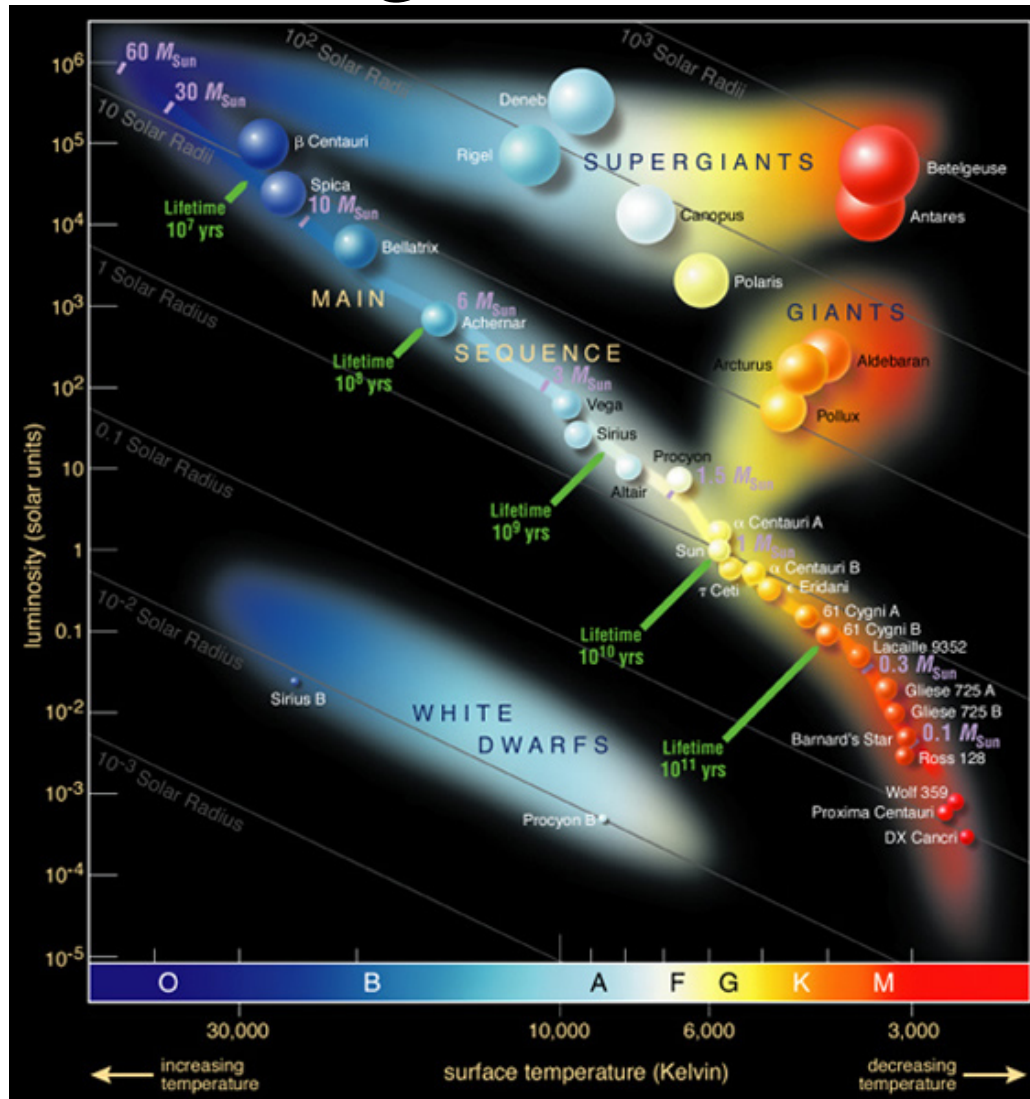
La masa determina las características de la estrella

Radio proporcional a Masa

Luminosidad proporcional a $Masa^4$

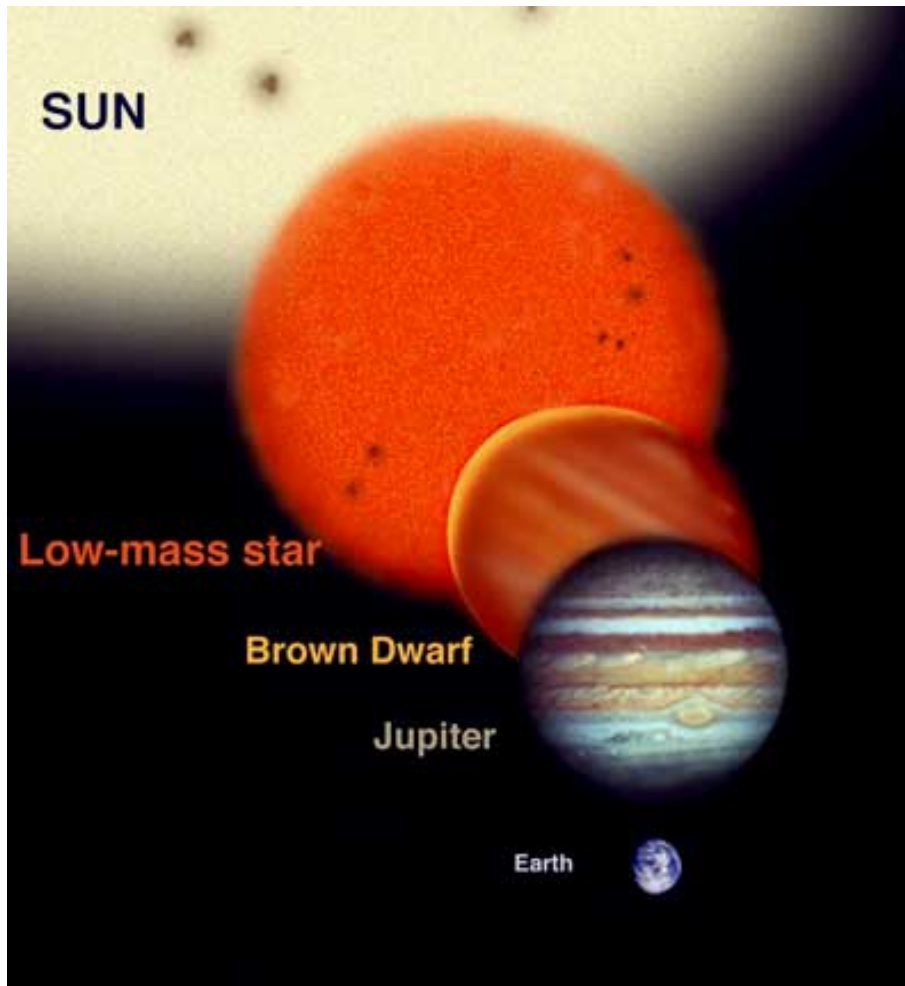
Duración proporcional a $Masa/Luminosidad = M^{-3}$

Diagrama H-R



Luminosidad vs. Temperatura

Enanas marrón: entre las estrellas y los planetas

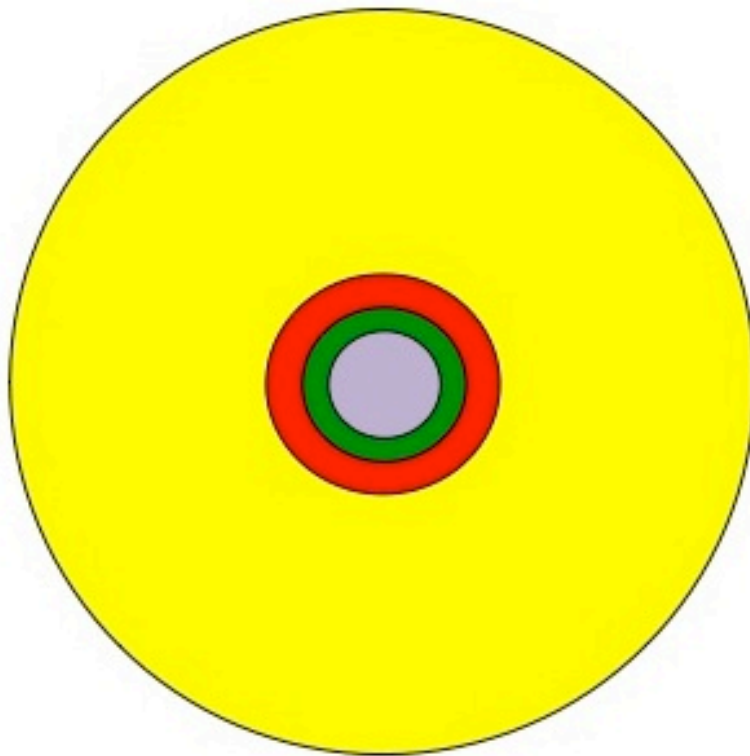


Estrellas: 0.075 a
 $100 M_{\text{sol}}$

Enanas marrón:
0.075 a $0.013 M_{\text{sol}}$

Planetas $< 0.013 M_{\text{sol}}$

Estrella solar

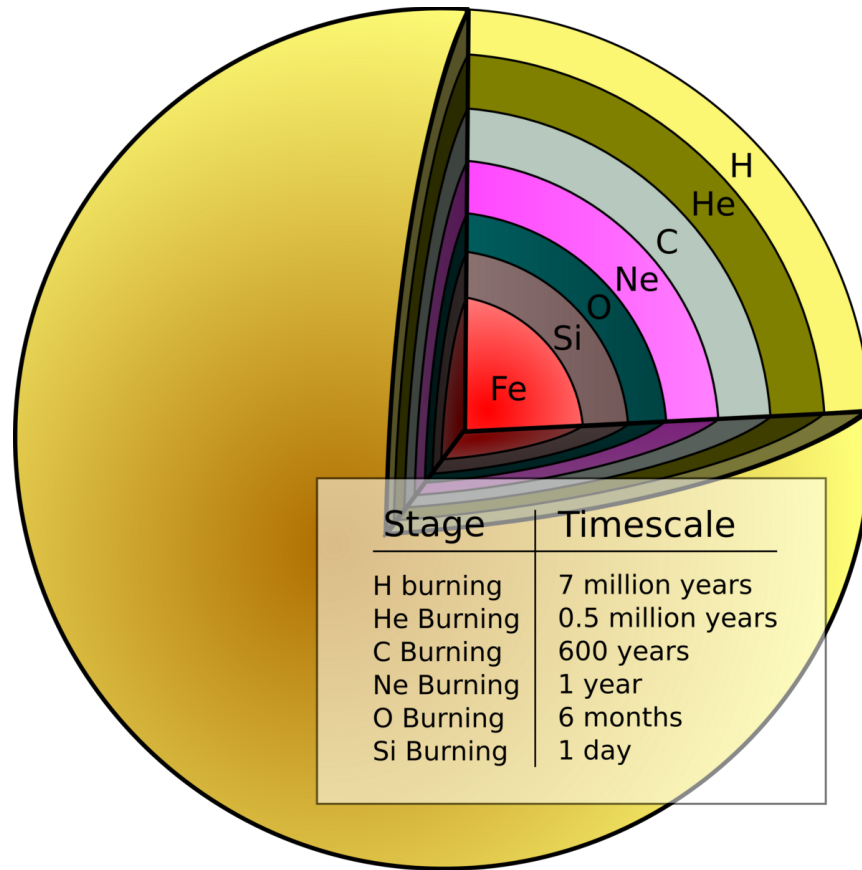


-  Inert Hydrogen
-  Hydrogen Fusion
-  Helium Fusion
-  Inert Carbon

Nebulosa planetaria



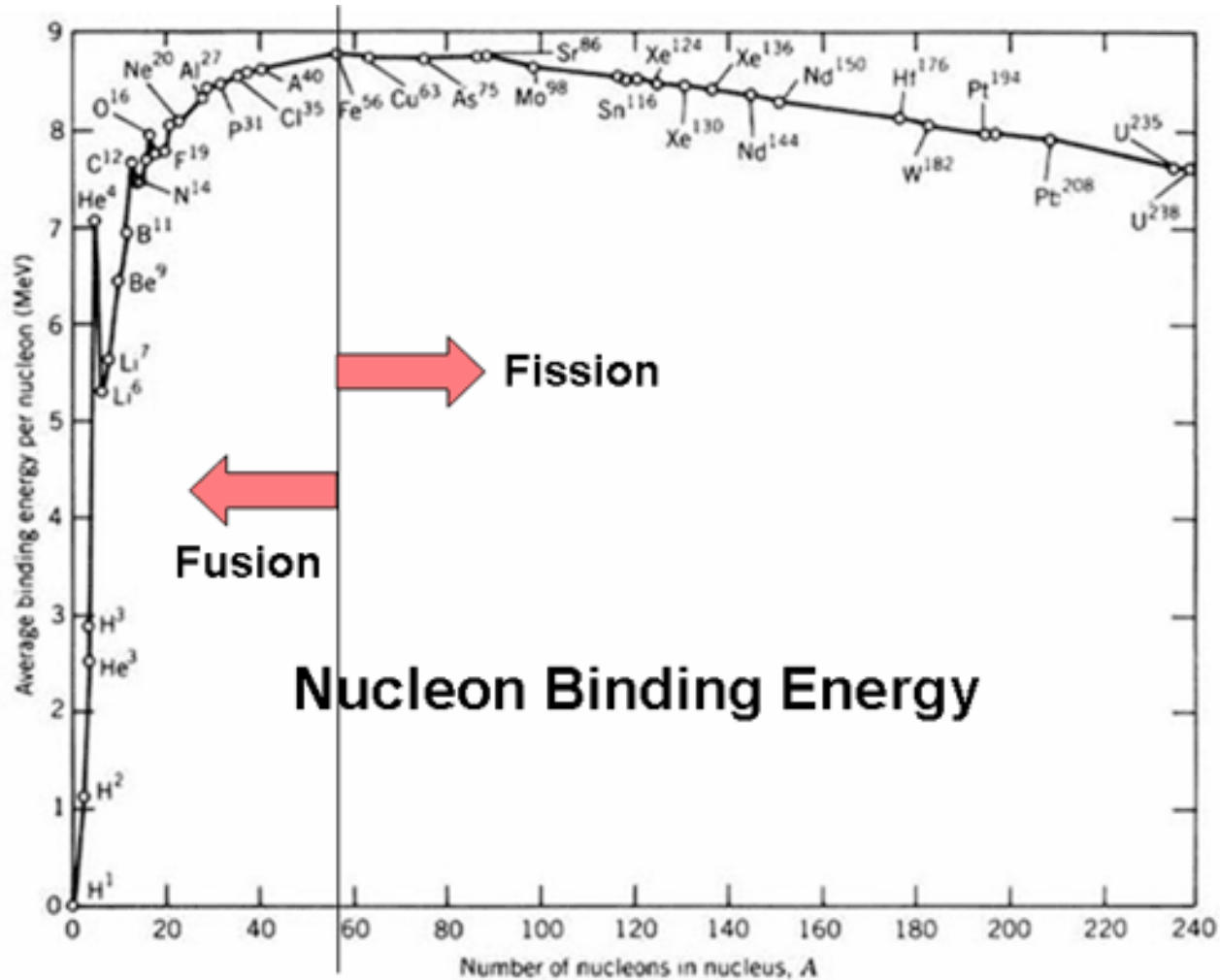
Estrella de alta masa



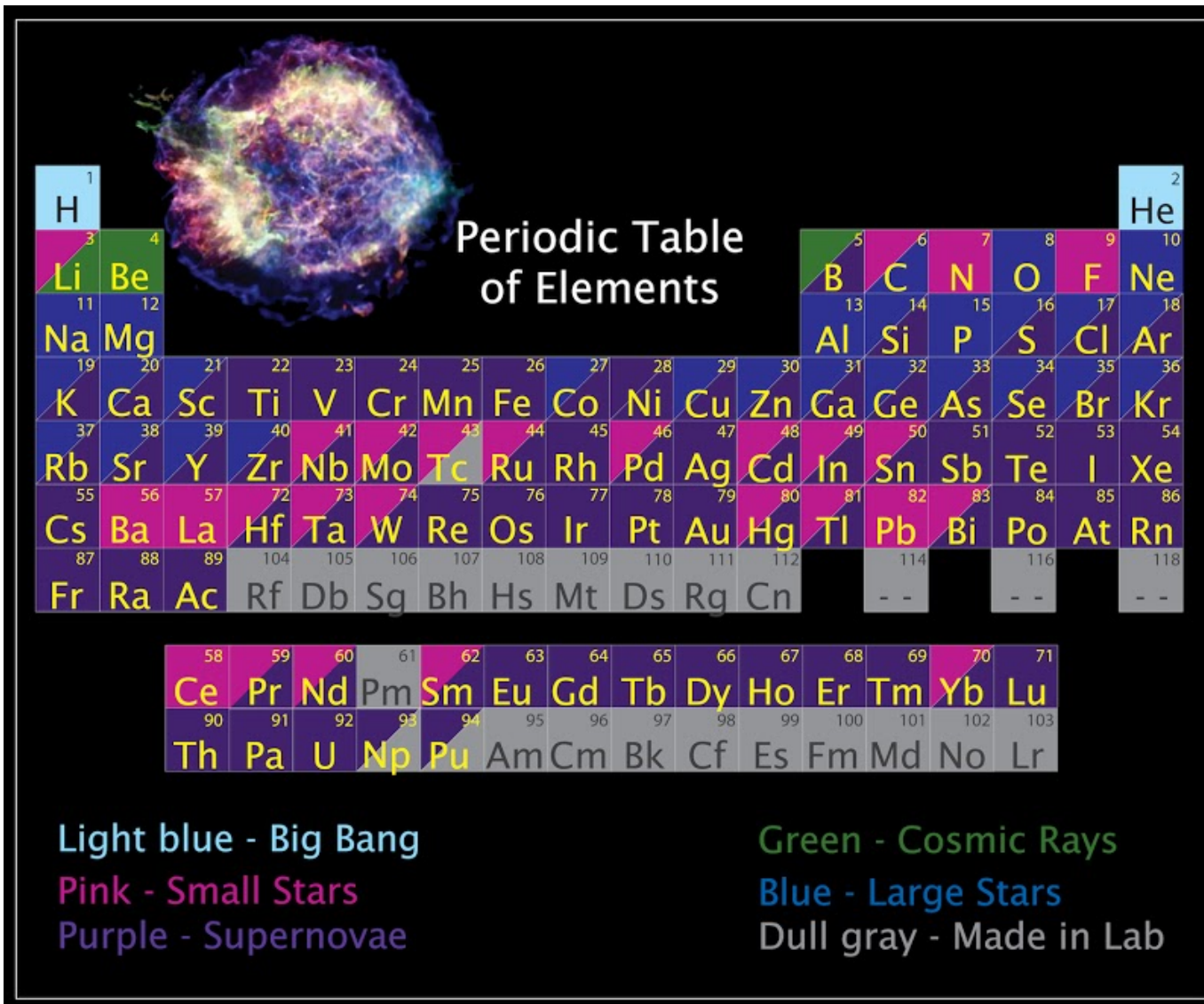
Remanente de supernova



Elementos más allá del Fe



El origen de los elementos



Abundancias Químicas en el Universo Actual (por cada 100,000 átomos)

Orden	Atomo	Abundancia
1	Hidrógeno	92,700
2	Helio	7,200
3	Oxígeno	50
4	Neón	19
5	Nitrógeno	15
6	Carbono	8
7	Silicio	2.3
8	Magnesio	2.1
9	Fierro	1.4
10	Azufre	0.9

- The periodic table according to astronomers:

H He

Li Be B C N O F Ne

Na Mg

Si

Fe.....

- The periodic table according to biologists:

C, O

H N S ..Mg ...Fe, P,
Na, K...
...W

¿Cómo sería la tabla periódica
desde el punto de vista de los
astrobiólogos?

Hablemos ahora del medio interestelar...

- Formado por una mezcla de gas primigenio con gas procesado en las estrellas.
- De él se forman las estrellas y los planetas mediante el proceso de contracción gravitacional.

La era del pesimismo

- El medio entre las estrellas es muy inhóspito y las moléculas son relativamente delicadas.
- Hasta los años 1960's se creía que no habría muchas moléculas ahí.
- En la actualidad se han detectado un gran número de moléculas en el medio interestelar. ¿Qué fue lo que pasó?

El Medio Interestelar:

El material que hay entre las estrellas

- Constituyentes:
 - Gases:
 - Hidrógeno (92% por número)
 - Helio (8%)
 - Oxígeno, Carbono, etc. (0.1%)
 - Partículas de Polvo
 - 1% de la masa del medio interestelar
- Densidad promedio: 1 átomo / cm³

En comparación nuestra atmósfera tiene $\approx 10^{19}$ *moléculas cm⁻³*

Región HII, temperatura del orden de 10,000 K



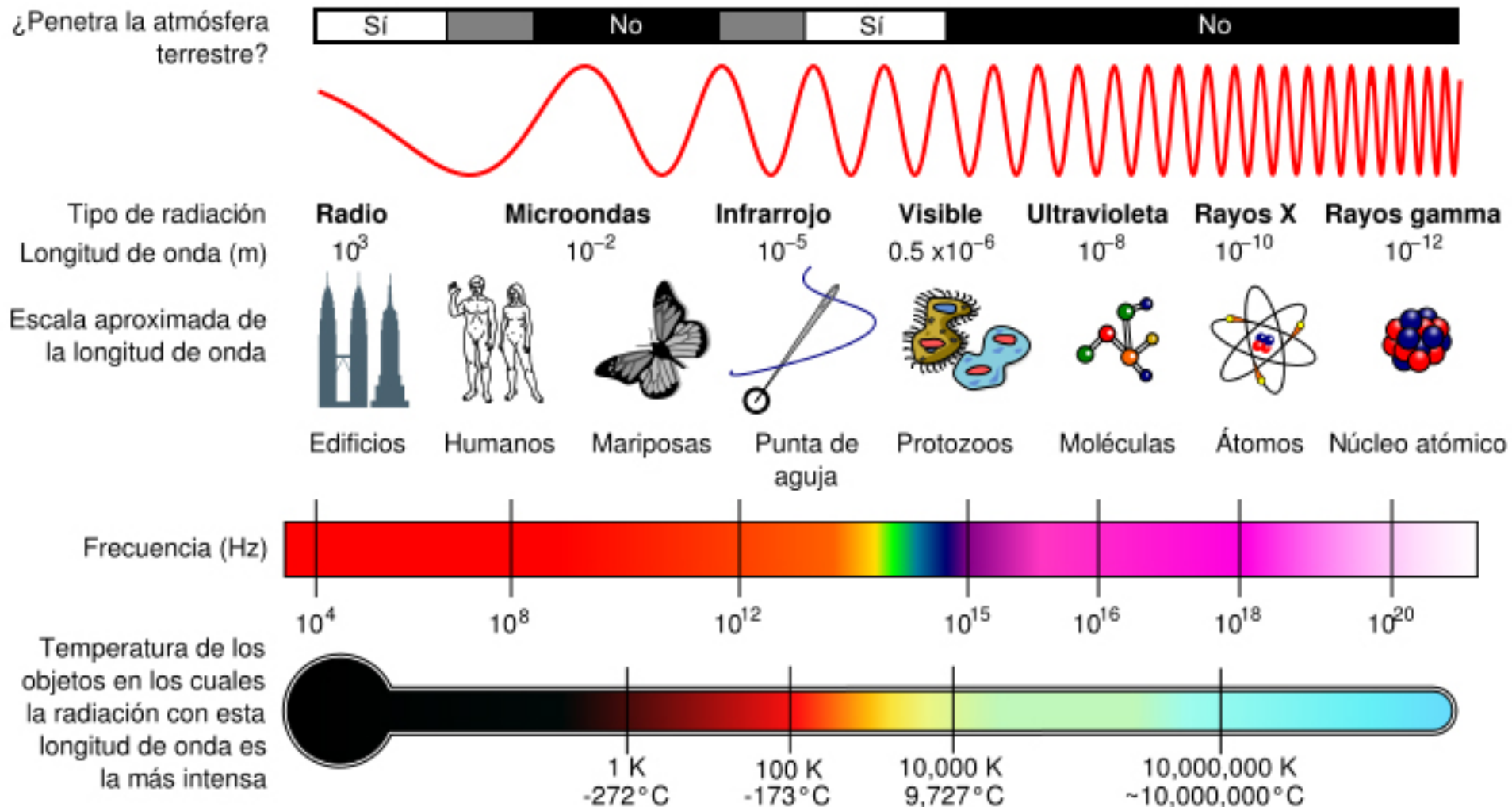
Otra región HII. ¿Pero qué son esas nubes oscuras?



El gas en esas nubes “oscuras” está en forma molecular y es muy frío (10 K).



Todo es según el color del cristal con que se mira...



Niveles de energía de una molécula diatómica

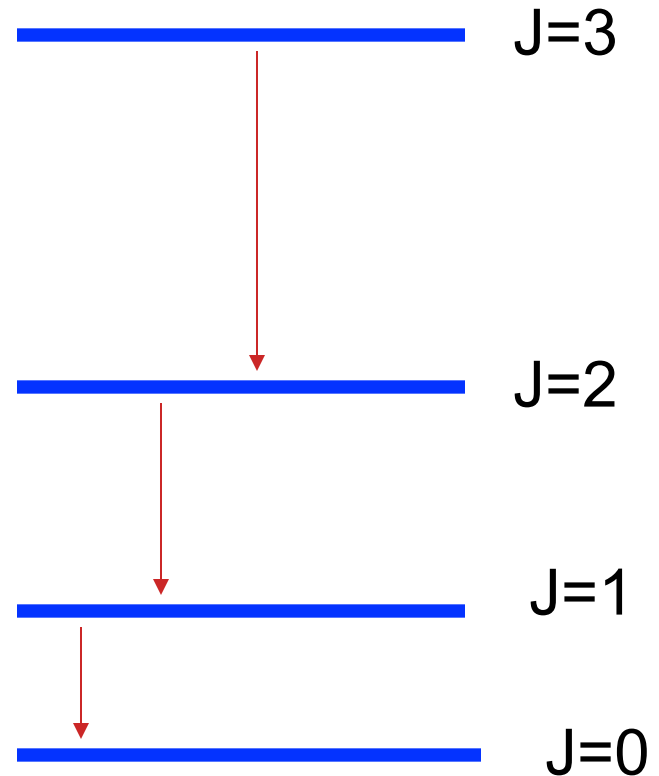
$$T_r = \frac{L^2}{2I}$$

$$L^2 = J(J+1)\hbar^2$$

$$E(J) = \frac{\hbar^2}{2I} J(J+1) = hBJ(J+1)$$

$$\nu = 2B, 4B, 6B$$

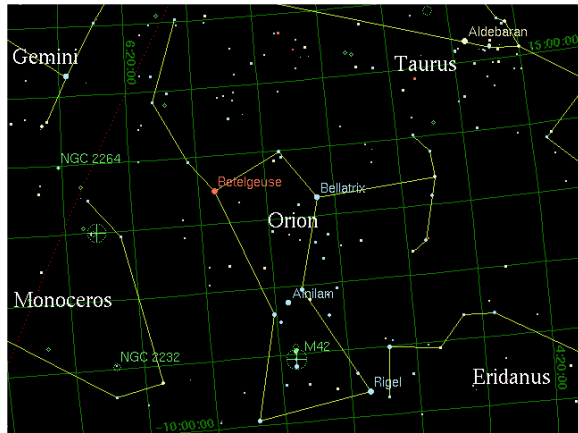
$$B = 57\text{GHz}$$



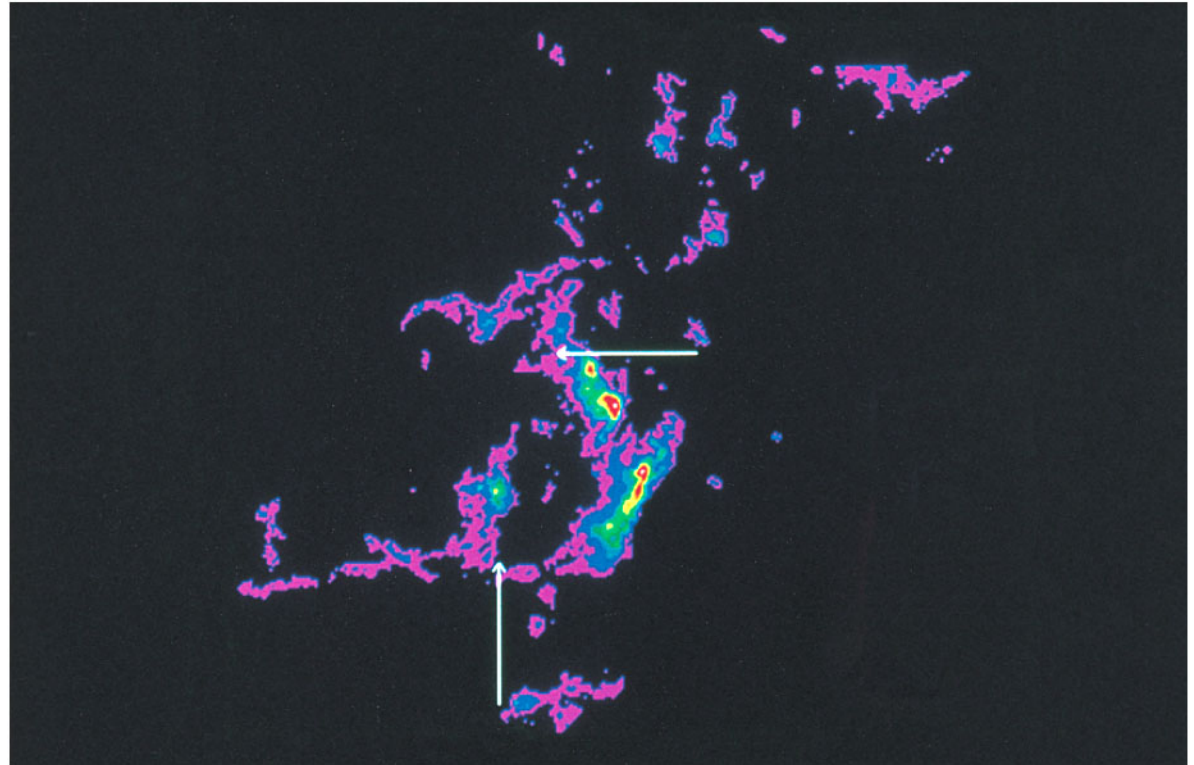
El Medio Interestelar es Muy Diverso: Distintas “Fases”

	Estado del H & C	Temperatura	Densidades (H/cm ³)	% Volumen
Regiones HII & Nebulosas Planetarias	H, C Ionizados	5000 K	0.5	< 1%
MIE Difuso	H, C Ionizados	1,000,000 K	0.01	50%
Difuso Atómico	H ₂ < 0.1 C Ionizado	30-100 K	10-100	30%
Difuso Molecular	0.1 < H ₂ < 50% C ⁺ > 50%	30-100 K	100-500	10%
Translúcido Molecular	H ₂ ~ 1 C ⁺ < 0.5, CO < 0.9	15-50 K	500-5000?	Pequeño
Denso Molecular	H ₂ ~ 1 CO > 0.9	10-50 K	> 10 ⁴	10%

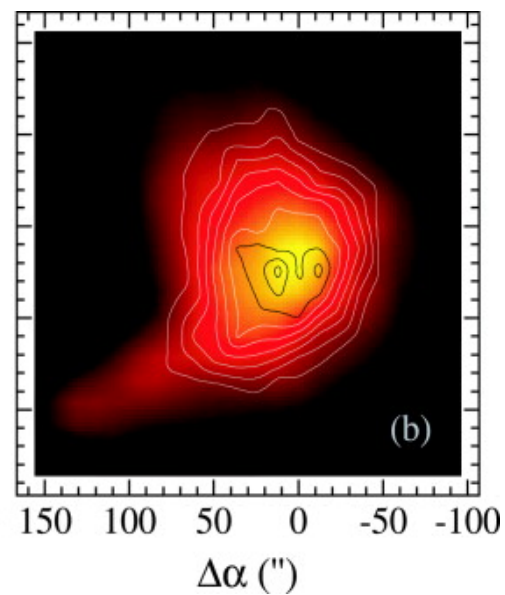
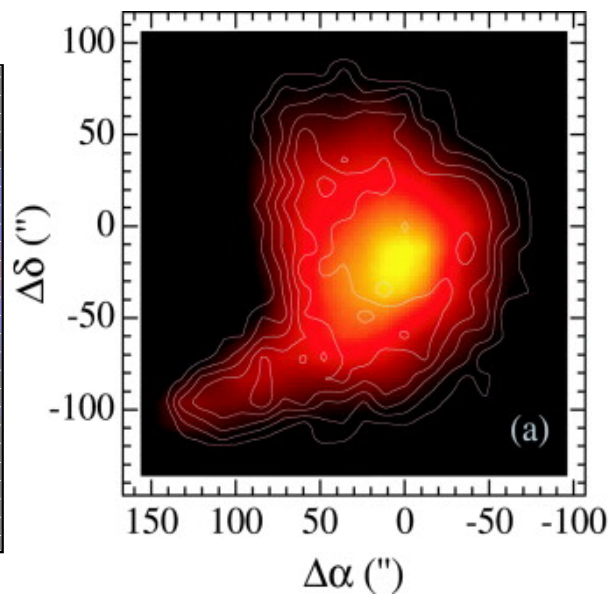
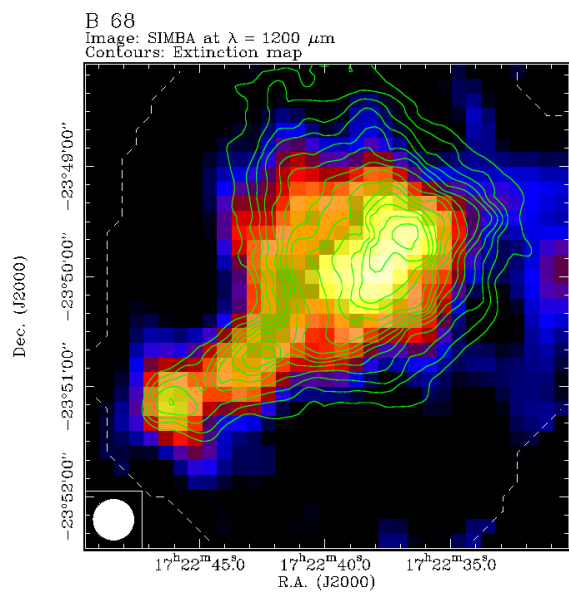
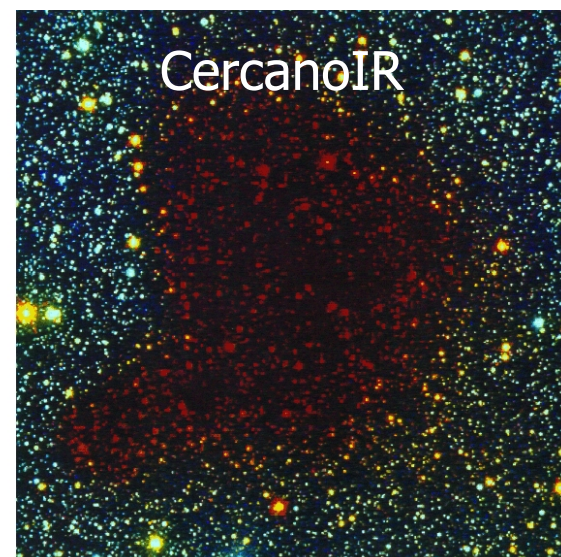
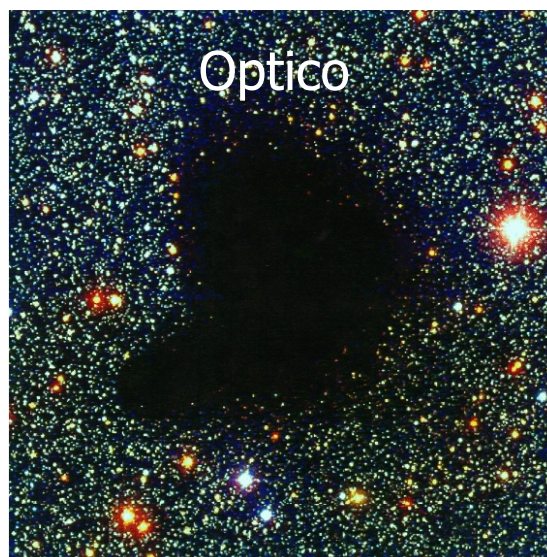
El cielo en la emisión de la molécula de monóxido de carbono



Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

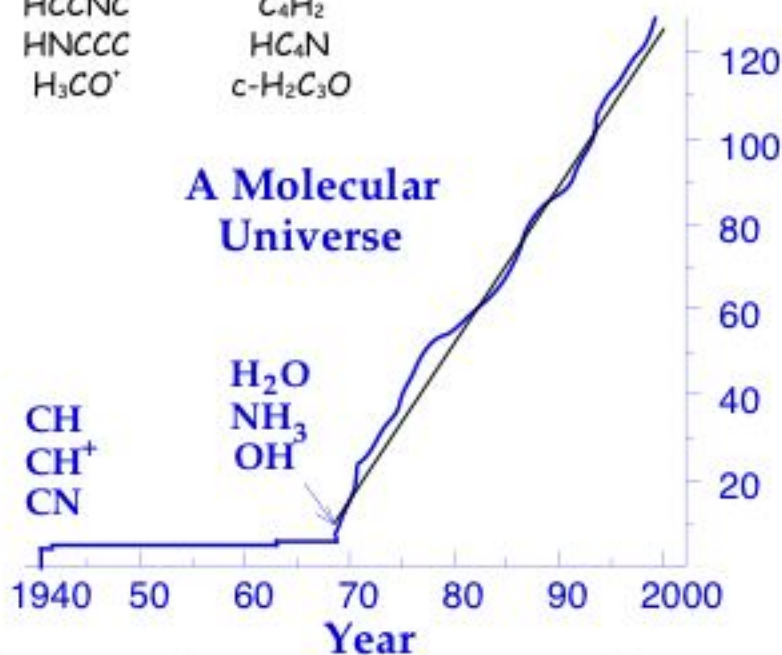


B



Known Interstellar and Circumstellar Molecules (Jan. 2006)

Number of Atoms							
2	3	4	5	6	7	8	9
H ₂	H ₂ O	NH ₃	SiH ₄	CH ₃ OH	CH ₃ CHO	HCOOCH ₃	CH ₃ CH ₂ OH
OH	H ₂ S	H ₃ O ⁺	CH ₄	NH ₂ CHO	CH ₃ NH ₂	CH ₂ OHCHO	(CH ₃) ₂ O
SO	SO ₂	H ₂ CO	CHOOH	CH ₃ CN	CH ₃ CCH	CH ₃ C ₂ CN	CH ₃ CH ₂ CN
SO ⁺	HN ₂ ⁺	H ₂ CS	HC = CCN	CH ₃ NC	CH ₂ CHCN	C ₇ H	H(C=C) ₃ CN
SiO	HNO	HNCO	CH ₂ NH	CH ₃ SH	HC ₄ CN	H ₂ C ₆	CH ₃ (C=C) ₂ H
SiS	SiH ₂	HNCS	NH ₂ CN	C ₅ H	C ₆ H	HC ₆ H	C ₈ H
NO	NH ₂	CCCN	H ₂ CCO	HC ₂ CHO	c-CH ₂ OCH ₂	CH ₃ CO ₂ H	
NS	H ₃ ⁺	HCO ₂ ⁺	C ₄ H	CH ₂ =CH ₂	CH ₂ CHOH	H ₂ C ₃ HCN	10
HCl	NNO	CCCH	c-C ₃ H ₂	H ₂ CCCC		CH ₂ CHCOH	CH ₃ COCH ₃
NaCl	HCO	c-CCCH	CH ₂ CN	HC ₃ NH ⁺			CH ₃ (C=C) ₂ CN
AlCl	OCS	CCCS	SiC ₄	HC ₄ H			HOCH ₂ CH ₂ OH
AlF	CCH	HCCH	H ₂ CCC	C ₅ S			CH ₃ CH ₂ CHO
PN	HCS ⁺	HCNH ⁺	HCCNC	C ₄ H ₂			
SiN	c-SiCC	HCCN	HNCCC	HC ₄ N			
NH	CCO	H ₂ CN	H ₃ CO ⁺	c-H ₂ C ₃ O			11
SH	CCS	c-SiC ₃					H(C=C) ₄ CN
HF	C ₃	CH ₃					CH ₃ C ₆ H
CN	MgNC	CH ₂ D ⁺					12
CO	NaCN	AlNC					c-C ₆ H ₆
CS	CH ₂						13
C ₂	MgCN						H(C=C) ₅ CN
SiC	HOC ⁺						
CP	HCN						
CO ⁺	HNC						
CH ⁺	CO ₂						
CH	SiCN						
N ₂	AlCN						
	SiNC						
	KCN						



Total: 135

Periodic Table of the Elements

1 IA		New Original		Alkali metals		Actinide series		C Solid												18 VIIIA			
1 H Hydrogen 1.00794		2 He		Alkaline earth metals		Poor metals		Br Liquid				13 IIIA		14 IVA		15 VA		16 VIA		17 VIIA		2 He Helium 4.002602	
3 Li Lithium 6.941		4 Be Beryllium 9.012182				Nonmetals		H Gas				5 B Boron 10.811		6 C Carbon 12.0107		7 N Nitrogen 14.00674		8 O Oxygen 15.9994		9 F Fluorine 16.9984032		10 Ne Neon 20.1797	
11 Na Sodium 22.989770		12 Mg Magnesium 24.3050		3 IIIB		4 IVB		5 VB		6 VIB		7 VIIB		8		9 VIIIB		10		11 IB		12 IIB	
19 K Potassium 39.0983		20 Ca Calcium 40.078		21 Sc Scandium 44.955910		22 Ti Titanium 47.867		23 V Vanadium 50.9415		24 Cr Chromium 51.9961		25 Mn Manganese 54.938049		26 Fe Iron 55.8457		27 Co Cobalt 58.933200		28 Ni Nickel 58.6934		29 Cu Copper 63.546		30 Zn Zinc 65.409	
37 Rb Rubidium 85.4678		38 Sr Strontium 87.62		39 Y Yttrium 88.90585		40 Zr Zirconium 91.224		41 Nb Niobium 92.90638		42 Mo Molybdenum 95.94		43 Tc Technetium (98)		44 Ru Ruthenium 101.07		45 Rh Rhodium 102.90550		46 Pd Palladium 106.42		47 Ag Silver 107.8682		48 Cd Cadmium 112.411	
55 Cs Cesium 132.90545		56 Ba Barium 137.327		57 to 71		72 Hf Hafnium 178.49		73 Ta Tantalum 180.9479		74 W Tungsten 183.84		75 Re Rhenium 186.207		76 Os Osmium 190.23		77 Ir Iridium 192.217		78 Pt Platinum 195.078		79 Au Gold 196.96655		80 Hg Mercury 200.59	
87 Fr Francium (223)		88 Ra Radium (226)		89 to 103		104 Rf Rutherfordium 101		105 Db Dubnium (262)		106 Sg Seaborgium (266)		107 Bh Bohrium (264)		108 Hs Hassium (268)		109 Mt Meitnerium (272)		110 Ds Darmstadtium (271)		111 Rg Roentgenium (272)		112 Uub Ununbium (285)	
						113 Uut Ununtrium (284)		114 Uuq Ununquadium (289)		115 Uup Ununpentium (288)		116 Uuh Ununhexium (292)		117 Uus Ununseptium		118 Uuo Ununoctium							

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com). <http://www.dayah.com/periodic/>

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
Lanthanum 138.9055	Cerium 140.116	Praseodymium 140.90765	Neodymium 144.24	Promethium (145)	Samarium 150.36	Eurprium 151.964	Gadolinium 157.25	Terbium 158.92534	Dysprosium 162.500	Holmium 164.93032	Erbium 167.259	Thullium 168.93421	Ytterbium 173.04	Lutetium 174.967
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
Actinium (227)	Thorium 232.0381	Protactinium 231.03588	Uranium 238.02891	Neptunium (237)	Plutonium (244)	Americium (243)	Curium (258)	Berkelium (247)	Californium (251)	Einsteinium (252)	Fermium (257)	Mendelevium (258)	Nobelium (259)	Lawrencium (262)

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

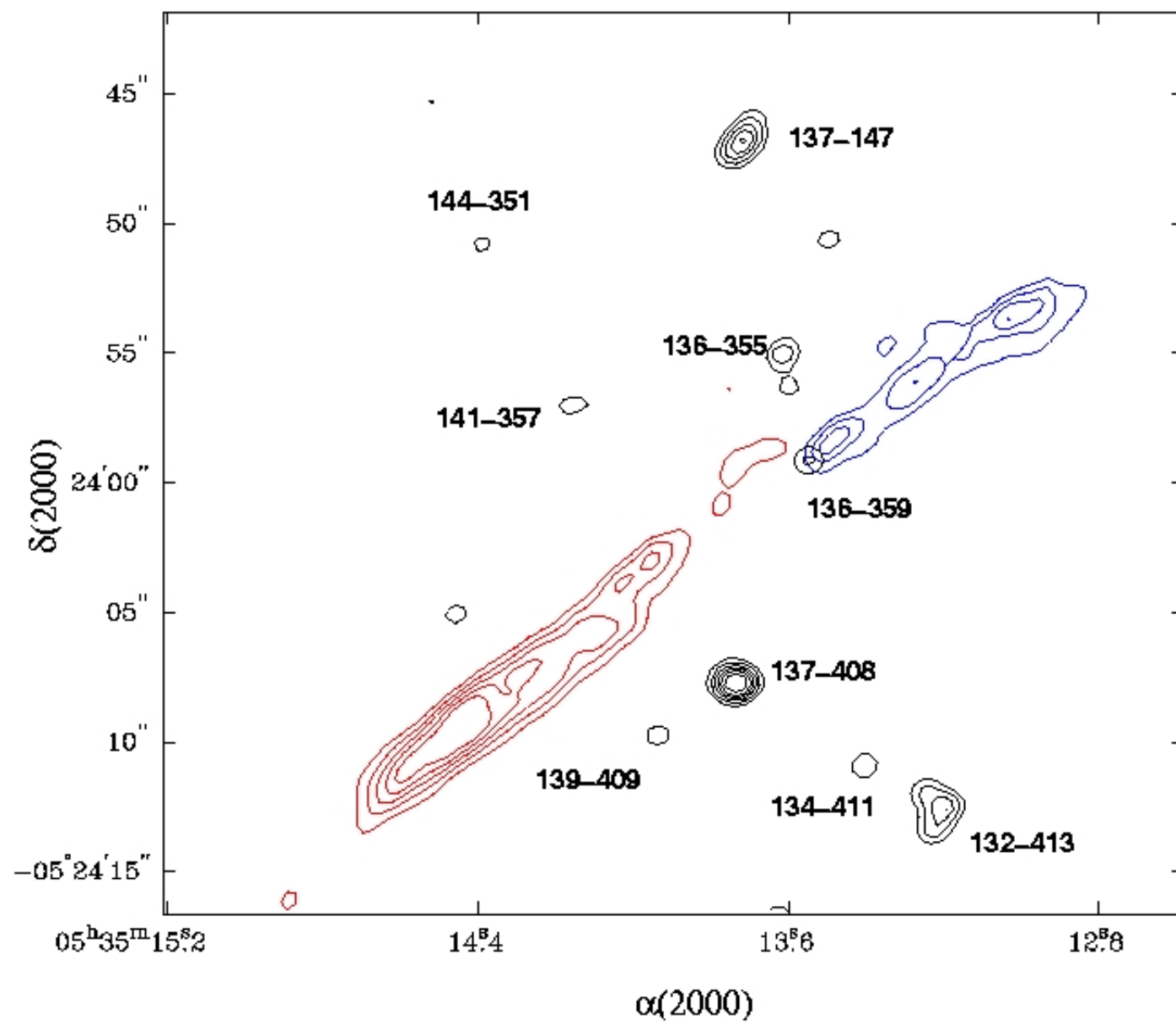
¿SILICIO EN LUGAR DE CARBON?

- A veces se propone que el silicio (Si) podría ser la base de la vida.
- El Si es sólo 1/25 de abundante que el C (pero es aún relativamente abundante).
- Los enlaces del Si (especialmente el Si-Si) son más débiles que los del C, de modo que con el Si es más difícil hacer cadenas largas (polímeros).
- El enlace Si-O es el más fuerte, de modo que la mayor parte del Si queda atado al O (como ocurre en las rocas terrestres).
- Existen compuestos similares (SiO_2 comparado con CO_2) pero CO_2 es un gas y puede eliminarse fácilmente mientras que SiO_2 es un sólido.
- Las moléculas con C muestran mas “quiralidad” que las de Si. Estos es útil desde el punto de vista de la vida.

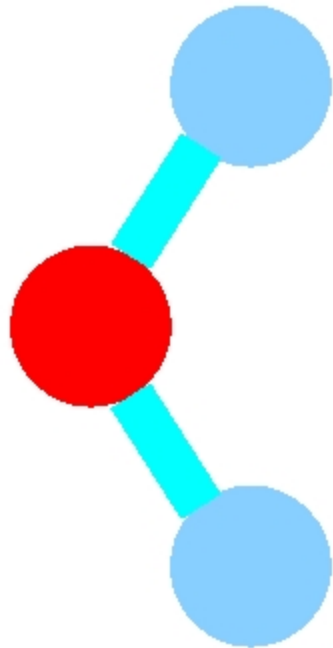
Algunas moléculas de interés astrofísico

Mol.	Trans.	Abund.	Dens. Crít. [cm ⁻³]	Comentarios
H ₂	1-0 S(1)	1	8x10 ⁷	Trazador de choques
CO	J=1-0	8x10 ⁻⁵	3x10 ³	Bajas densidades, flujos
OH	² Π _{3/2} ;J=3/2	3x10 ⁻⁷	1x10 ⁰	Campo magnético (Zeeman)
NH ₃	J,K=1,1	2x10 ⁻⁸	2x10 ⁴	Temperatura y densidad
CS	J=2-1	1x10 ⁻⁸	4x10 ⁵	Altas densidades
H ₂ O	6 ₁₆ -5 ₂₃		1x10 ³	Maser
H ₂ O	1 ₁₀ -1 ₁₁	<7x10 ⁻⁸	2x10 ⁷	Gas “tibio”
CH ₃ OH	7-6	1x10 ⁻⁷	1x10 ⁵	Gas denso/temperatura
CH ₃ CN	19-18	2x10 ⁻⁸	2x10 ⁷	Temperatura Núcleos Calientes

Un flujo molecular:



MOLECULA
DE AGUA

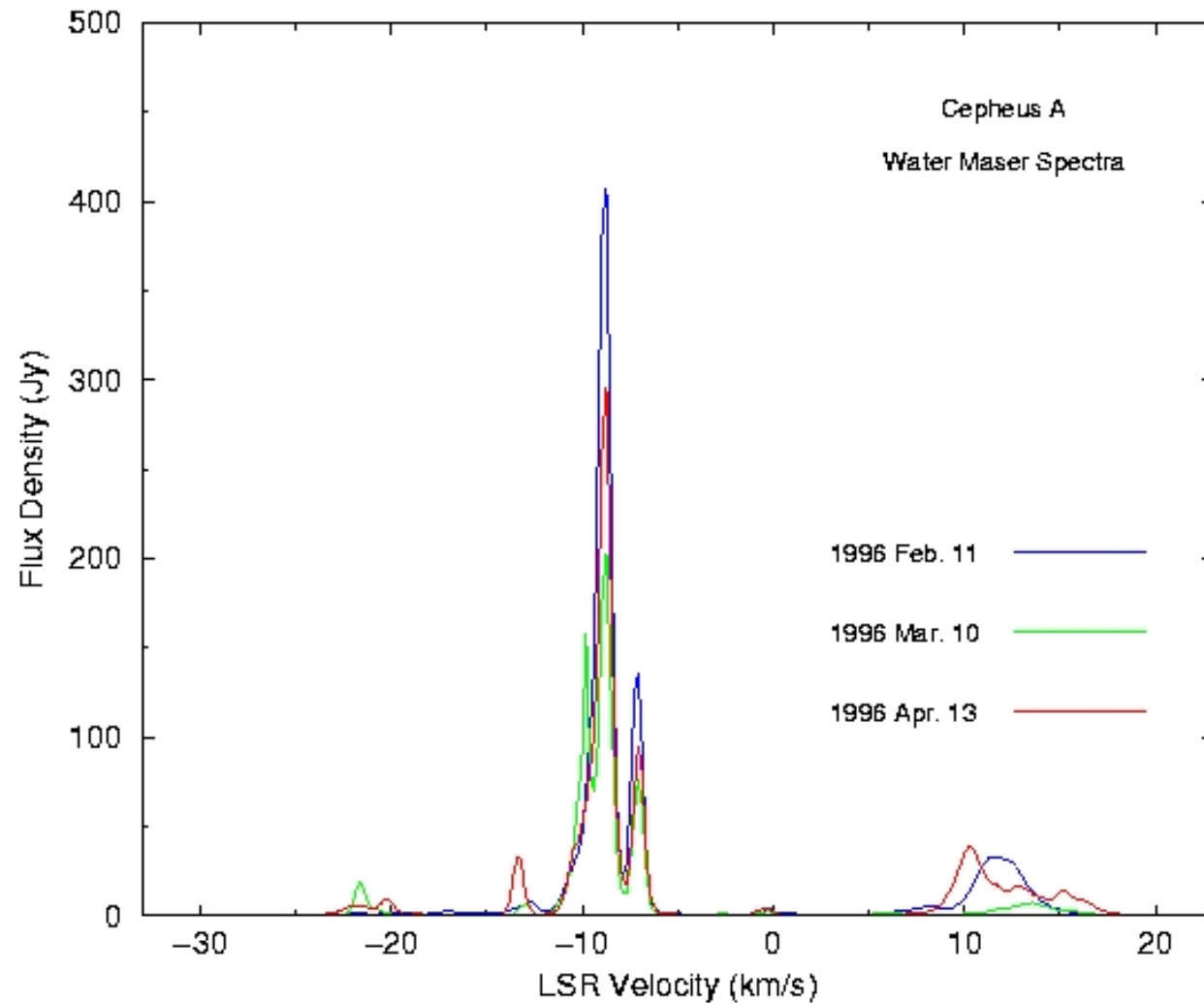


ONDA DE
RADIO

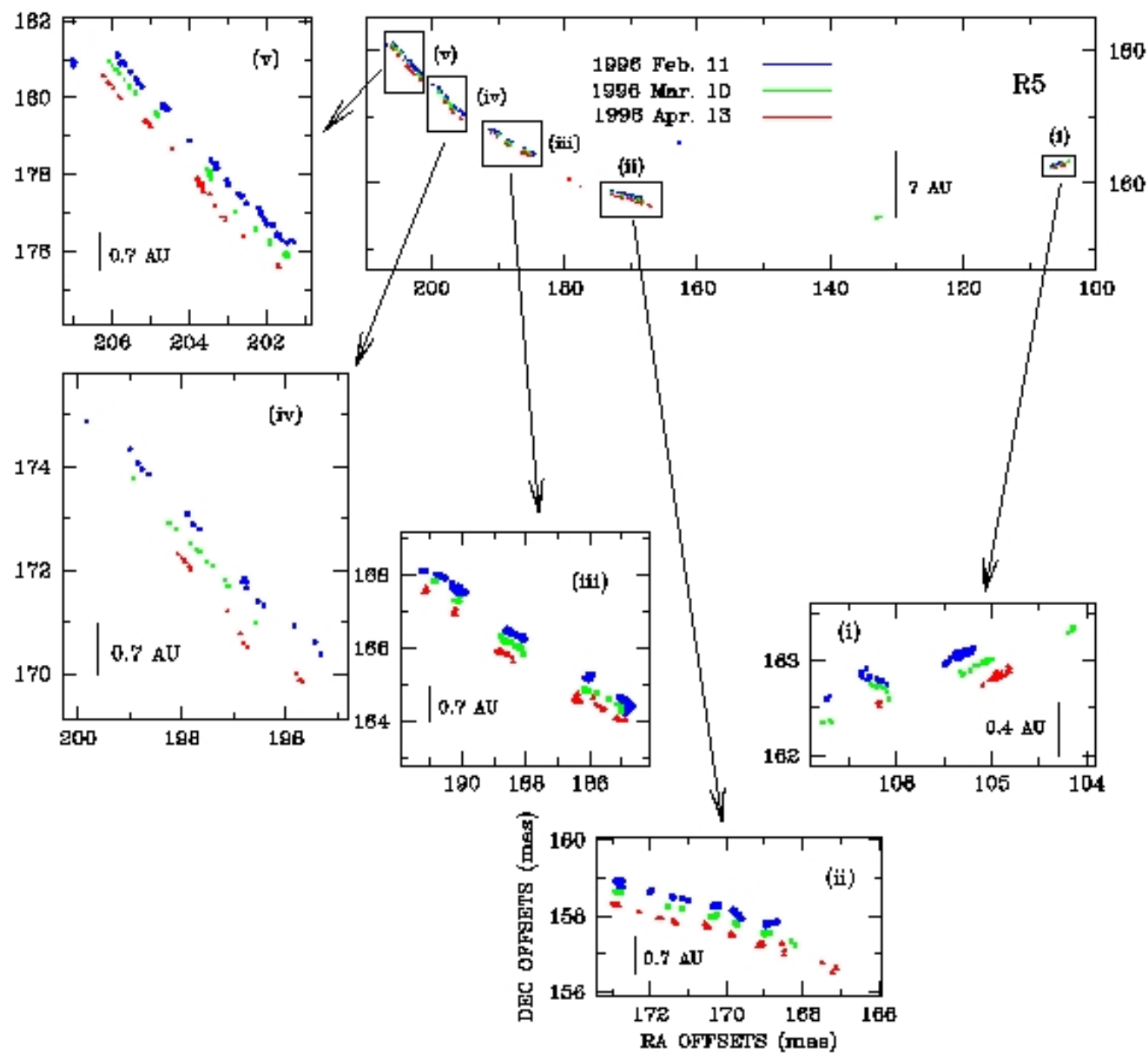


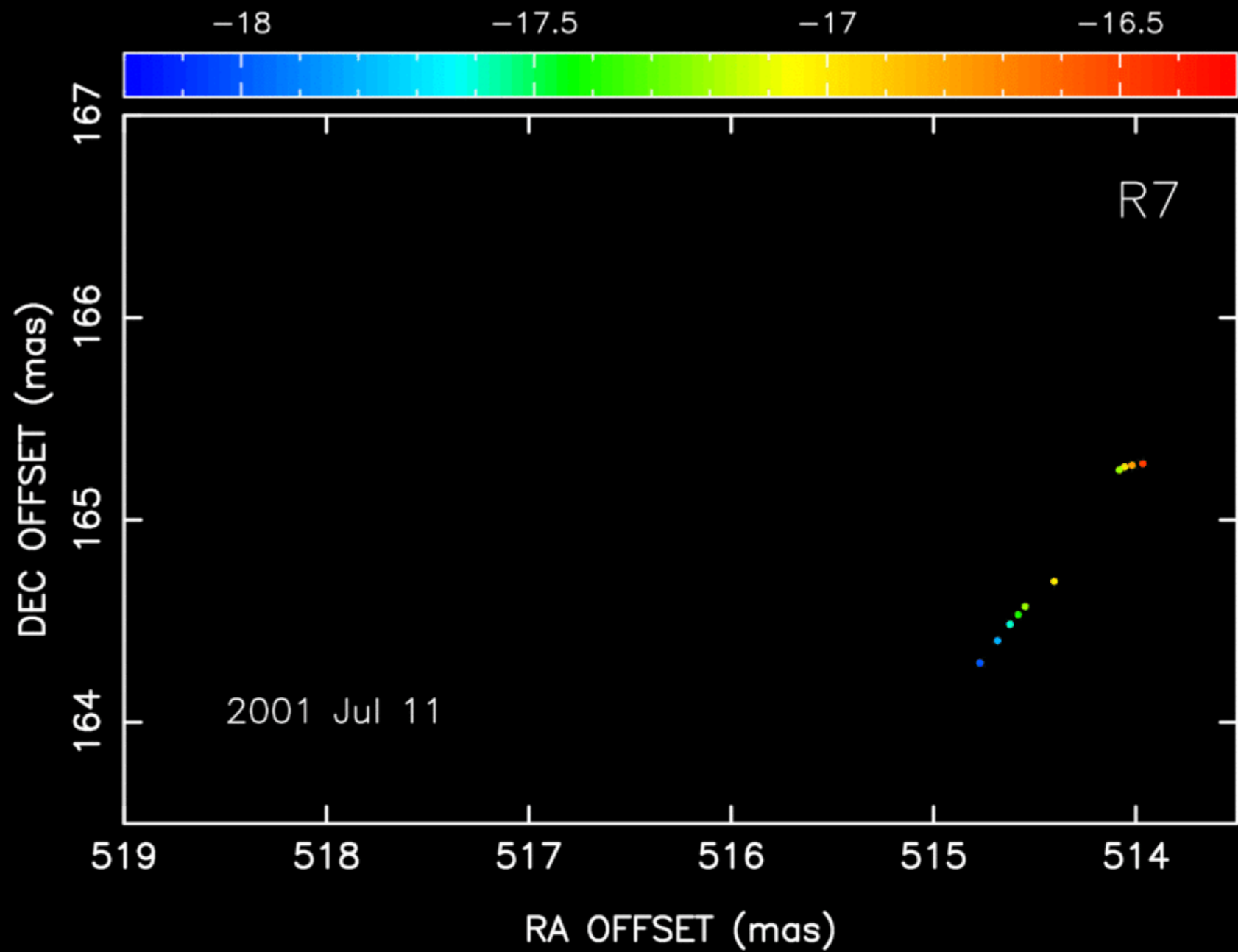
22235.080 MHz

RADIO UNAM FM = 96.1 MHz



El vapor de agua emite en proceso máser.
La prensa siempre le encuentra relación con la vida a este tipo de observaciones.





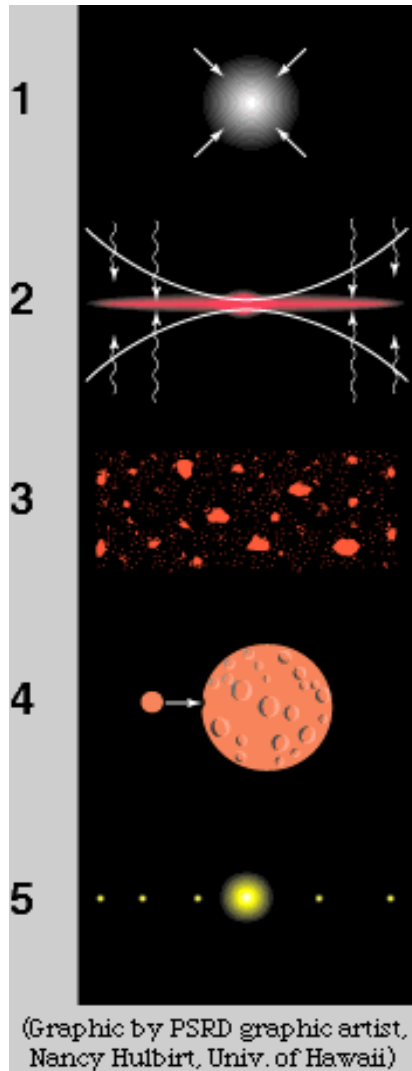
El interés de los astrofísicos...

- Nosotros usamos las moléculas como trazadores que nos permiten estudiar la morfología, la densidad, la temperatura, y la cinemática del gas que las contiene.
- Sin embargo, el tema de la química (como se forman) es de gran importancia también.
- Estos núcleos moleculares son los sitios donde se forman las nuevas estrellas y planetas.



Esta secuencia se halla muy apoyada por las observaciones

Formación de estrellas y planetas



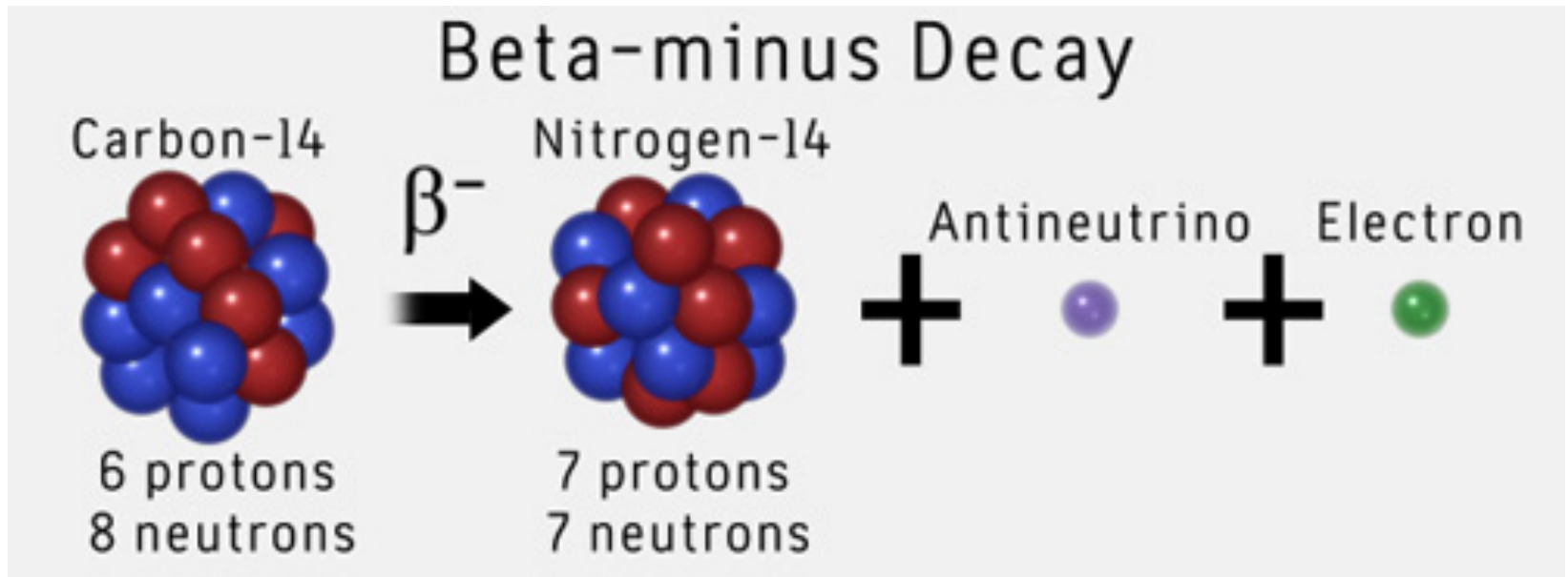
- **Contracción gravitacional de las nubes moleculares**
- **Formación de un disco (y chorros)**
- **Formación of planetesimales**
- **Aglomeración of planetesimales para formar planetas**
- **Formación de un sistema solar**

¿Cuánto hace que se formó nuestro Sistema Solar?

- Se usa el método de datación radiométrica.
- Algunos de los núcleos atómicos son inestables, decayendo en otros átomos con el paso del tiempo.

Núcleo “madre”	Núcleo “hija”	Vida Media
Uranio-238	Plomo-206	4,470 M años
Uranio-235	Plomo-207	707 M años
Carbono-14	Nitrógeno-14	5,730 años

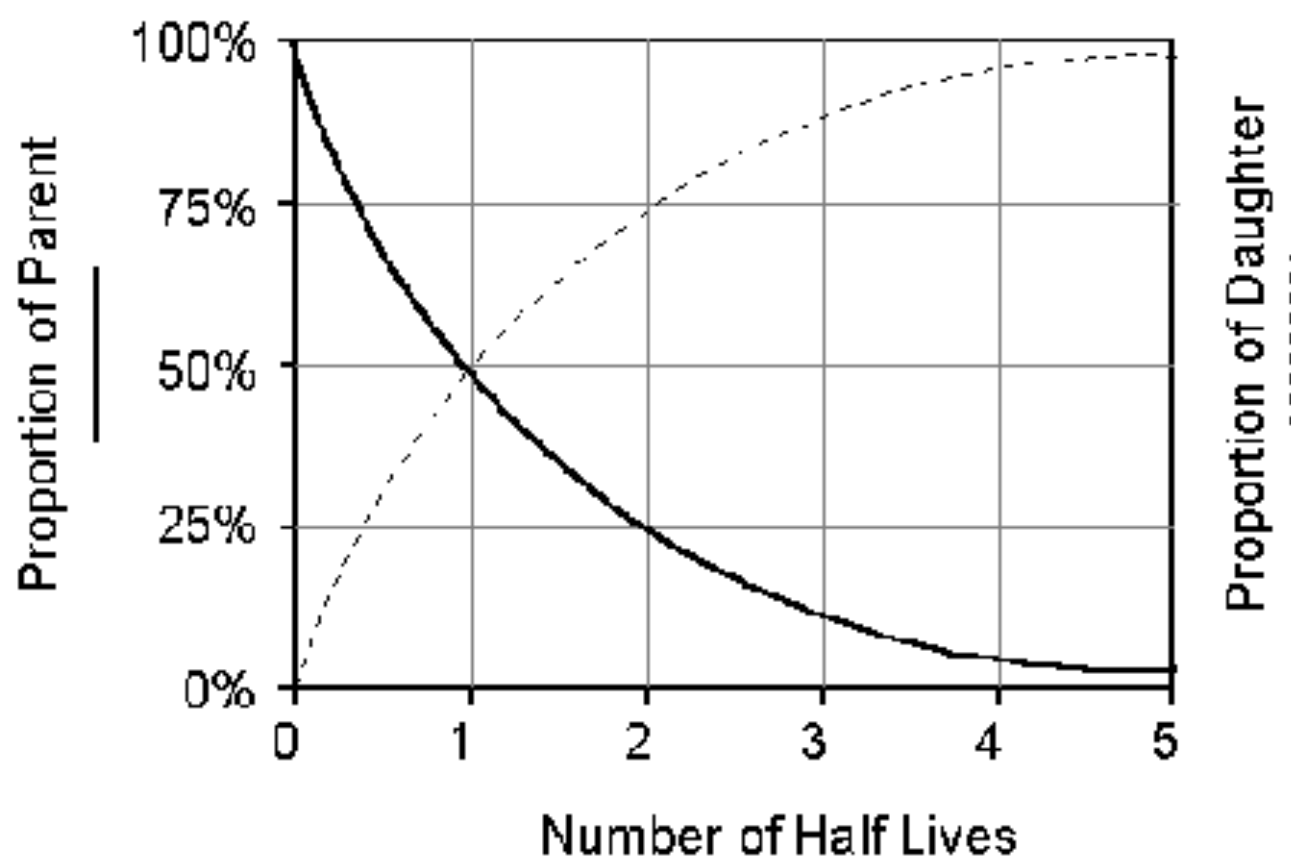
Un decaimiento “directo”



URANIUM 238 (U238) RADIOACTIVE DECAY

type of radiation	nuclide	half-life
	 uranium—238	4.5×10^9 years
α	 thorium—234	24.5 days
β	 protactinium—234	1.14 minutes
β	 uranium—234	2.33×10^5 years
α	 thorium—230	8.3×10^4 years
α	 radium—226	1590 years
α	 radon—222	3.825 days
α	 polonium—218	3.05 minutes
α	 lead—214	26.8 minutes
β	 bismuth—214	19.7 minutes
β	 polonium—214	1.5×10^{-4} seconds
α	 lead—210	22 years
β	 bismuth—210	5 days
β	 polonium—210	140 days
α	 lead—206	stable

Un decaimiento más complicado. De cualquier manera, la vida media está dominada por el paso de Uranio-238 a Torio-234, si bien el estado final estable es el Plomo-206.



$$N_{\text{madre}}(t) = N_{\text{madre}}(0) \exp(-\lambda t)$$

$$N_{\text{hija}}(t) = N_{\text{madre}}(0) [1 - \exp(-\lambda t)]$$

Haciendo las cosas mejor...

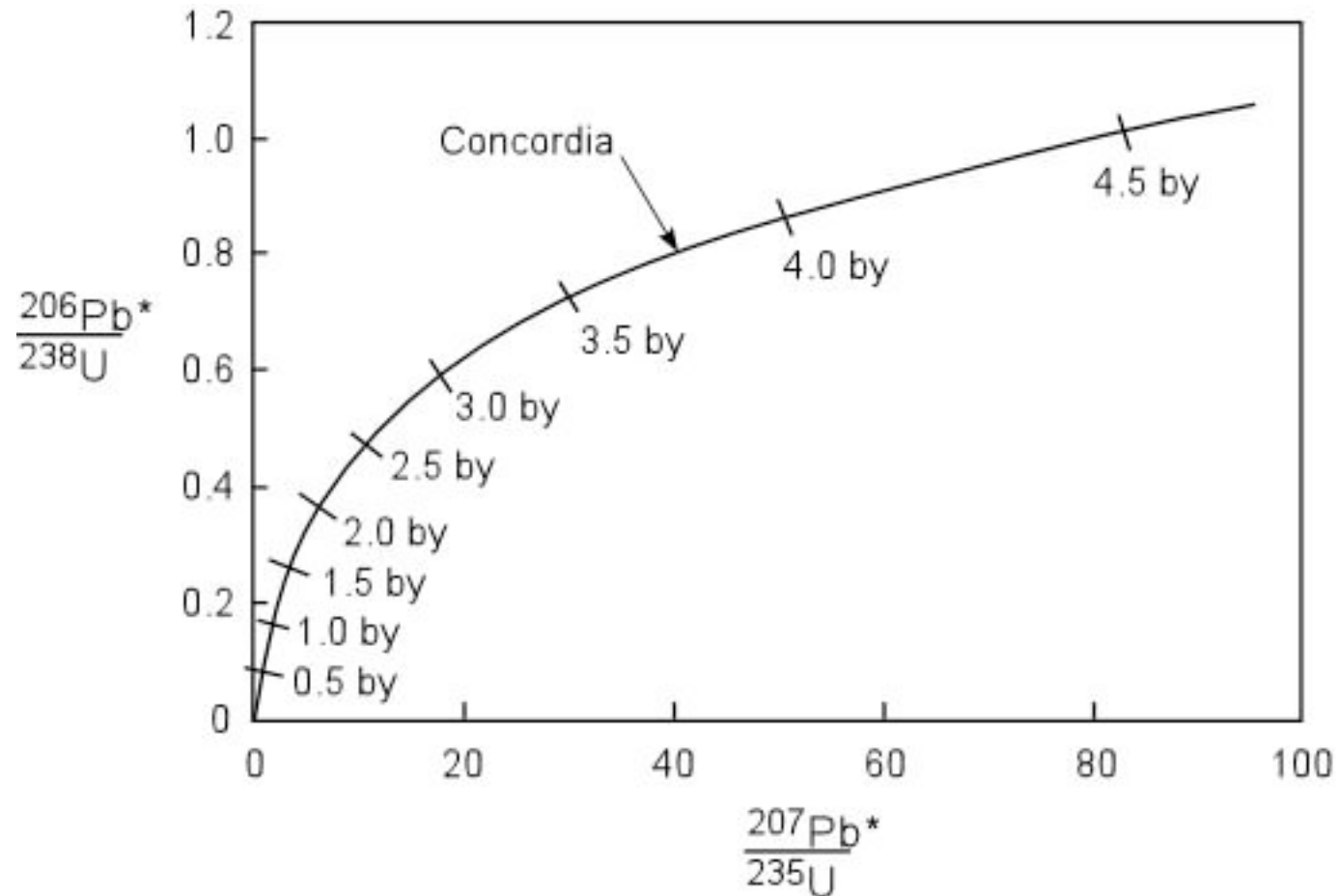
$$\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_t = \left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_0 + \left(\frac{{}^{238}\text{U}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_t \left(e^{\lambda_{238}t} - 1\right)$$

$$\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_t = \left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_0 + \left(\frac{{}^{235}\text{U}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_t \left(e^{\lambda_{235}t} - 1\right)$$

$$\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}^*}{{}^{238}\text{U}}\right) = \frac{\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_t - \left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_0}{\left(\frac{{}^{238}\text{U}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_t} = \left(e^{\lambda_{238}t} - 1\right)$$

$$\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}^*}{{}^{235}\text{U}}\right) = \frac{\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_t - \left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_0}{\left(\frac{{}^{235}\text{U}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_t} = \left(e^{\lambda_{235}t} - 1\right)$$

Curva de la Concordia



Edades

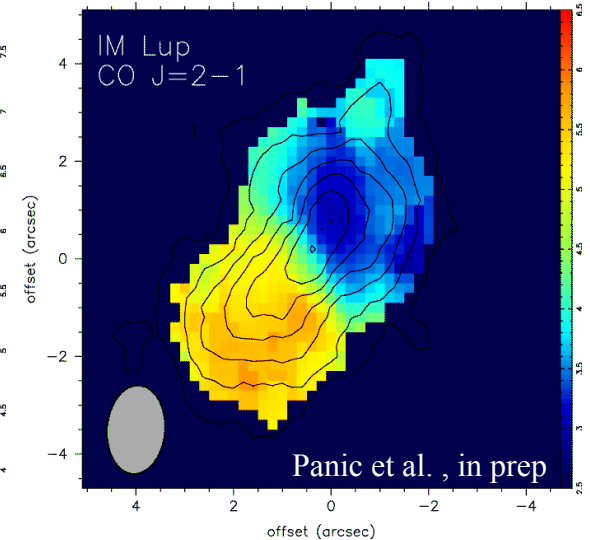
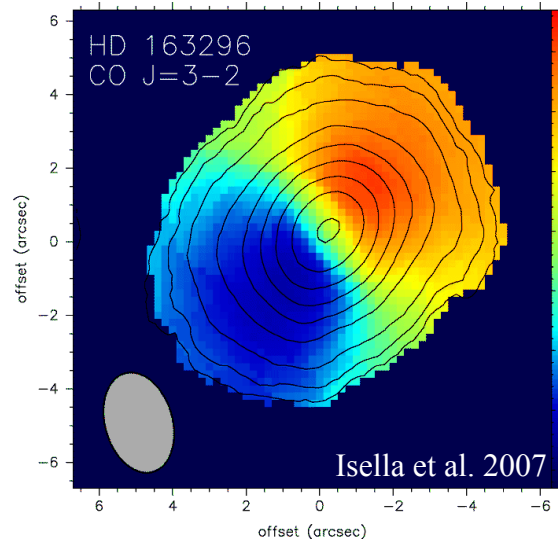
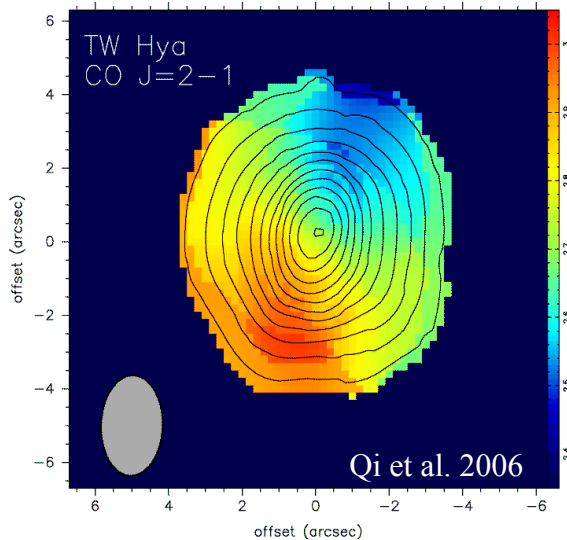
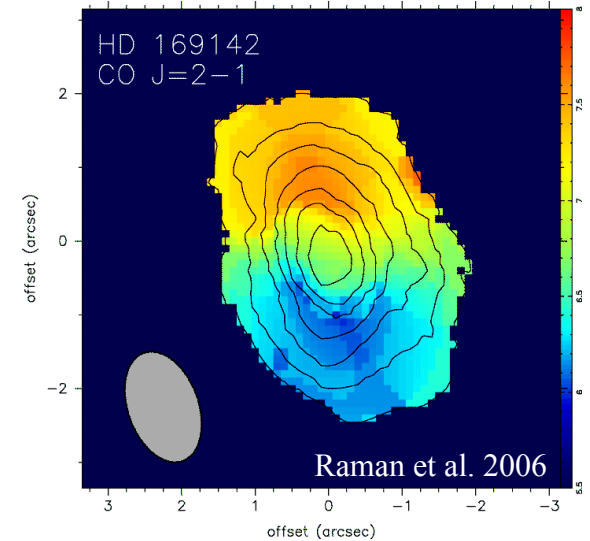
- Edad del Universo = $13,798 \pm 37$ M años
- Edad de la Tierra = $4,540 \pm 50$ M años

Sistemas Solares en Formación

cinemática del disco

- Kepleriana: $v(r/D) = (GM_*/r)^{0.5} \sin i$
- turbulencia

distintas líneas trazan $n(r,z)$, $T(r,z)$,
excitación, abundancia



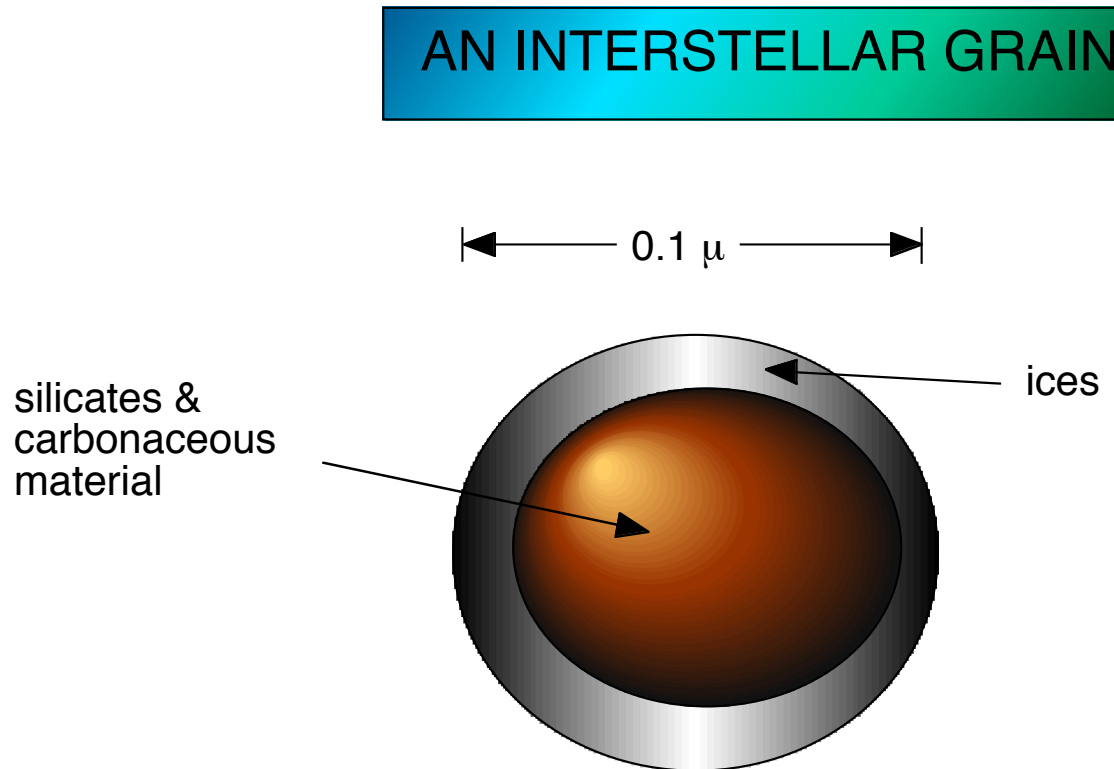
Química en Nubes Moleculares

- Química en Estado Gaseoso
- Química sobre la Superficie de los Granos de Polvo

Química en Estado Gaseoso

- Los rayos cósmicos logran penetrar a las nubes oscuras y producir una pequeñísima fracción de ionización.
- Los iones inducen un momento dipolar en los átomos o moléculas neutras y debido a la fuerza de van der Waals aumentan las colisiones.
- Se cree que esta química puede explicar la abundancia de la mayoría de las moléculas “sencillas”. Sin embargo, no es suficiente para explicar la transformación de H en H₂ y la presencia de moléculas complejas. Para esto es necesario considerar la química sobre la superficie de los granos de polvo, que actúa como un catalizador.

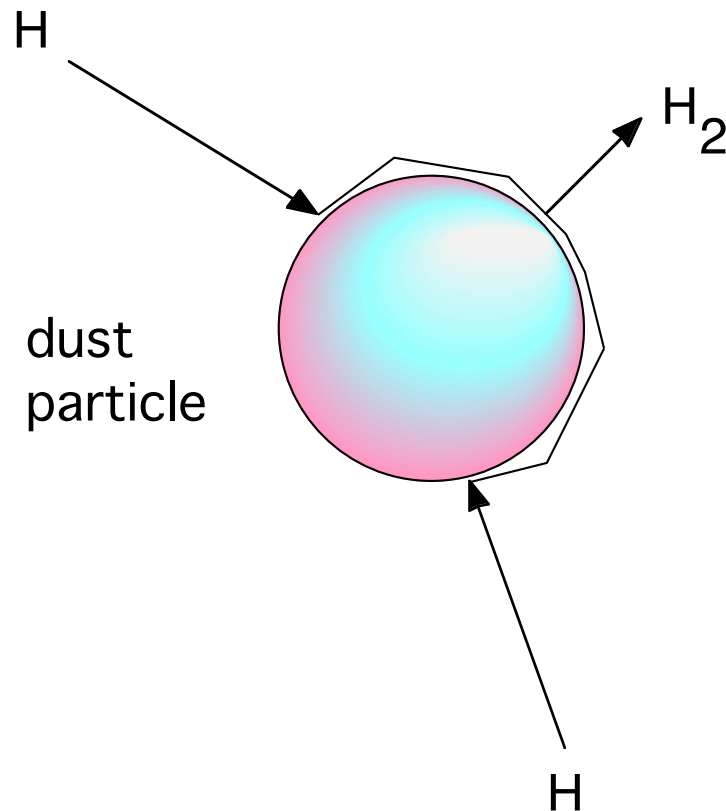
Esquema de un grano de polvo interestelar



Estos granos de polvo contienen 1% del material interestelar. Se forman principalmente en los vientos de las estrellas gigantes rojas.

Química sobre la superficie de los granos del polvo

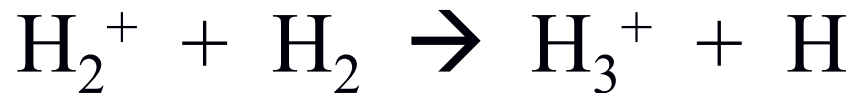
Formation of Hydrogen (Molecular)



FORMACION DE VAPOR DE AGUA



Abundancias: C,O,N = 10^{-4} ; C<O

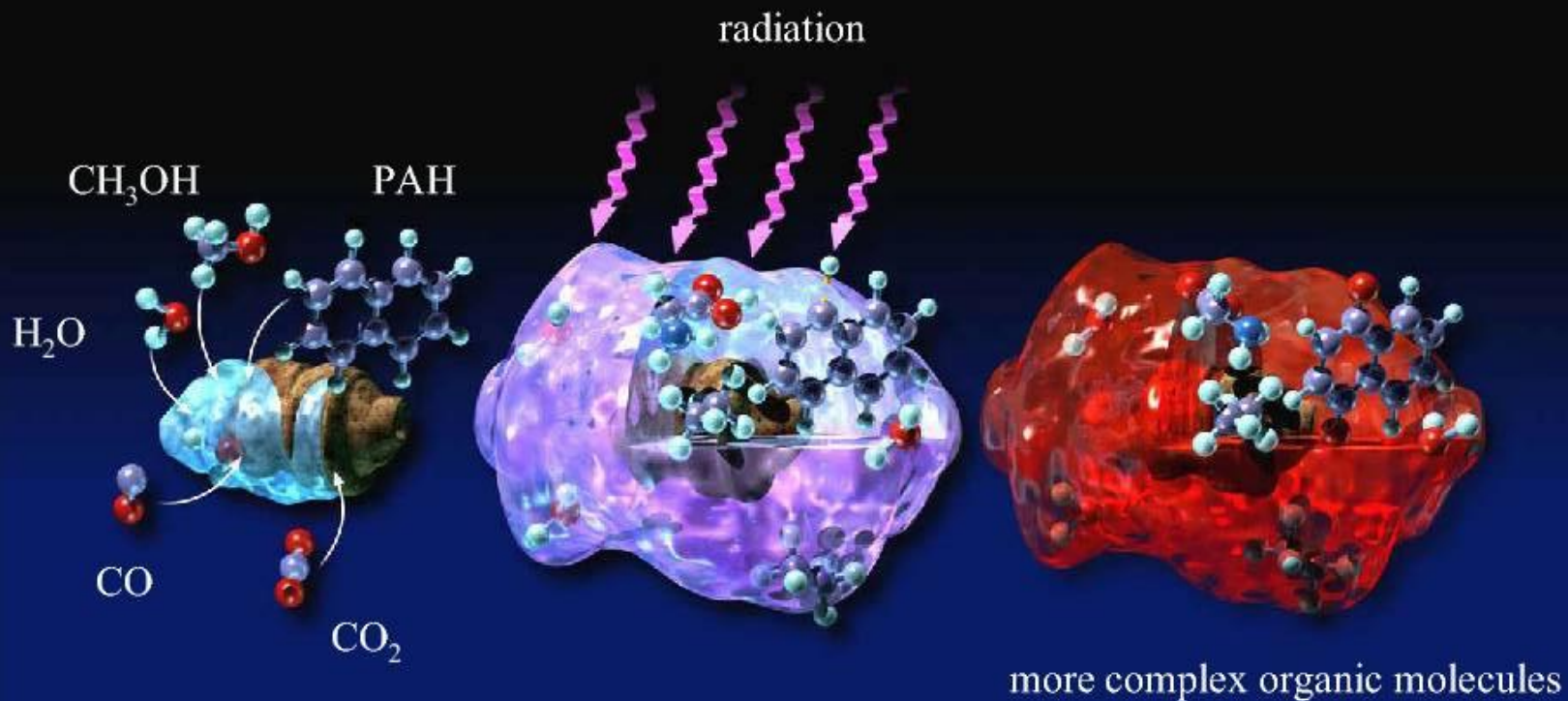


Dense interstellar clouds

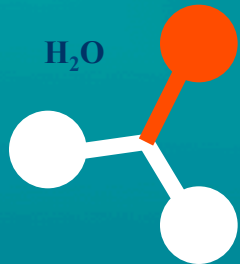
Dusty cold and dark: in these clouds the average temperature is 10 K (-263 C)

And nearly everything freezes out onto microscopic grains forming ice mantles

Where UV radiation and cosmic rays bombard the ice, breaking bonds

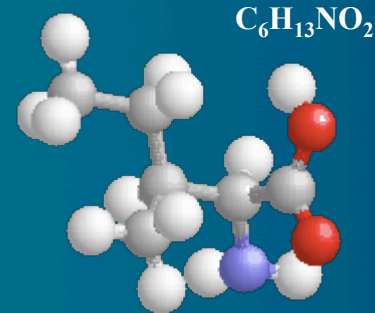


Detectabilidad de moléculas en el espacio



Pocos movimientos posibles.

⇒ Pocas líneas espectrales



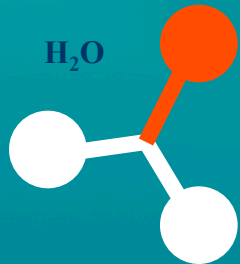
Muchos movimientos posibles.

⇒ muchas líneas espectrales

Más líneas ⇒ menos energía en cada una ⇒ más difícil detectar la molécula

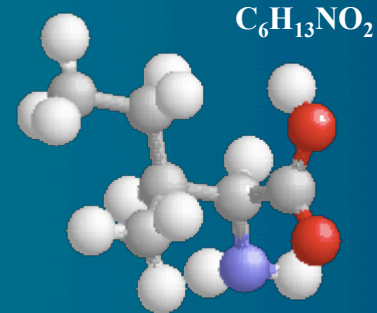
Con la misma abundancia, es más difícil detectar una molécula más grande

Detectabilidad de moléculas en el espacio



Pocos movimientos posibles.

⇒ pocas líneas espectrales

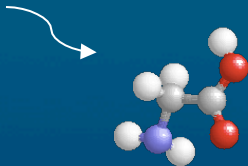


Muchos movimientos posibles.

⇒ muchas líneas espectrales

Proceso de emisión de líneas espectrales

Excitación
(energía)

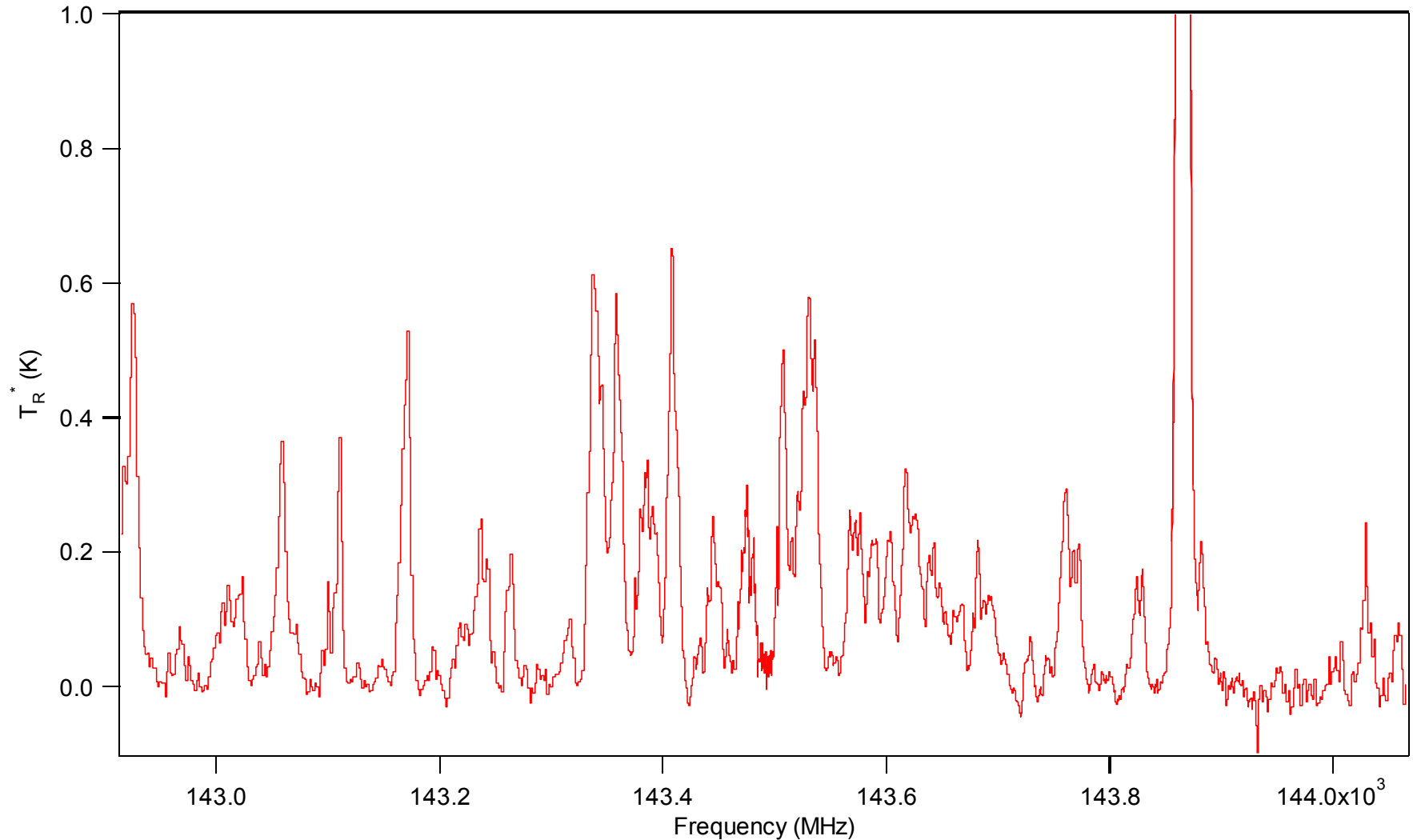


Excitación de ciertos
movimientos dentro
de la molécula.



Emisión de las líneas
espectrales

¡En la región milimétrica hay demasiadas líneas!



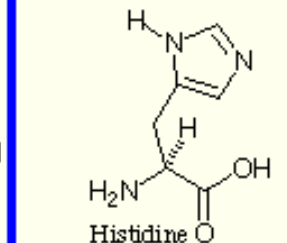
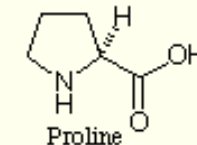
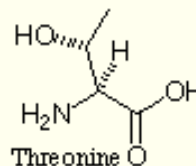
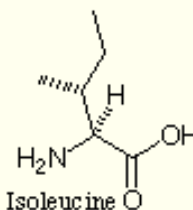
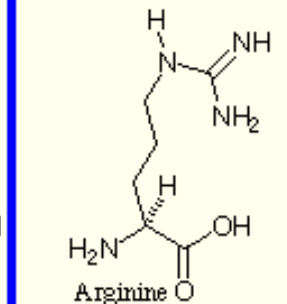
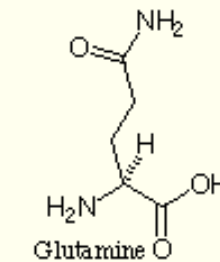
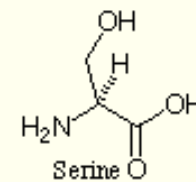
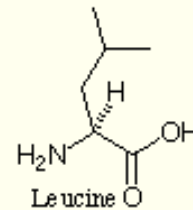
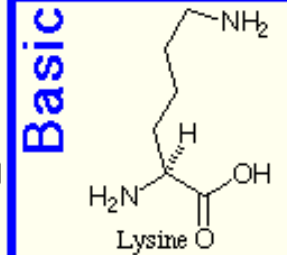
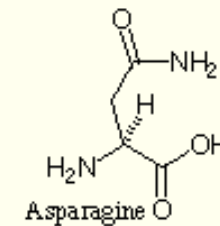
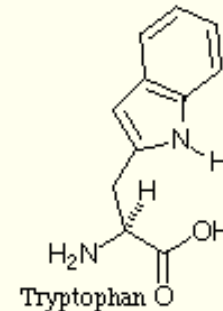
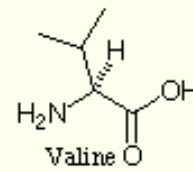
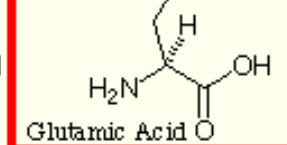
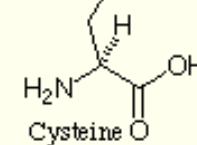
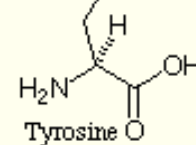
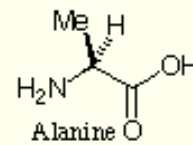
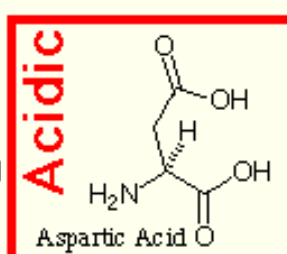
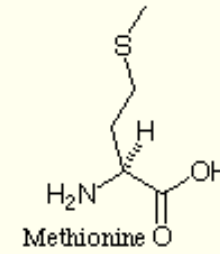
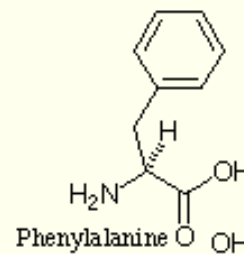
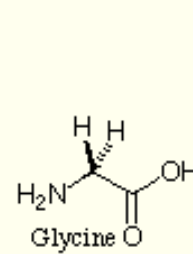
Aminoácidos

Glycine	Gly	G
Alanine	Ala	A
Valine	Val	V
Leucine	Leu	L
Isoleucine	Ile	I
Phenylalanine	Phe	F
Tyrosine	Tyr	Y
Tryptophan	Trp	W
Serine	Ser	S
Threonine	Thr	T
Methionine	Met	M
Cysteine	Cys	C
Asparagine	Asn	N
Glutamine	Gln	Q
Proline	Pro	P
Aspartic acid	Asp	D
Glutamic acid	Glu	E
Lysine	Lys	K
Arginine	Arg	R
Histidine	His	H

El caso de la glicina:

2003: Reporte de detección por un grupo.

2005: Refutación por otro grupo

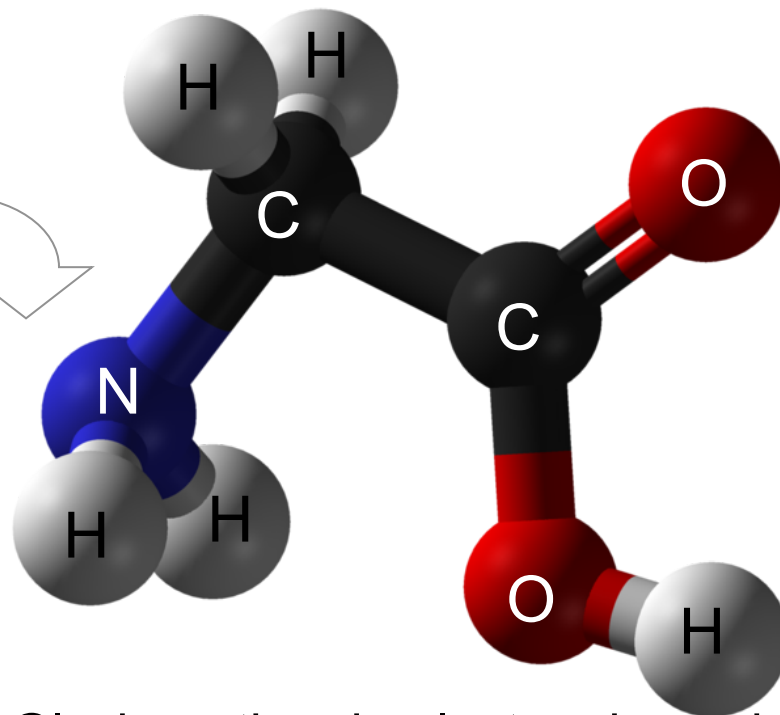
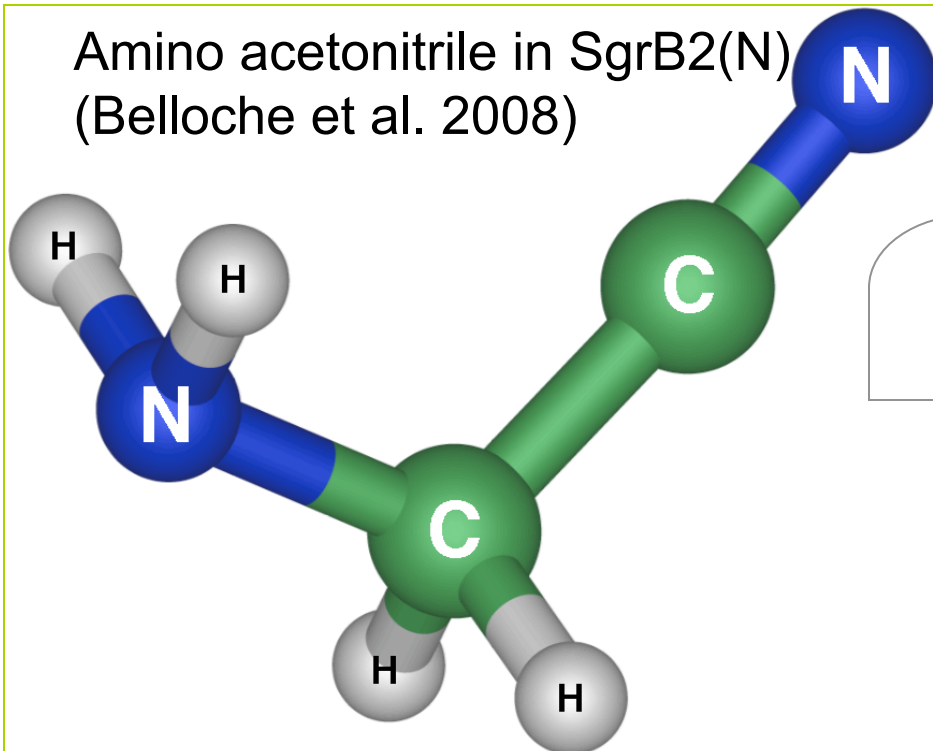


Acidic

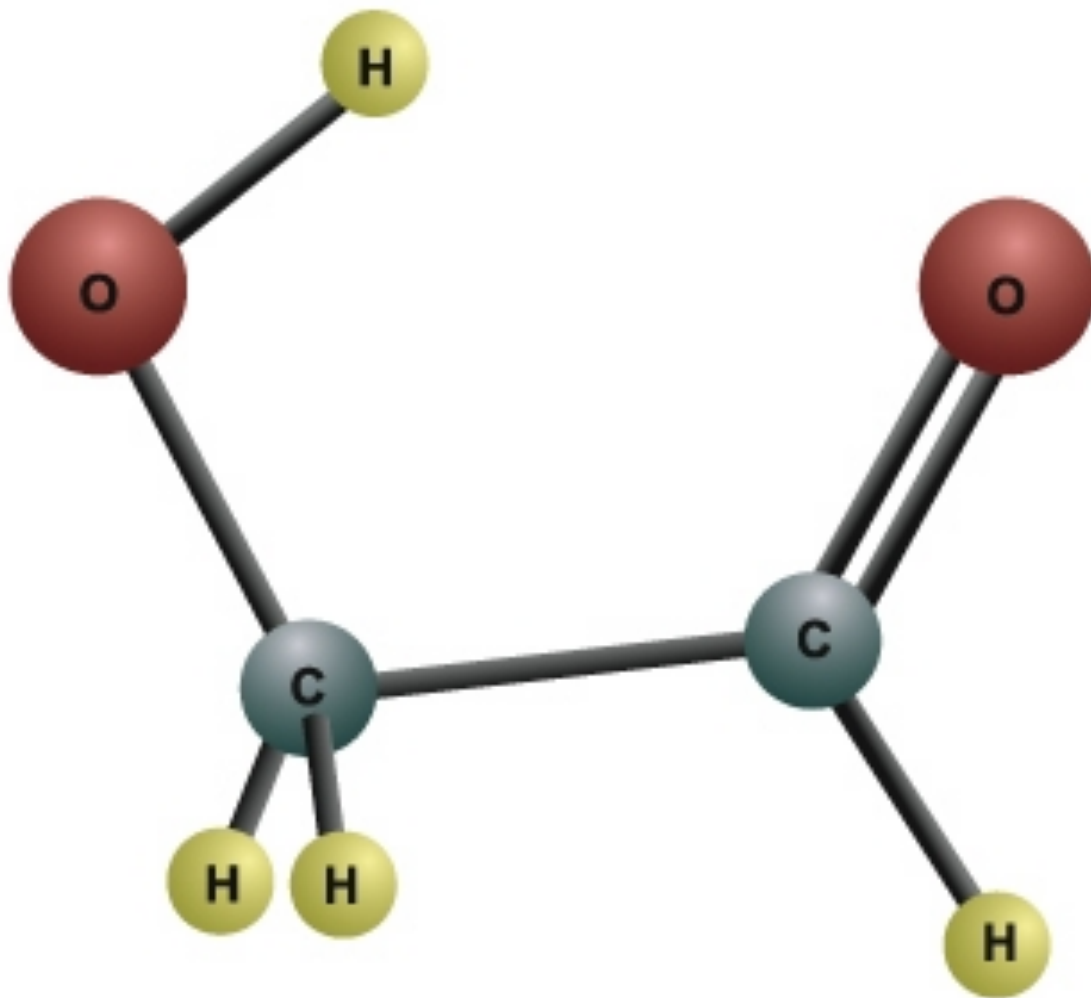
Basic

¿Cerca de la glicina?

Amino acetonitrile in SgrB2(N)
(Belloche et al. 2008)



Glycine - the simplest amino acid



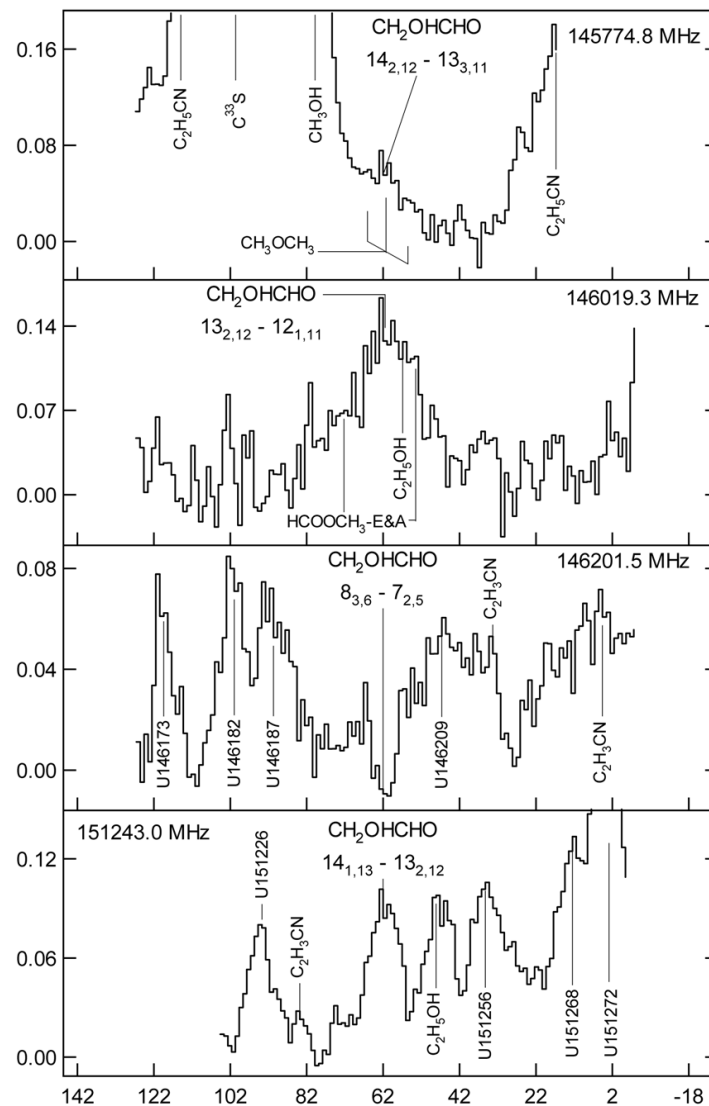
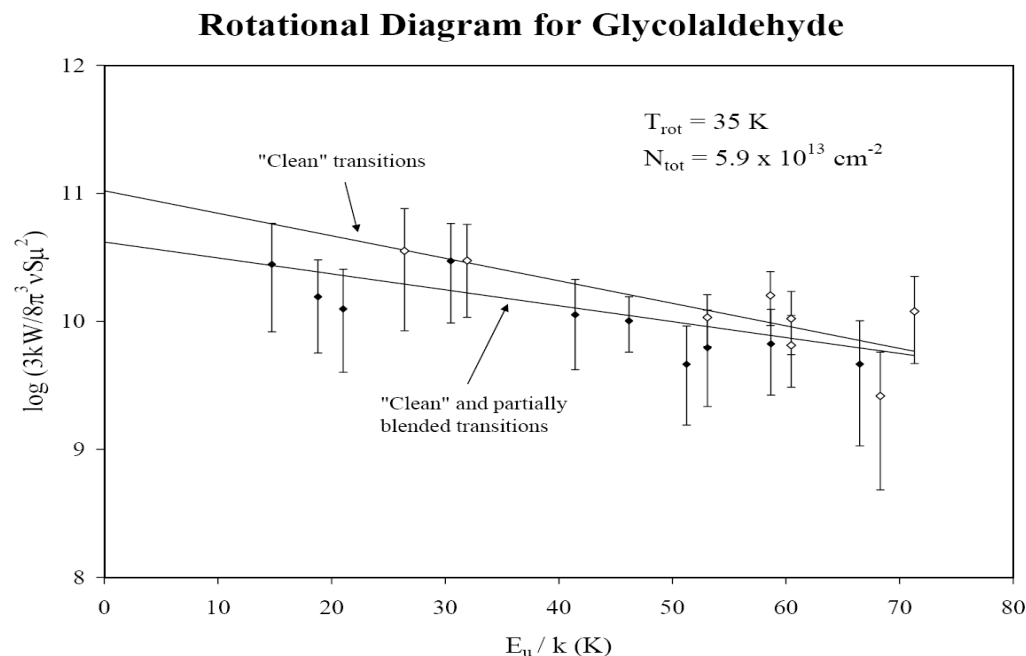
GLYCOLALDEHYDE

Glicolaldehído



¿Cómo estar seguro
de la detección?

Confirmando una Detección: Glicolaldehido (CH_2OHCHO)

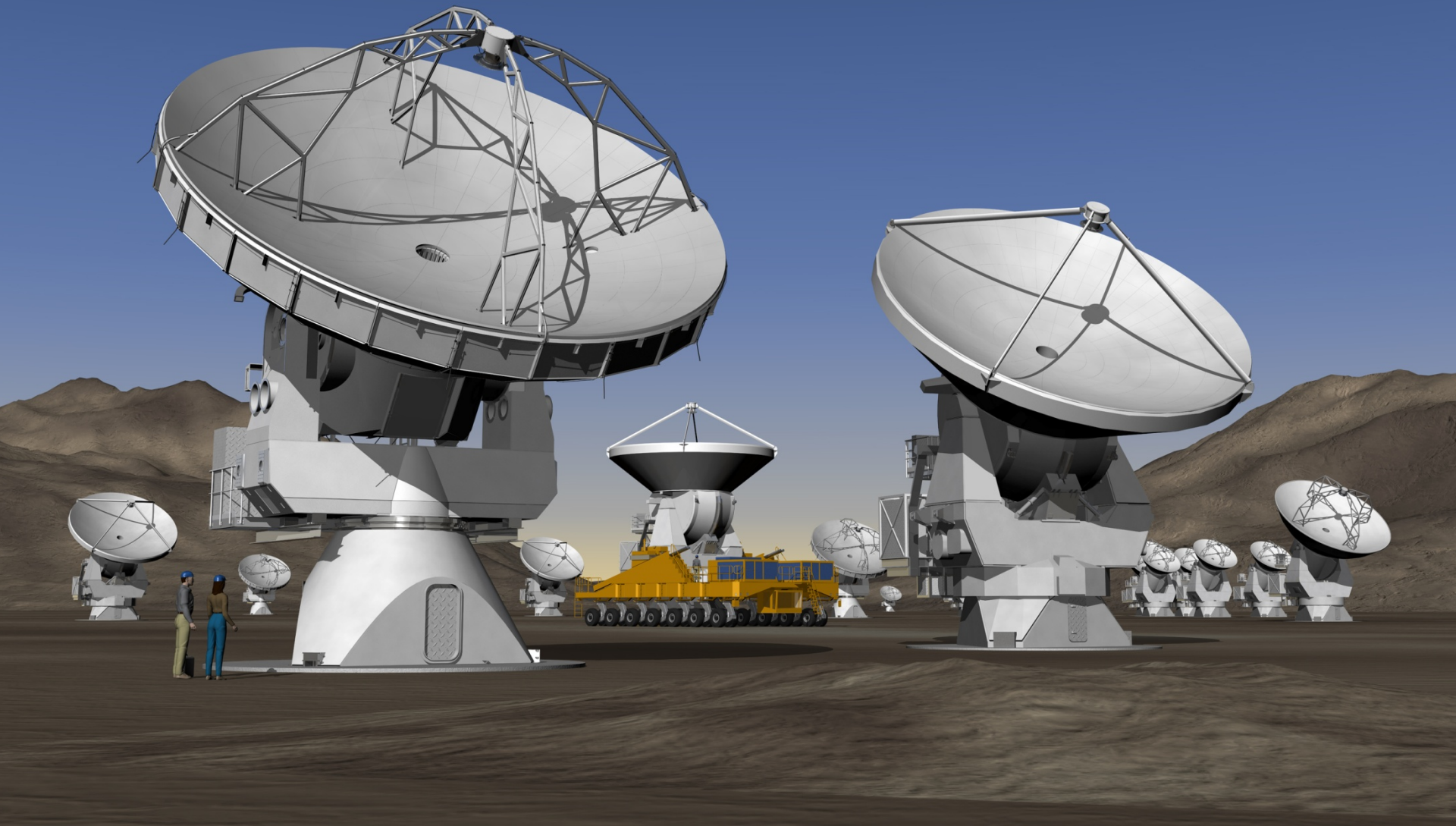


Se buscaron 41 líneas, 7 claramente detectadas

Gran Telescopio Milimétrico o Large Millimeter Telescope: un proyecto del INAOE y la U. de Massachusetts



Atacama Large Millimeter Array = ALMA



Conclusiones

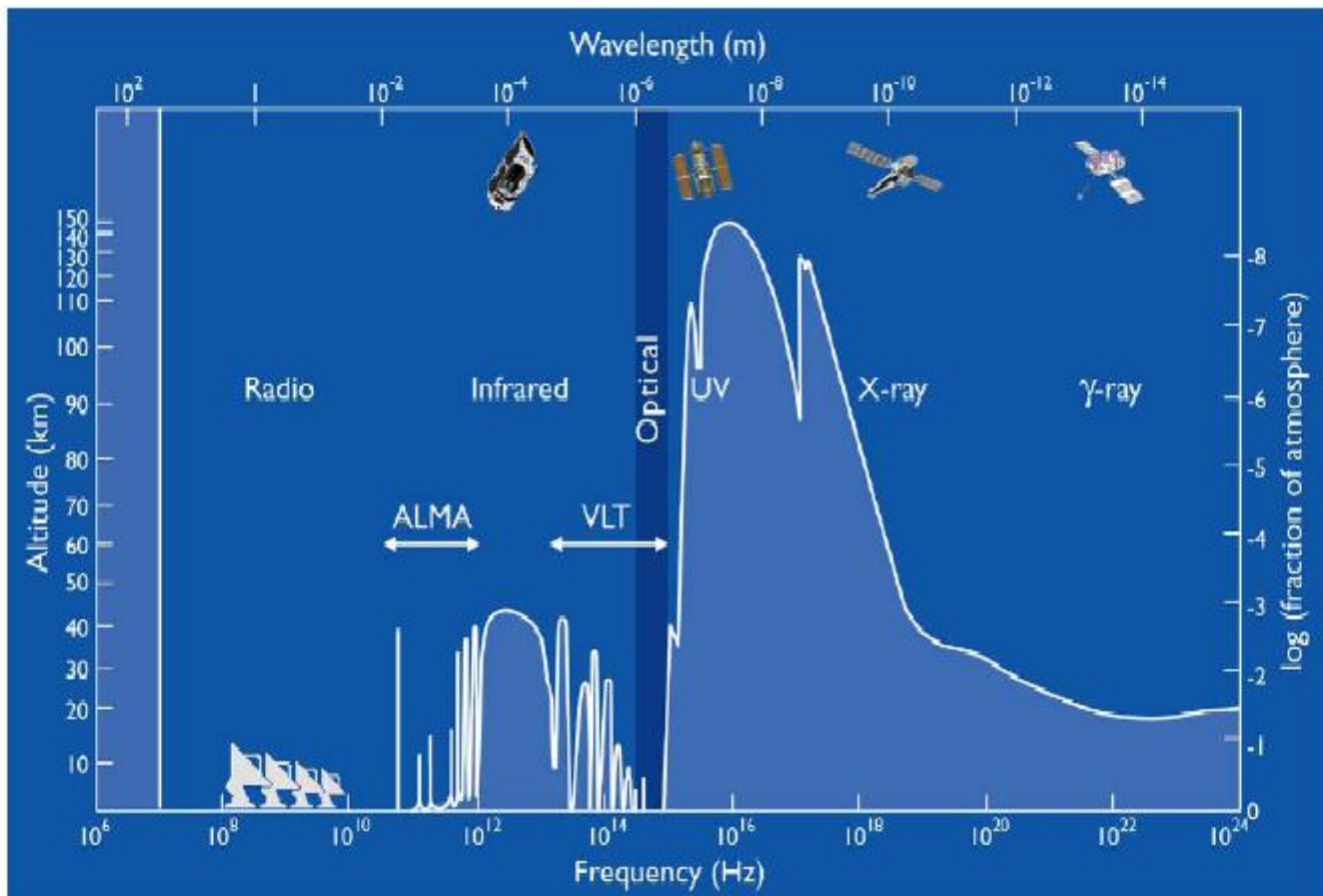
- El Universo es muy grande y muy viejo
- La composición química del Universo se determinó en parte en la Gran Explosión y en parte en el interior de las estrellas
- La formación de estrellas y planetas es un proceso natural que se continúa dando en el Universo

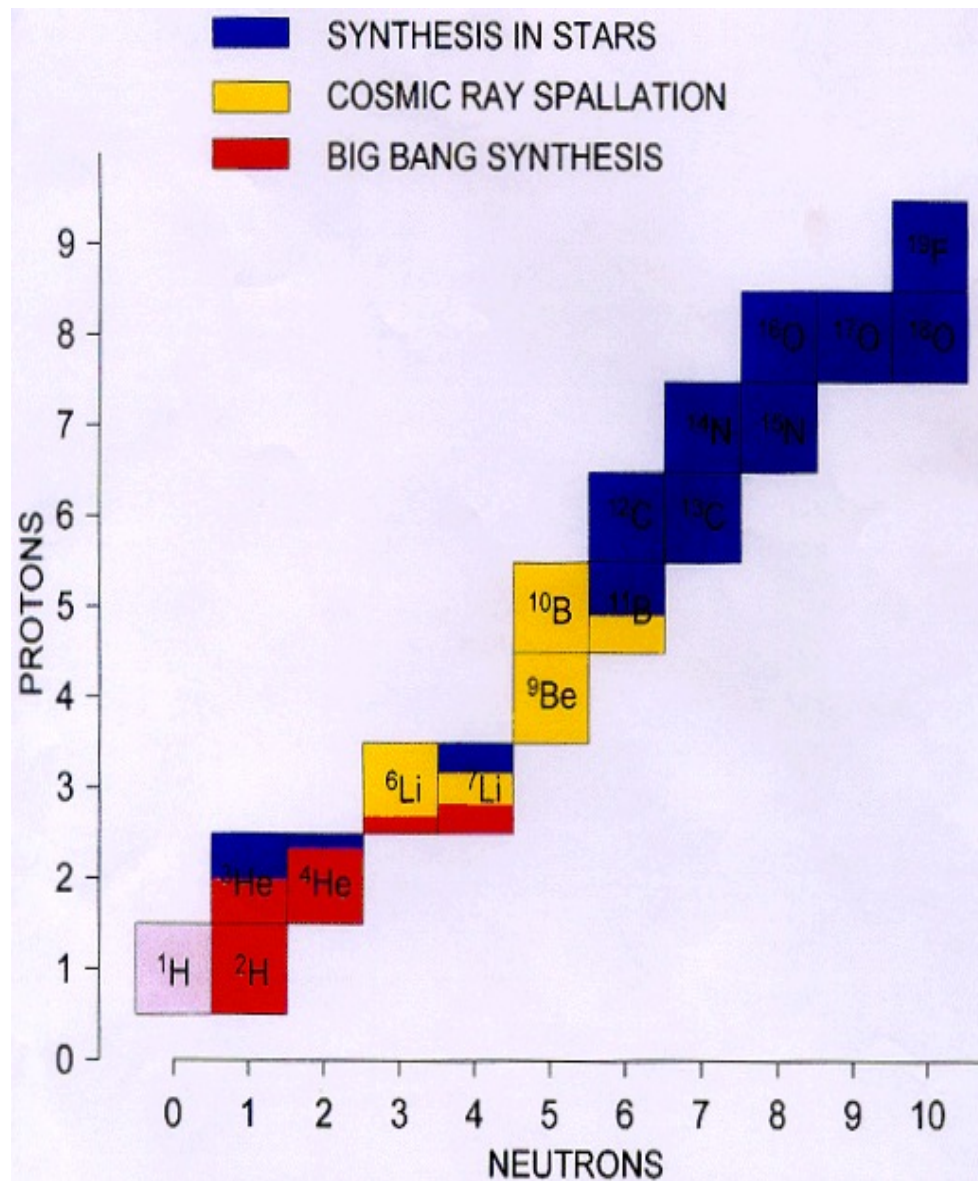
Moléculas y descubrimiento

- El espacio interestelar no es tan inhóspito.
- Las moléculas nos permiten investigar al Universo frío.
- Emisión máser presente en algunas moléculas.
- Las moléculas se vinculan con la vida más que los simples átomos.
- Seguramente queda mucho por descubrir utilizando las moléculas.

Muchas gracias por su atención

l.rodriguez@crya.unam.mx





Basic (gas-phase) molecular processes

Chemical Processes Type	Process	Rate Coefficient
Ion molecule	$A^++B \rightarrow C^++D$	$\sim 10^{-9} \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$
Dissociative Recombination	$AB^++e \rightarrow A+B$	$\sim 10^{-6} \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$
Neutral-neutral	$A+B \rightarrow C+D$	$\sim 10^{-12}\text{-}10^{-10} \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$
Photodissociation	$AB+h\nu \rightarrow A+B$	$\sim 10^{-9} \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$
Charge-transfer	$A^++B \rightarrow A+B^+$	$\sim 10^{-9} \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$
Radiative association	$A+B \rightarrow AB+h\nu$	$\sim 10^{-16}\text{-}10^{-9} \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$

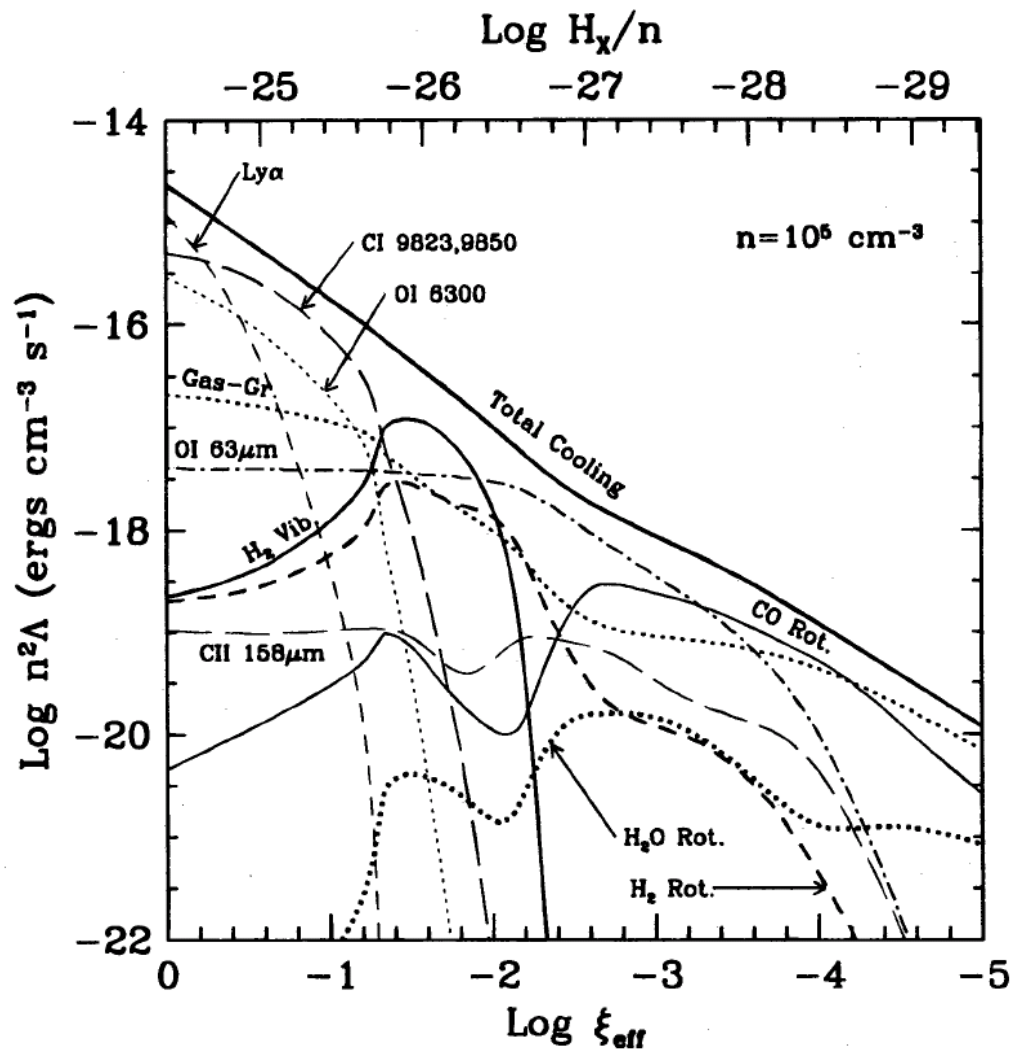
Solid phase processes

- Grain surface acts as catalyst for neutral-neutral reactions
- “Hydrogenation”:
 - $\text{H} \rightarrow \text{H}_2$
 - $\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$
 - $\text{C} \rightarrow \text{CH}_4, \text{CH}_3\text{OH}$
 - $\text{N} \rightarrow \text{NH}_3$
- “Oxygenation”: $\text{CO}_2, \text{O}_2, \text{O}_3$

Basic (gas-phase) molecular processes

Heating and Cooling Processes	Process
Photoelectric heating	$\text{grain (or PAH)} + h\nu \rightarrow \text{grain}^+ + e^*$
Cosmic ray heating	$\text{H}_2 + \text{cosmic ray (or X-rays)} \rightarrow \text{H}_2^+ + e^*$
CO line cooling	$\text{CO}(J) + \text{coll} \rightarrow \text{CO}(J^*) \rightarrow \text{CO}(J') + h\nu$
[OI] line cooling	$\text{O}(^3\text{P}_2) + \text{coll} \rightarrow \text{O}(^3\text{P}_1) \rightarrow \text{O}(^3\text{P}_2) + h\nu$
[CII] line cooling	$\text{C}^+(^2\text{P}_{1/2}) + \text{coll} \rightarrow \text{C}^+(^2\text{P}_{3/2}) \rightarrow \text{C}^+(^2\text{P}_{1/2}) + h\nu$
Gas-grain heating or cooling	$\text{gas} + \text{grain} \rightarrow \text{gas}' + \text{grain}'$

Basic (gas-phase) molecular processes: Cooling



Chemical models

- Start with a physical model, initial abundances:
($\text{H}_2 = 1$, $\text{CO} \sim 10^{-4}$, $\text{H}_2\text{O} \sim 10^{-7}-10^{-4}$, $\text{S} \sim 10^{-8}-10^{-6}$, $\text{N} \sim 10^{-5}-10^{-4}$, metals $\sim 10^{-8}$)
- Time-dependent vs. steady state (chemical equilibrium 10^5-10^7 yrs)
- Solving rate equations for several 100 species and several 1000 reactions
- Comparison to observations (radiative transfer modeling)

Constraining the physical and chemical structure

