

La Química del Cosmos

Víctor J. Herrero.

**Instituto de Estructura de la Materia, CSIC,
Madrid**

v.herrero@csic.es

[http://www.iem.cfmac.csic.es/departamentos
/fismol/Victor/Victor.htm](http://www.iem.cfmac.csic.es/departamentos/fismol/Victor/Victor.htm)

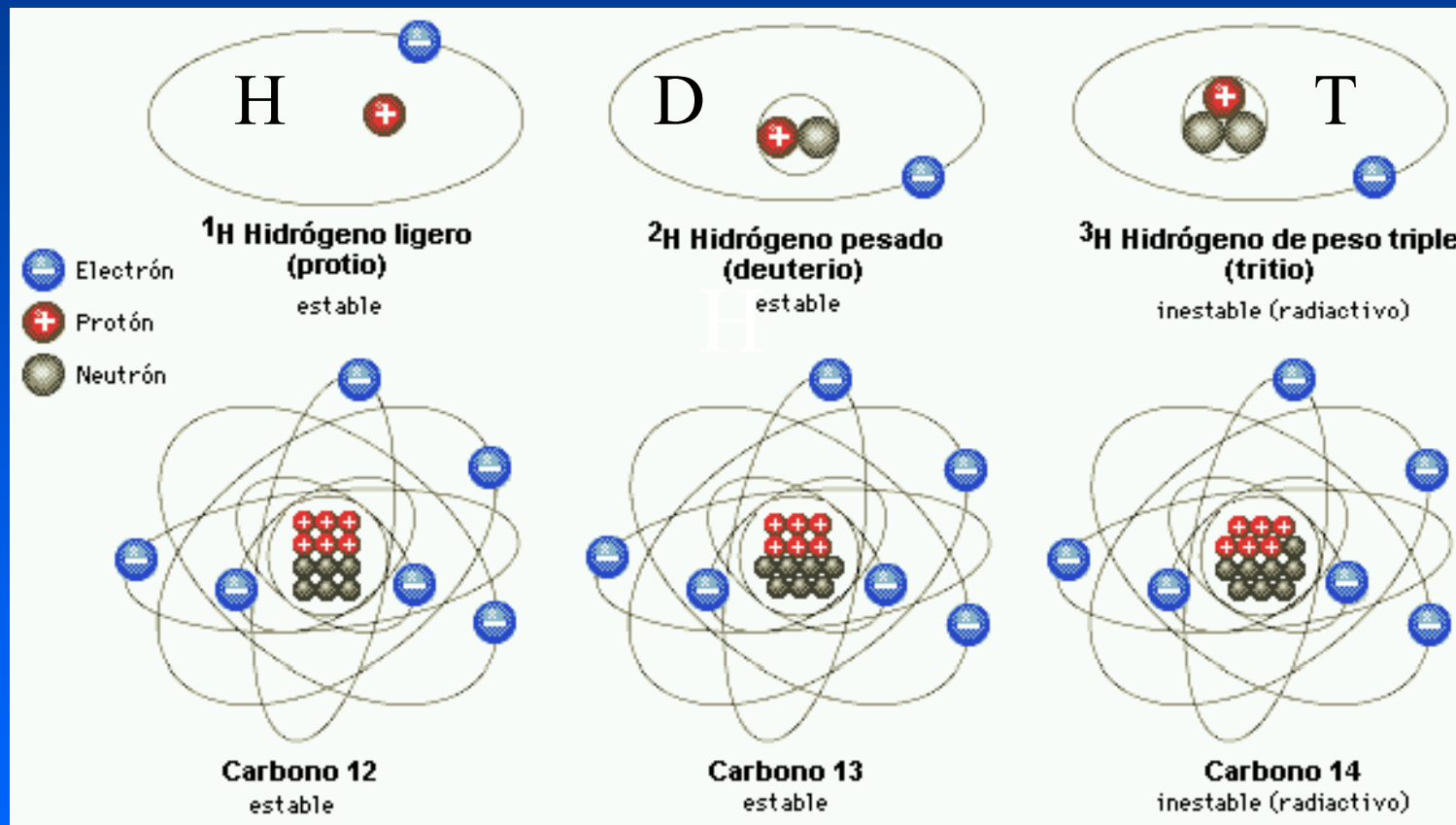
Elementos y compuestos

Periodic Table of the Elements

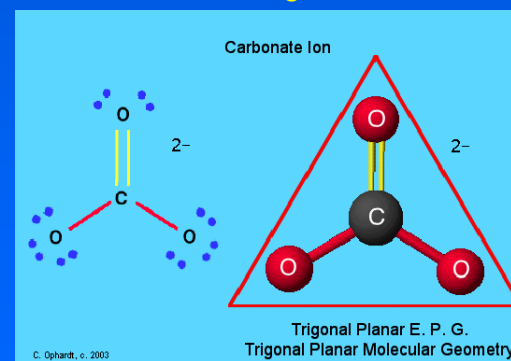
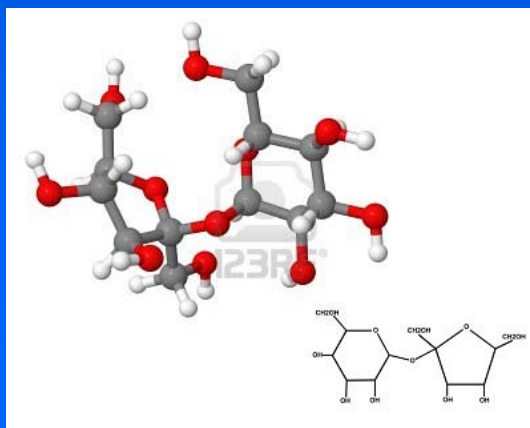
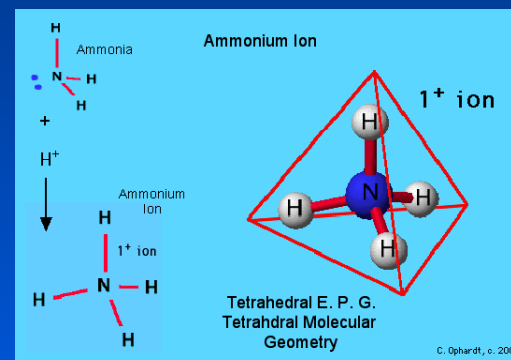
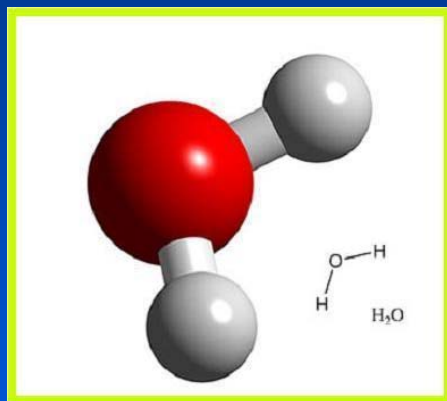
	IA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	</
--	----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----



Átomos e isótopos



Moléculas y iones



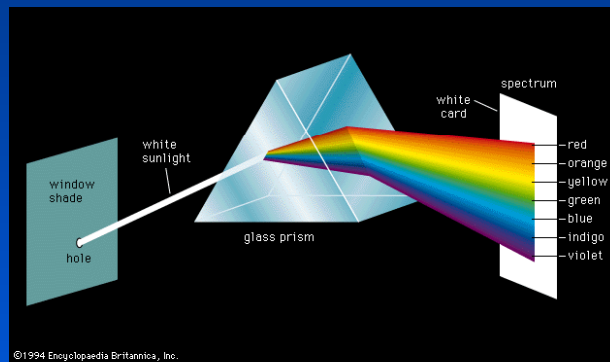


“Nunca podremos conocer, por ningún medio, la composición química de las estrellas”

A. Comte, *Cours de philosophie positive*, 1835

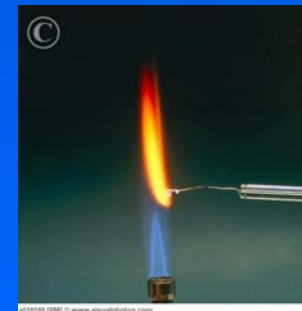
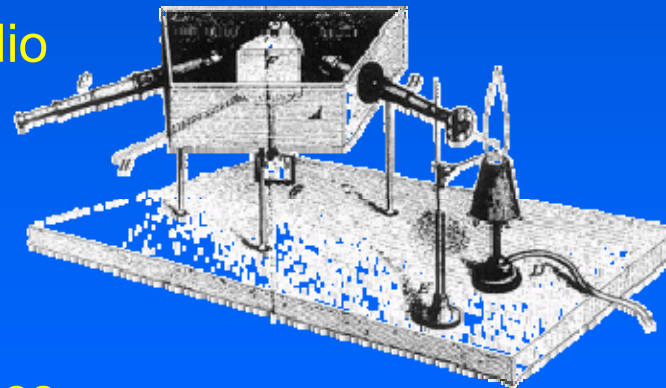
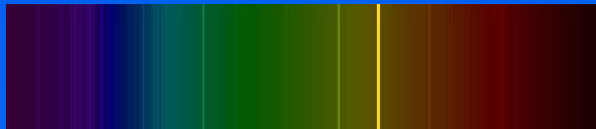
Análisis espectral

hacia 1850



G. Kirchhoff y
R. Bunsen

Espectro de emisión del sodio



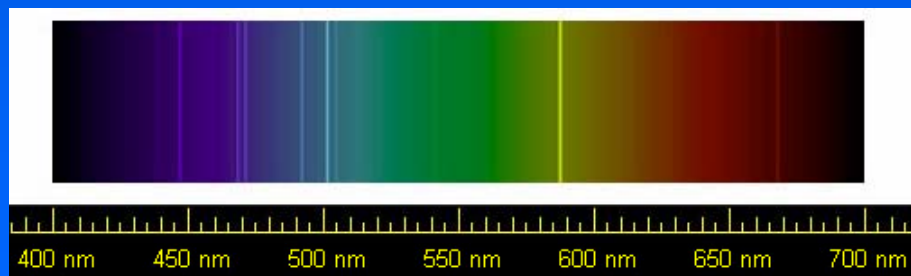
Patrón de líneas característico

Descubrimiento del helio

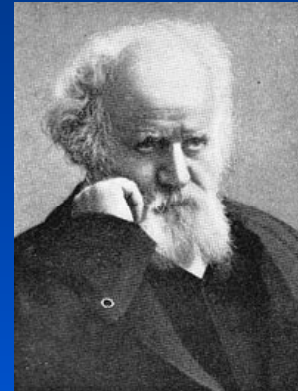
1868



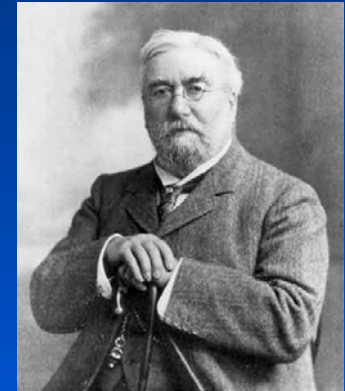
Espectro durante eclipse solar



Líneas características del He



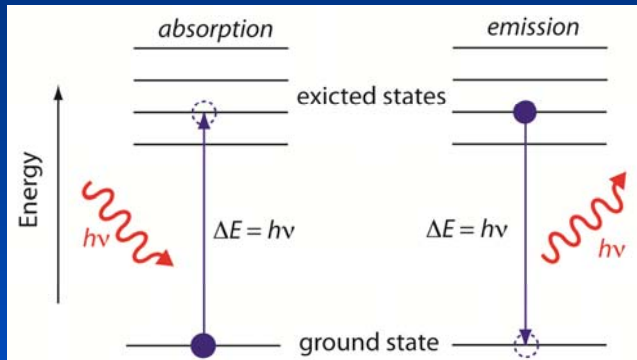
P. J. Janssen



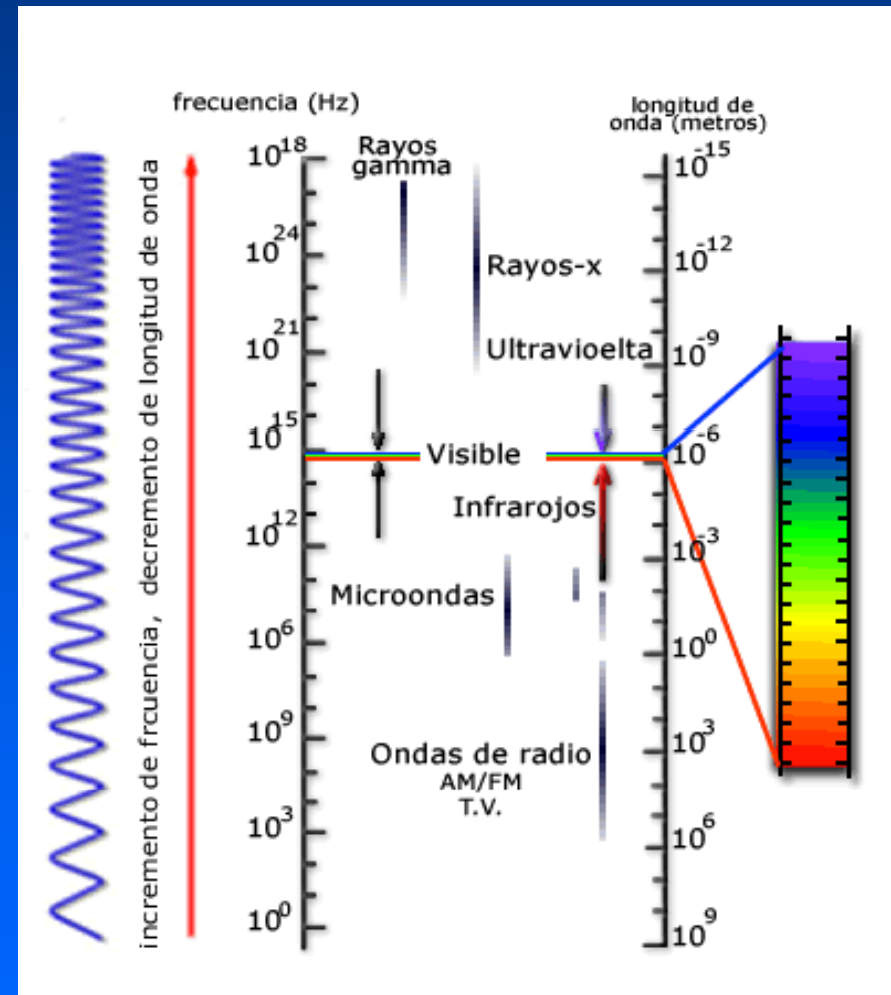
N. Lockyer

- En la Tierra el He es raro y no se aisló hasta 1895

Espectro electromagnético



- Niveles electrónicos →
- Vibraciones moleculares →
- Rotaciones moleculares →



Nota: $10^3 = 1000$; $10^{-3} = 0,001$

M. A. Catalán

(1894 -1957)



Sistema periodico “astronómico”

Periodic Table of the Elements

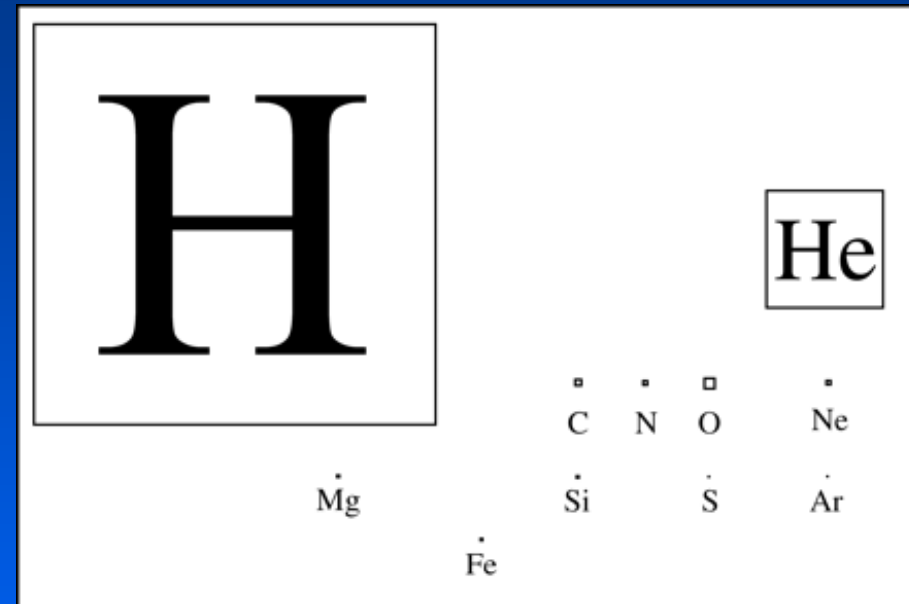
1																	18
3																	18
11																	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113					

* Lanthanide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

+ Actinide Series

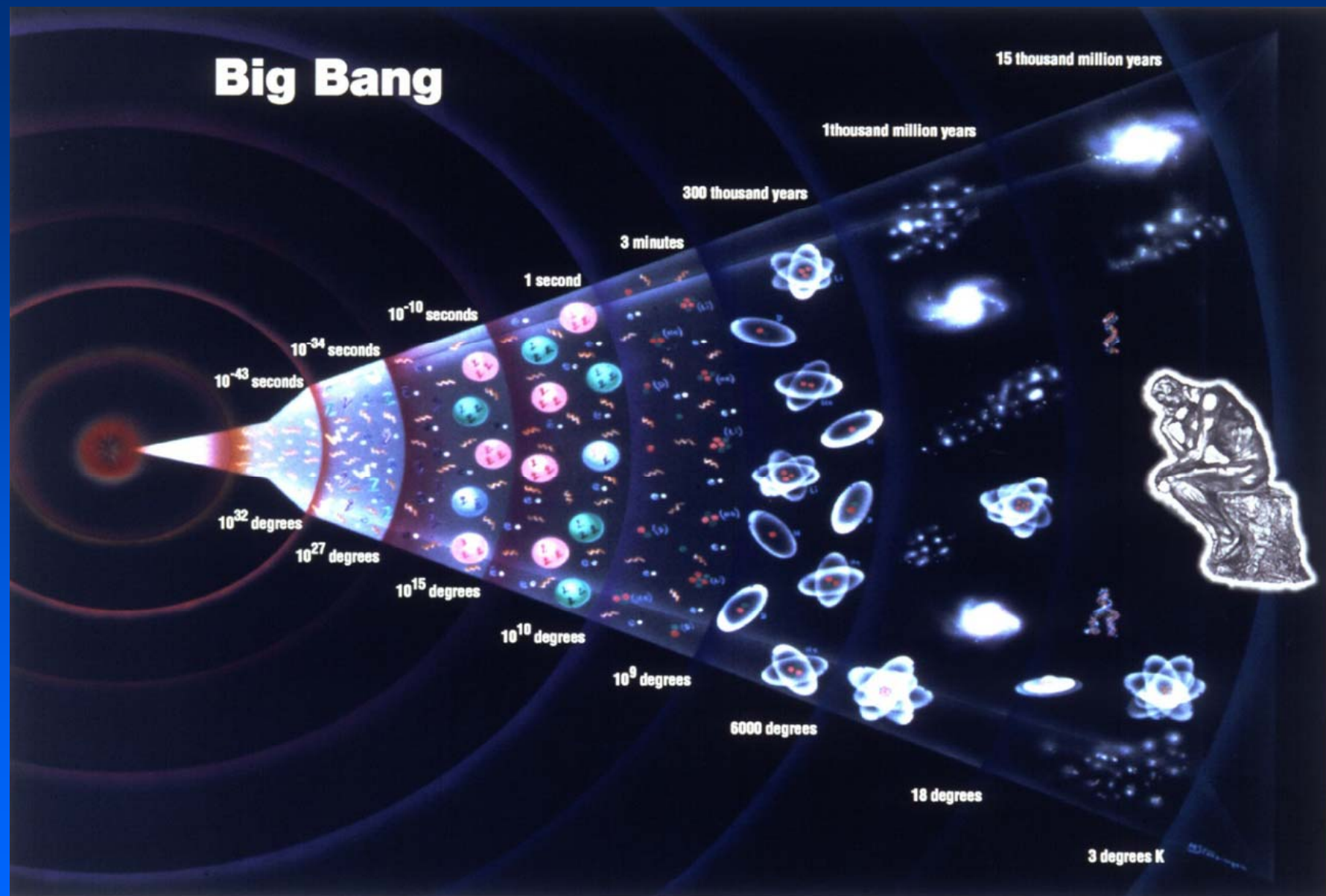
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



Elementos más abundantes

Origen de los elementos

- Nucleosíntesis primordial
- Nucleosíntesis estelar



↓ Química

Justificación del modelo del Big Bang

■ Expansión del Universo

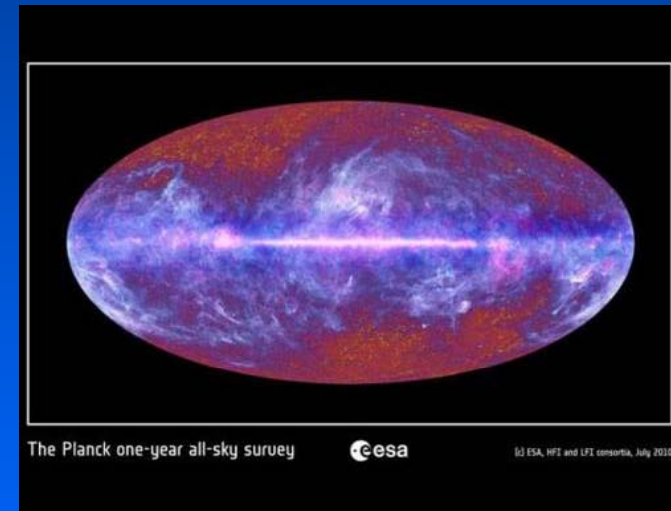
- Corrimiento al rojo
- Ley de Hubble

■ Radiación de fondo

- Microondas 2.7 K (-270,3 °C)
- Muy homogénea

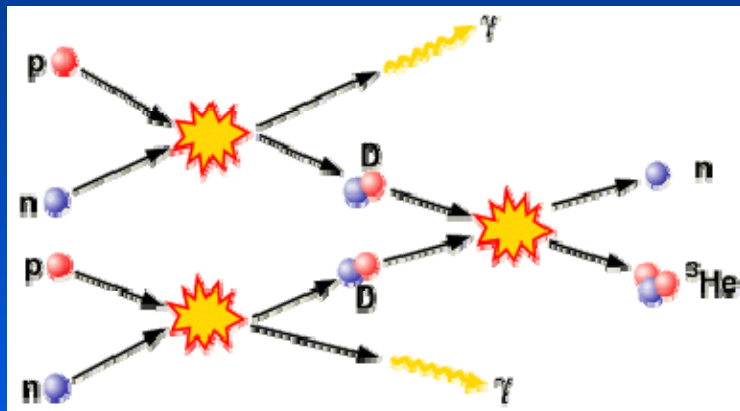
■ Proporción de elementos ligeros

- Nucleosíntesis primordial

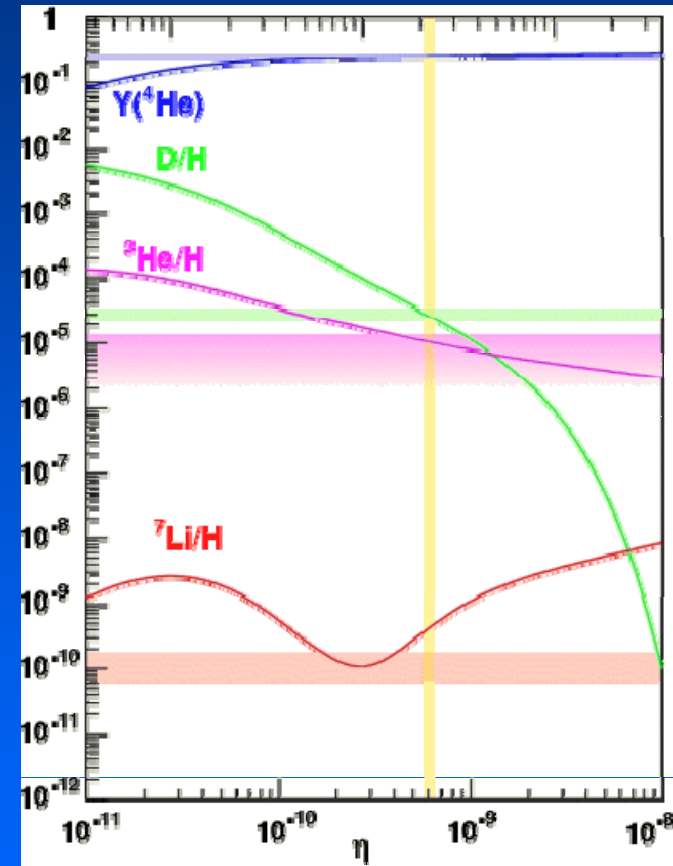


Nucleosíntesis primordial

Ejemplo de reacciones



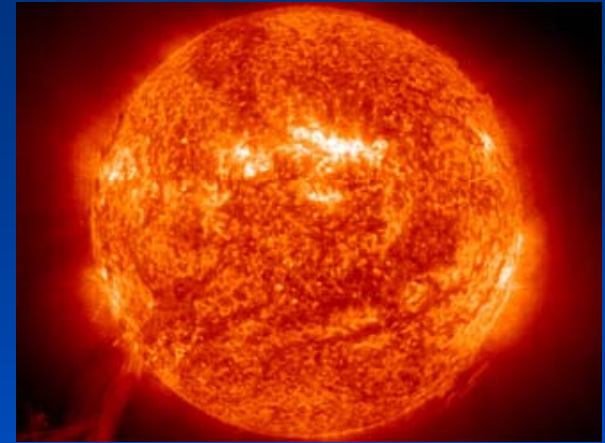
- Solo se forman elementos ligeros: H (D), He, trazas de Li, Be
- Expansión y enfriamiento detienen el proceso



Modelo y observaciones

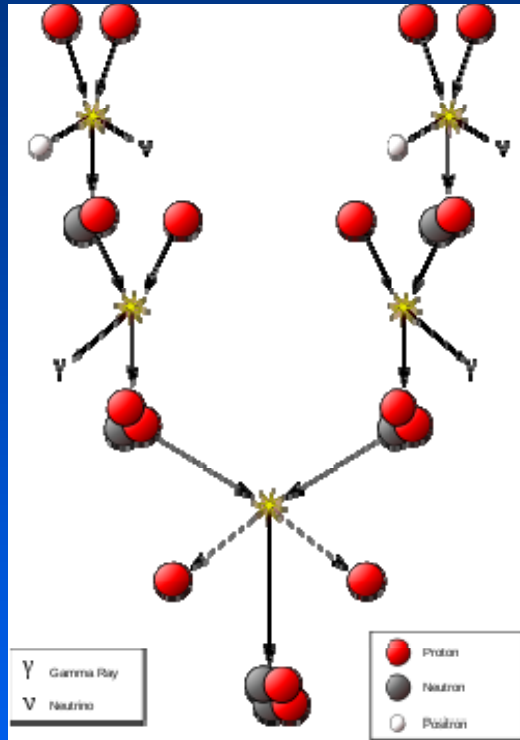
Nucleosíntesis estelar

- Atracción gravitatoria $\longleftrightarrow$ fusión nuclear
- Fusión nuclear: elementos ligeros producen elementos mas pesados
- El proceso continúa en varias fases hasta que se consume el combustible nuclear.
- La primera generación de estrellas tras el Big Bang sólo debió contener inicialmente H y He
- Las generaciones posteriores de estrellas incorporan ya otros átomos (“metales”) desde el principio



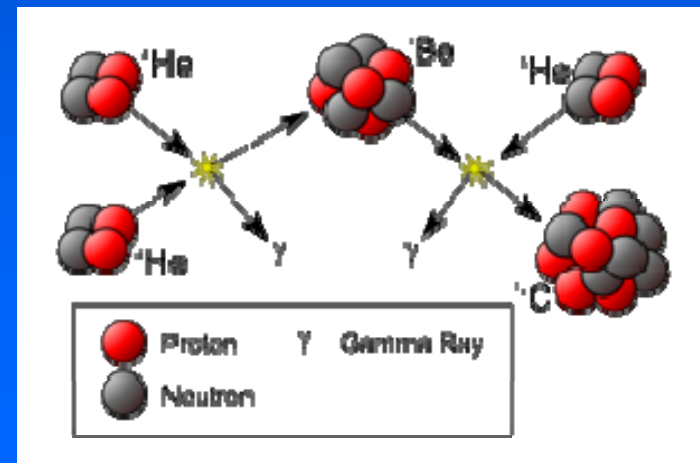
Nota: en astronomía se llaman “metales” a los átomos distintos de H y He

Nucleosíntesis estelar

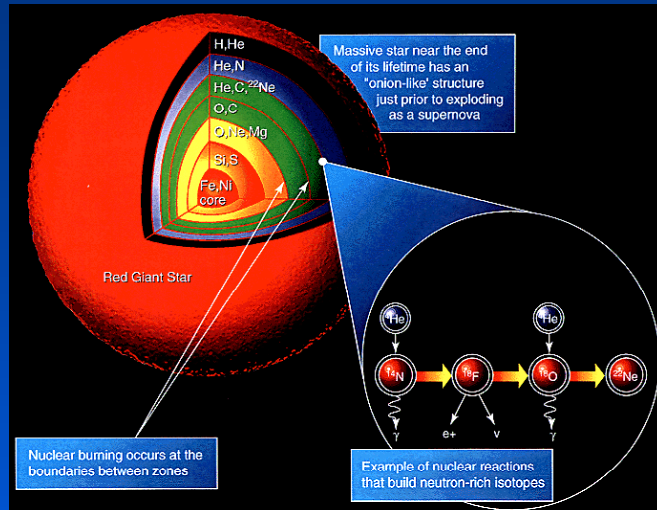


- Cadena protón-protón
 - $H \rightarrow He$

- Cadena triple α
 - $He \rightarrow C$

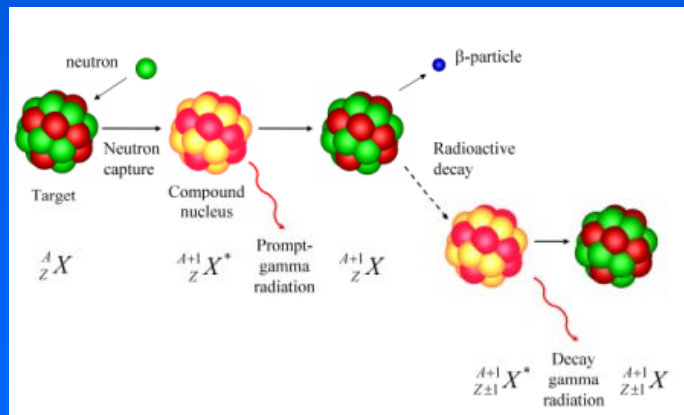


Nucleosíntesis estelar



Estrella masiva (capas)

- En estrellas grandes, la fusión de elementos cada vez mas pesados da lugar a una estructura en capas
- A partir del hierro la fusión no es efectiva y los elementos se forman por captura de neutrones
- En las explosiones de supernovas se producen flujos muy altos de neutrones que forman muchos elementos pesados



Resumen de nucleosíntesis

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra																
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

Big Bang

Supernovae

Large Stars

Small Stars

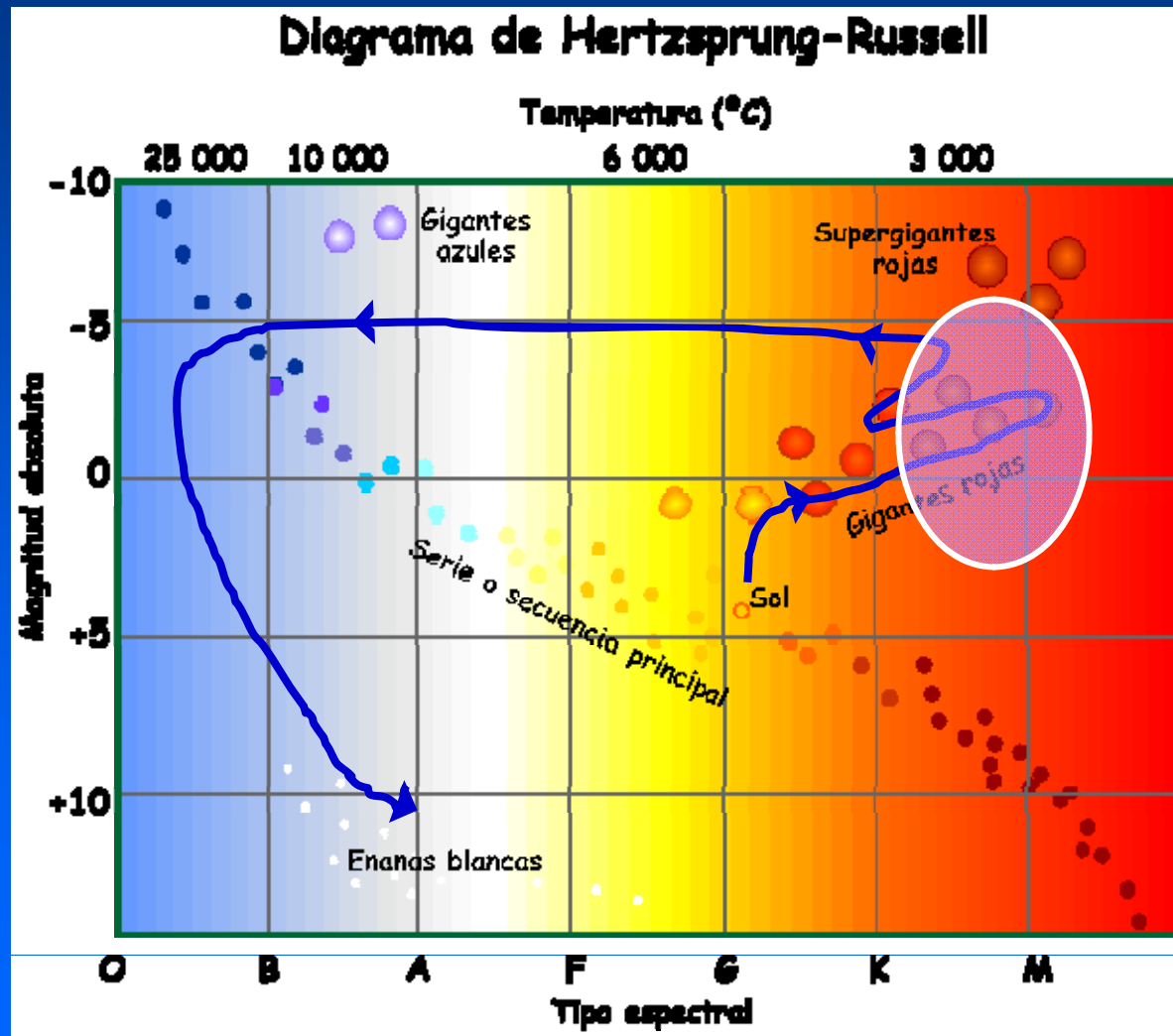
Cosmic Rays

Producción de moléculas

- Envoltorios de estrellas evolucionadas
- Regiones de formación estelar

Evolución estelar

Estrellas RAG (AGB) y supergigantes rojas

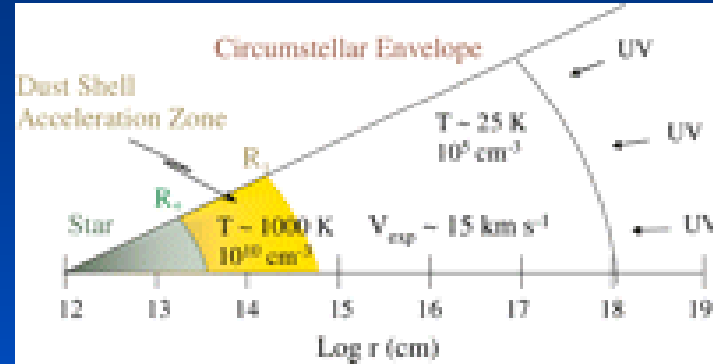


Expulsión de las capas externas (Envoltorio estelar)

Estrellas RAG (AGB) y supergigantes rojas



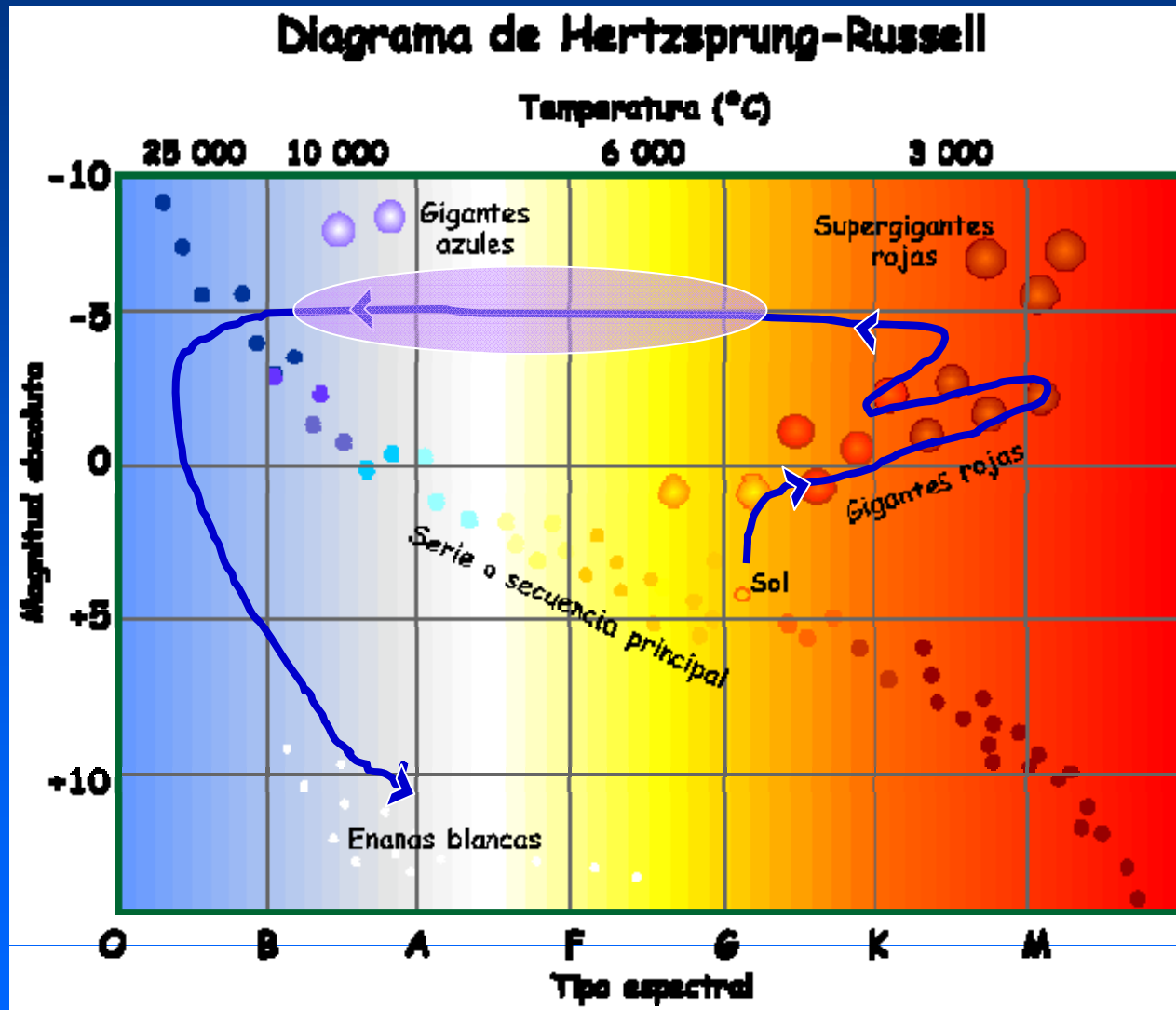
Supergigante roja V838 Mon



Granos de polvo

- Decenas de moléculas identificadas
- Envoltorios enriquecidos en C (mayor riqueza química)
 - CO, CS, CN, HCN, CH₄, C₂H₂, C_nH, HC_nN, NH₃, SiCN, NaCl....
 - Polvo: SiC
- Envoltorios ricos en O
 - CO, SiO, SO, H₂O, SO₂, HCN....
 - Polvo: Silicatos, óxidos

Evolución estelar: nebulosas planetarias



Excitación del
envoltorio
expulsado

Nebulosas planetarias

- La estrella central emite radiación UV que ioniza y excita el envoltorio circundante
- Gas: Aparecen mas radicales y iones
 - CO , CN , OH , CH , HCO^+ , CO^+ , CH^+ , N_2H^+ ...
- Sólido
 - Cadenas carbonadas aromáticas y alifáticas

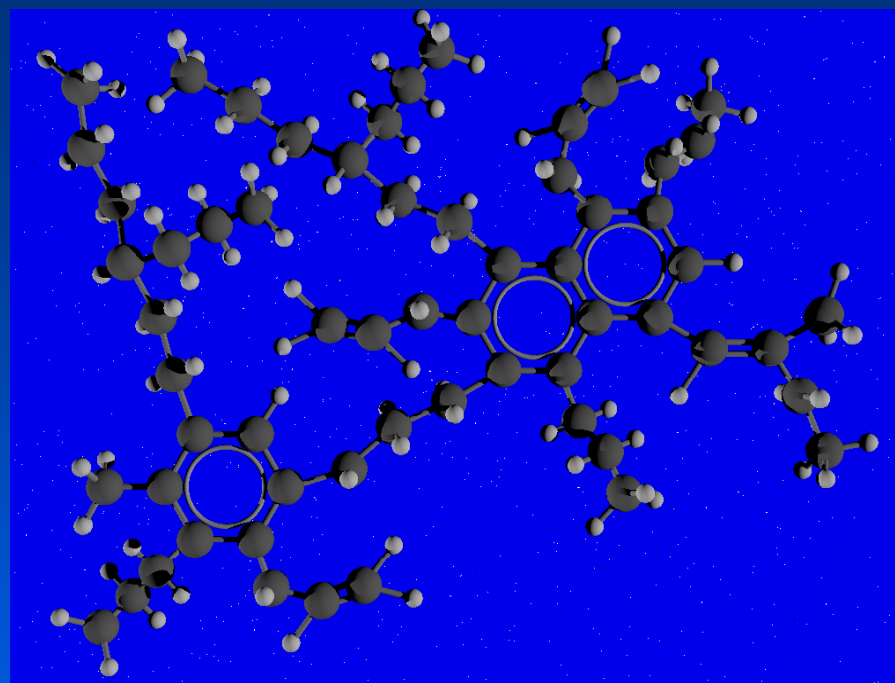


Nebulosa planetaria
“Ojo de gato”

Nota: El nombre “nebulosa planetaria” tiene razones hitóricas. No tienen nada que ver con planetas

Grandes estructuras carbonáceas

- Mas de la mitad del carbono interestelar está en forma macromolecular.
- Principales especies
 - Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs)
 - Carbono amorfo hidrogenado (HAC)
 - Fullerenos, diamantes, grafito ?...
- Son responsables de bandas espectrales entre UV y microondas, pero no siempre fáciles de asignar



Regiones de formación estelar

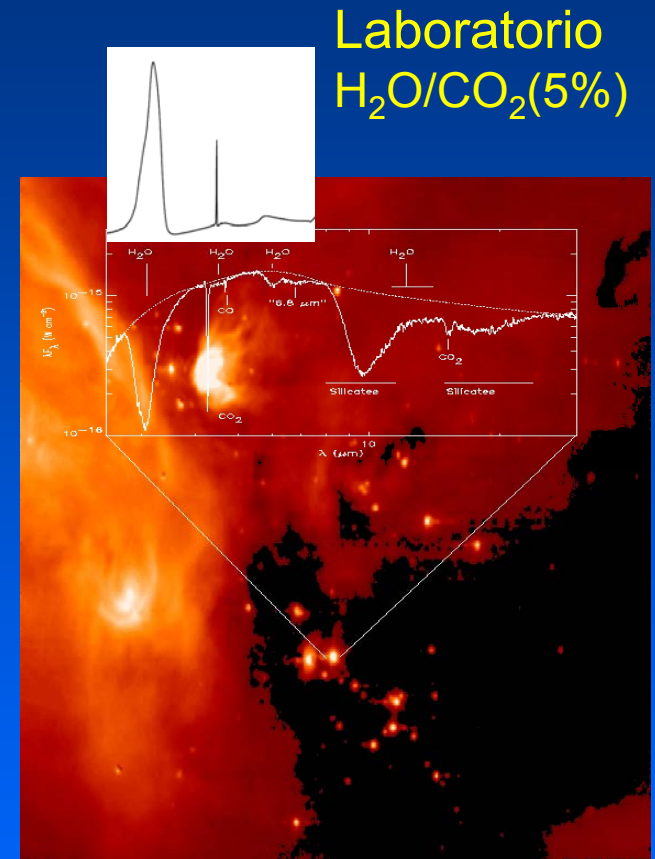
- El material liberado por las estrellas evolucionadas queda en el medio interestelar
- Muchas moléculas se disocian por la intensa radiación UV en este entorno
- Sobreviven especialmente los granos de polvo y las moléculas más grandes
- Se originan **nubes tenues de gas y polvo** a partir de las cuales se forman nuevas estrellas



Nebulosa de Orión

Nubes moleculares densas

- Densidad “alta” (10^4 - 10^6 cm $^{-3}$) y temperatura baja (10-50 K)
- Apantallan la radiación UV y permiten la pervivencia de moléculas
- Las moléculas más abundantes son H $_2$ y CO
 - (CO/H $_2$) = 0.0001
- Los granos de polvo (refractarios) se recubren de capas de “hielos” (volátiles)



Espectro IR hacia Elias 29
en ρ Ophiuchi

Nota: en la superficie terrestre la densidad del aire es 10^{19} cm $^{-3}$

Nubes moleculares densas



Nebulosa "cabeza de caballo" en
Orión



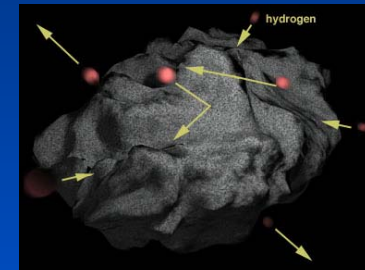
Nebulosa del águila (M 16)

Química en nubes moleculares densas

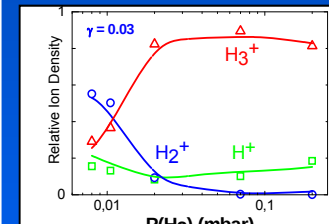
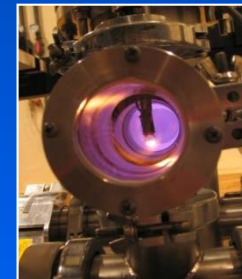
T muy baja $\rightarrow$ Reacciones sin apenas barrera

- **Reacciones en la superficie de los granos :**

Ej. Síntesis de H_2



- **Reacciones ión molécula,:**
a partir de H_3^+



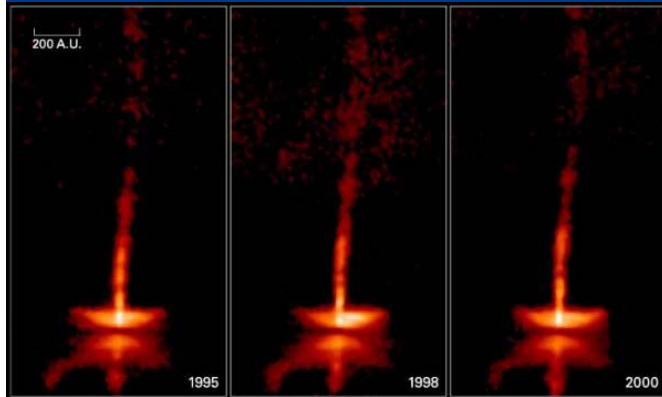
- **Enriquecimiento isotópico:**

Las moléculas formadas se enriquecen en los isótopos más pesados:

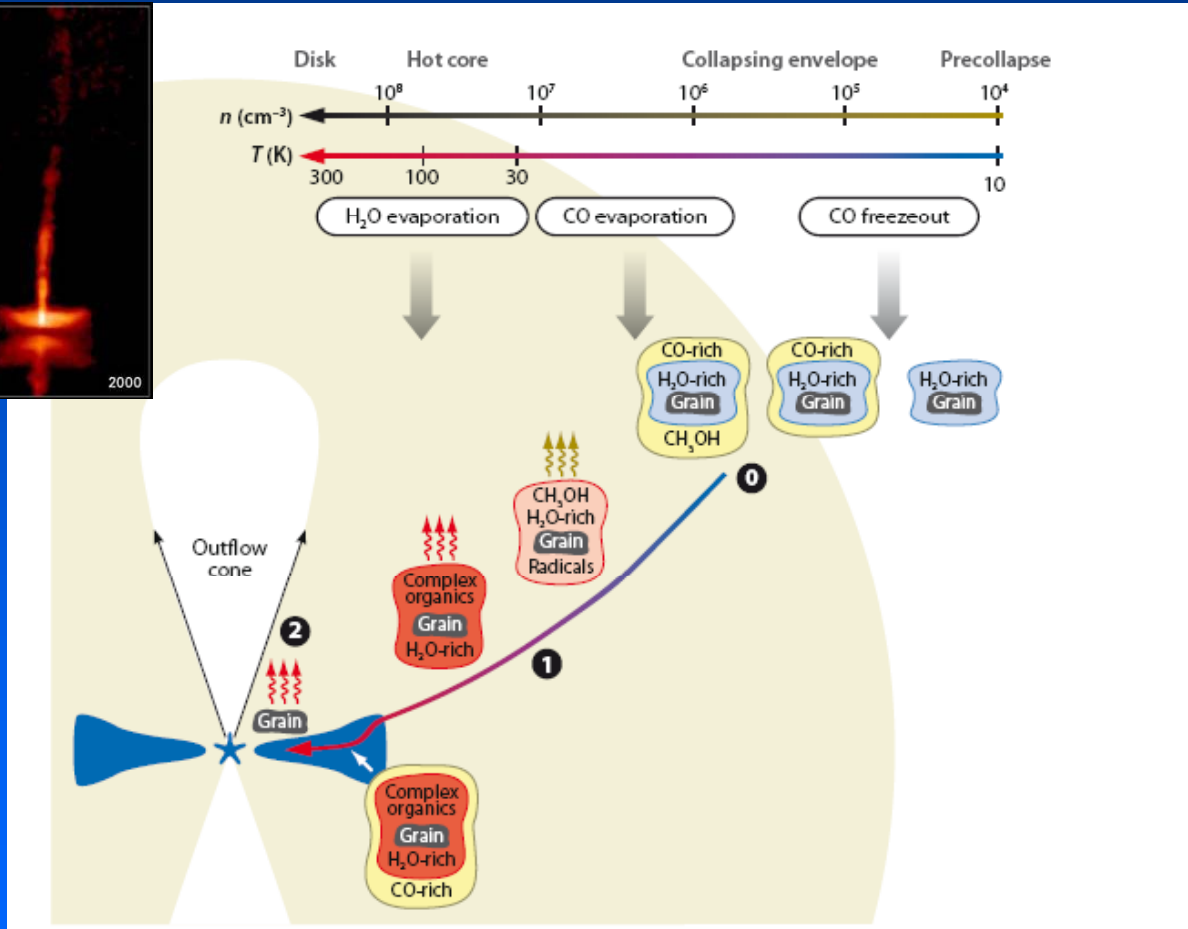
Ej, $(HDO/H_2O) > (H/D \text{ cósmico}) = 10^{-5}$

Laboratorio

Colapso de un núcleo pre-estelar



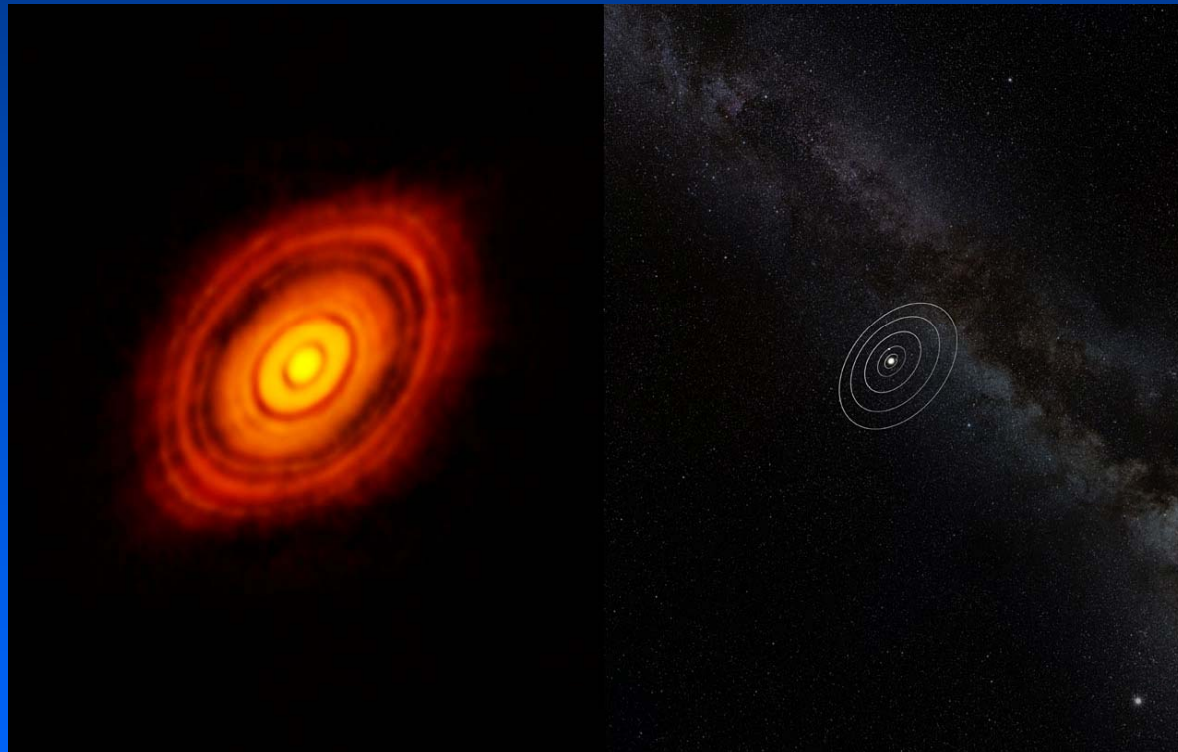
Protoestrella HH30



Disco protoplanetario

HL Tauri

Sistema solar



PR image ESO 1436f, 2014

Imagen partir de datos del telescopio ALMA

ALMA

Atacama Large Millimeter Array

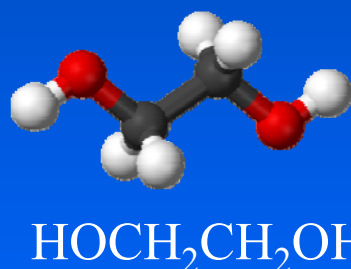
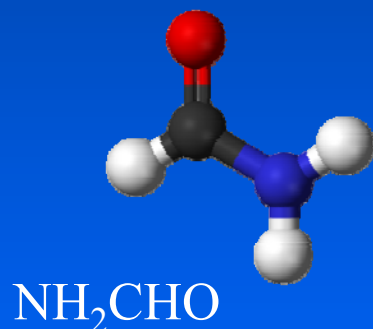
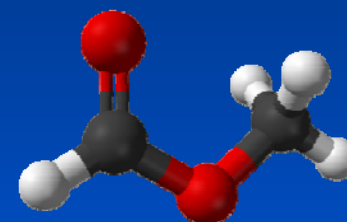
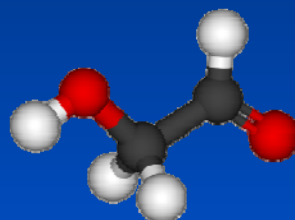
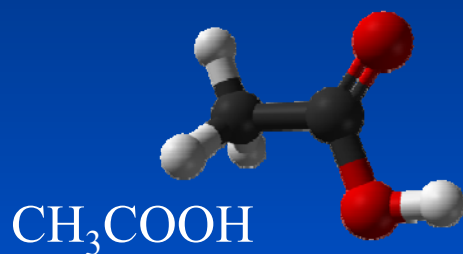


- Conjunto de 66 antenas situado en el desierto de Atacama a 5000 m
- Operativo desde 2014

Moléculas interstelares y cricunestelares

- Se han detectado unas 170 moléculas (2014), entre ellas:
 - Moléculas pequeñas
 H_2 , CO , CO_2 , HF , HCN , NH_3 , CH_4 ...
 - Radicales
 OH , CN , CH , NH , CH_2 , C_nH ...
 - Iones
 H_3^+ , HCO^+ , N_2H^+ , OH^+ , CN^- , OCN^- , C_4H^- , NH_3D^+ ...
 - “Moléculas complejas” (COMs) de más de seis átomos
 CH_3OH , C_2H_2 , HCOOCH_3 , HOCH_2CHO , CH_3CONH_2 ...

Ejemplos de moléculas complejas en zonas de colapso protoestelar (“hot core”)

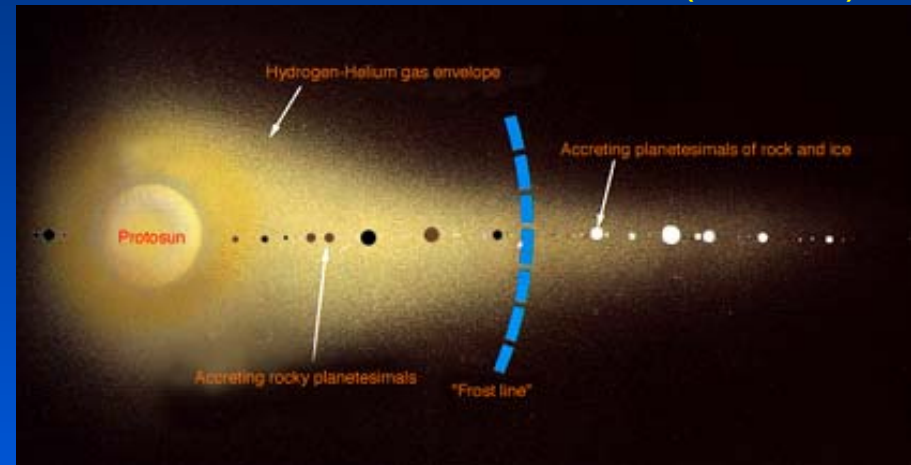


No se ha confirmado la detección de glicina, ni de ningún otro aminoácido en el medio interestelar

Formación del Sistema Solar

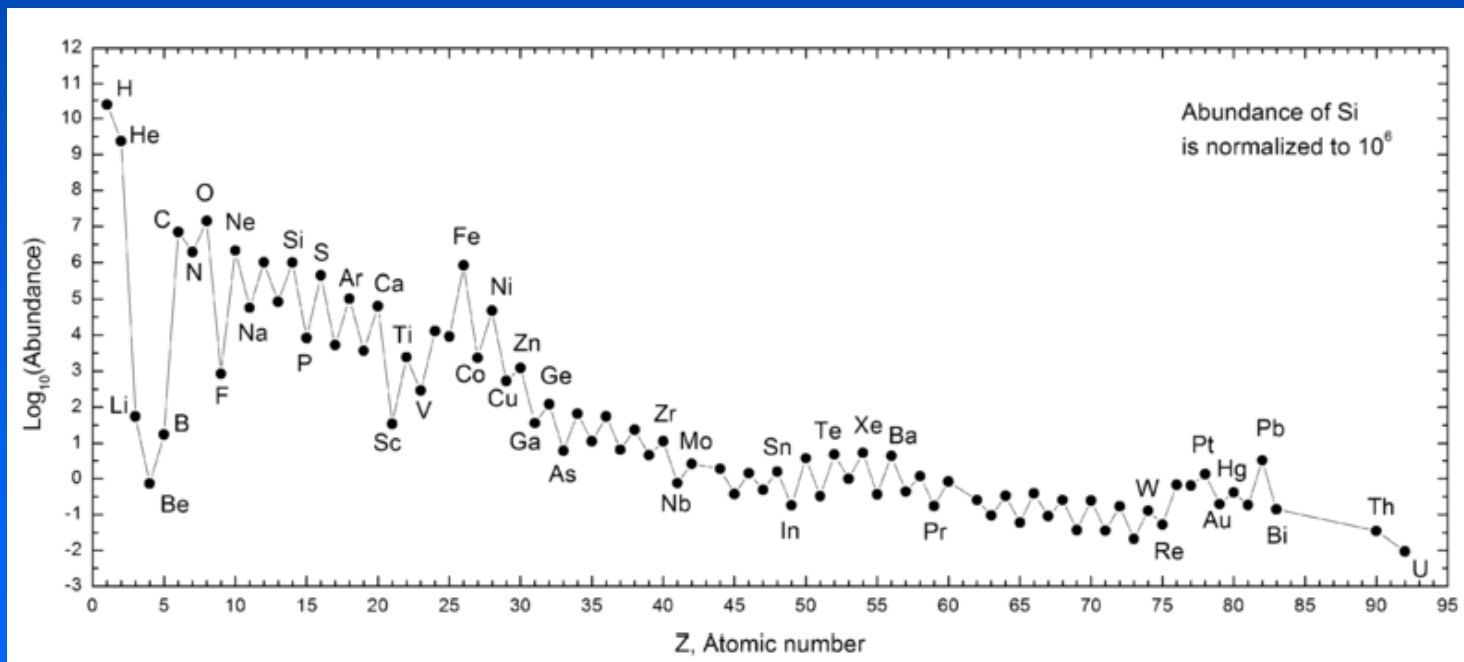
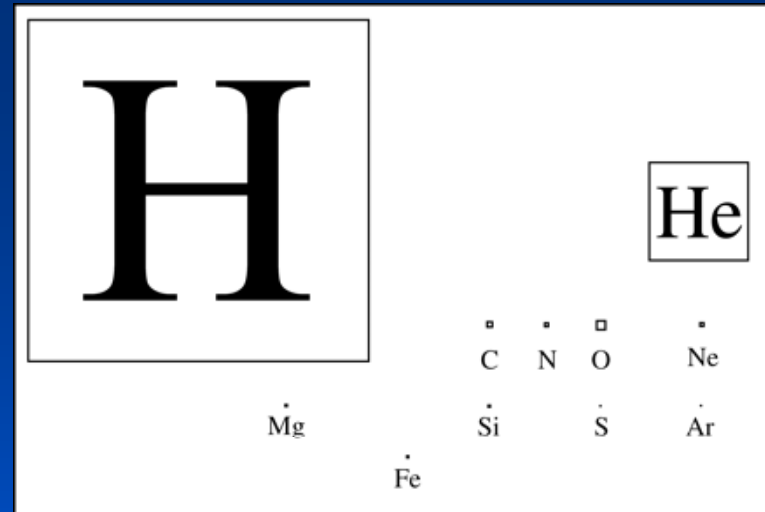
Línea del hielo
~ 3 UA,
150 K (-123°C)

- Colapso parcial de una nube de gas y polvo (“nebulosa solar”)
- Hace unos 4600 millones de años
- Casi toda la masa (99,9%) se concentró en el Sol.
- Material original de múltiples estrellas previas
- El 98% de la masa corresponde a los elementos más ligeros : H y He

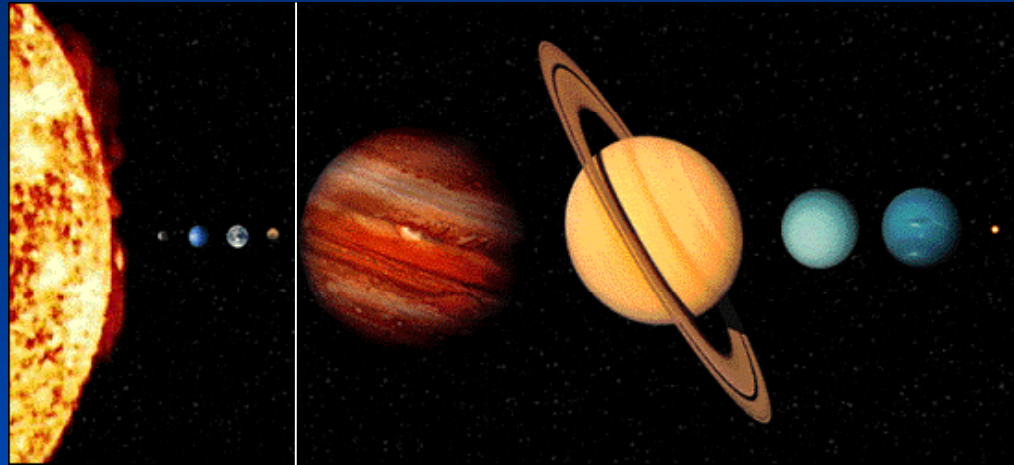


Nota : Unidad astronómica (UA) = $1,5 \times 10^8$ km
(Distancia media Tierra-Sol)

Abundancia de los elementos en el Sistema Solar



Planetas



■ Planetas rocosos

- Formados entre el Sol y la línea del hielo
- Ricos en metales (Fe, Mg, Al) y silicatos. Pequeño tamaño
- Incapaces de retener H_2 o He. **Atmósferas tenues**

■ Planetas gaseosos

- Formados mas allá de la línea del hielo
- Condensation de especies volátiles. Tamaño grande
- **Grandes atmósferas de H_2 y He**

Línea del hielo

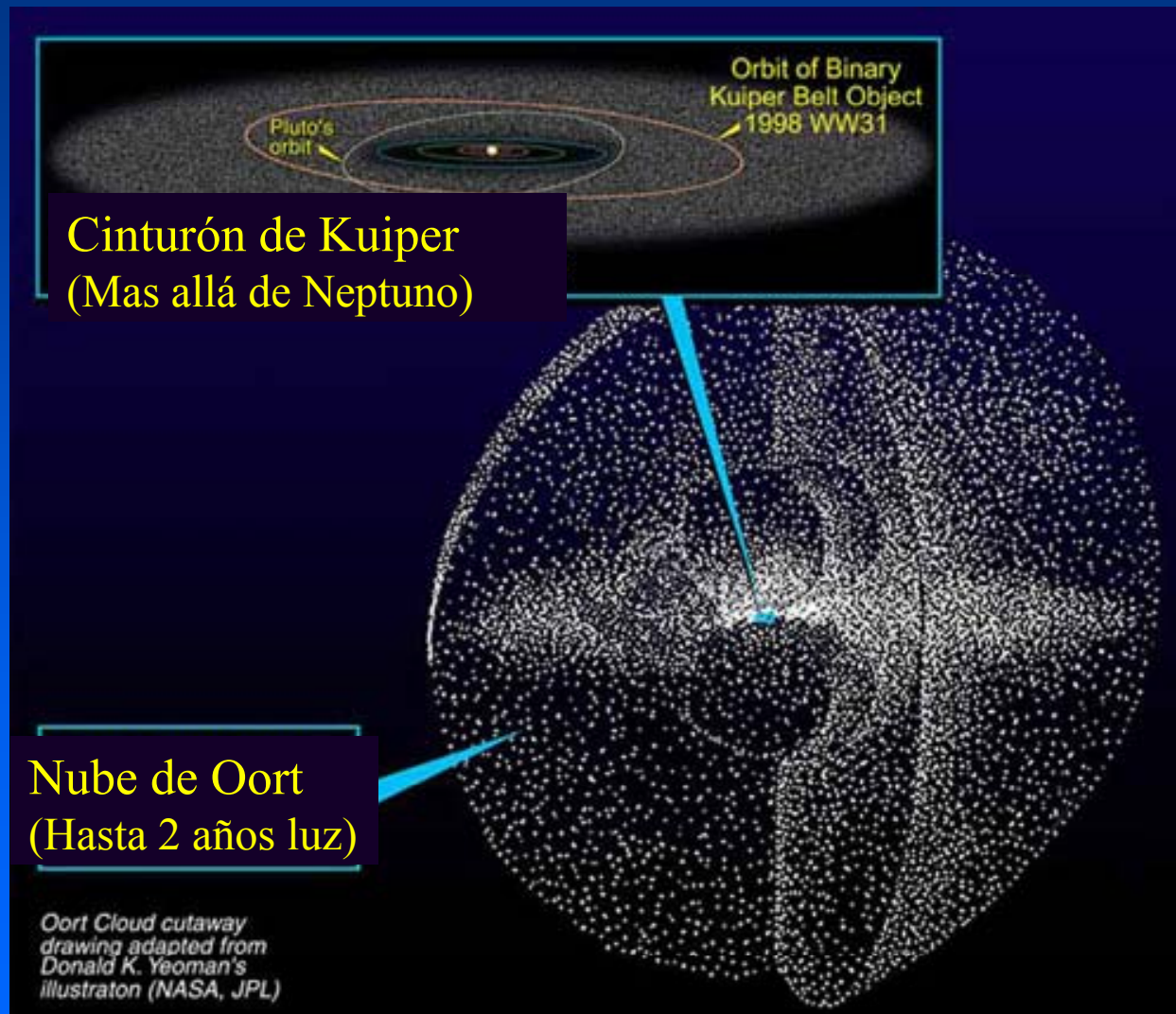
Meteoritos

- La mayoría (86 %) de los meteoritos son rocas primitivas (**condritas**) compuestas por **fragmentos indiferenciados** que no llegaron a formar planetas
- Las condritas provienen del **cinturón de asteroides entre Marte y Jupiter**
- **Las condritas carbonáceas contienen abundantes compuestos orgánicos**
- Se encuentran **entre los objetos mas antiguos del Sistema Solar** (> 4500 millones de años)
- Las mas antiguas (tipo CI) tienen una composición elemental muy similar a la del Sol



Meteorito Gao

Sistema Solar



Cometas

- Pequeños cuerpos de las regiones exteriores del Sistema Solar
 - Periodo Largo (**nube de Oort**)
 - Período corto (**cinturón de Kuiper**)
- Objetos muy antiguos en el Sistema Solar
- Formados por materia rocosa y hielos de sustancias volátiles.
- **La composición de los hielos es similar a la de los hielos interestelares (H_2O , CO_2 , CO)**
- También contienen materia orgánica



Cometa Halley

Rosetta

Misiones previas a cometas

Aproximaciones

- 1P/Halley, 1986, *Giotto* , *Vega 1*
- 9P/Tempel1, 2005, *Deep impact*
- 81p/Wild2, 2004, *Stardust*

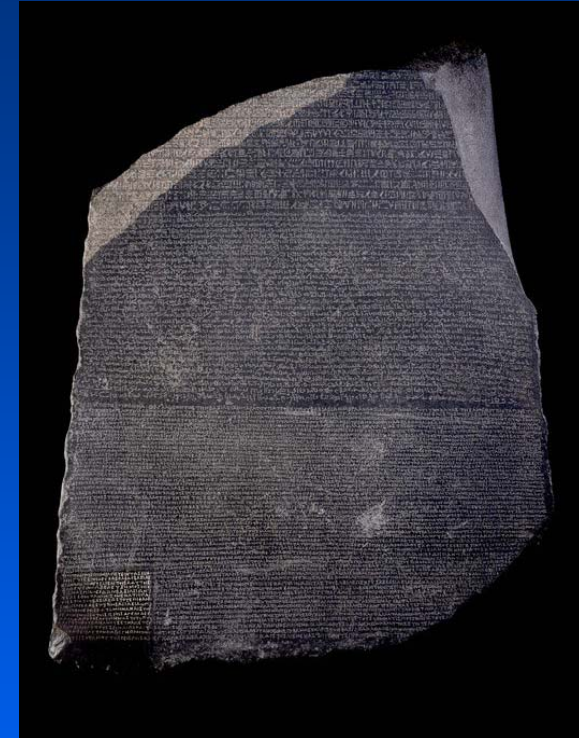
La misión Rosetta

Sobrevuelo y aterrizaje (2014)

- 67P/Churyumov Gerasimenko
(encuentro a unos 5×10^8 km)



La piedra de Rosetta



J

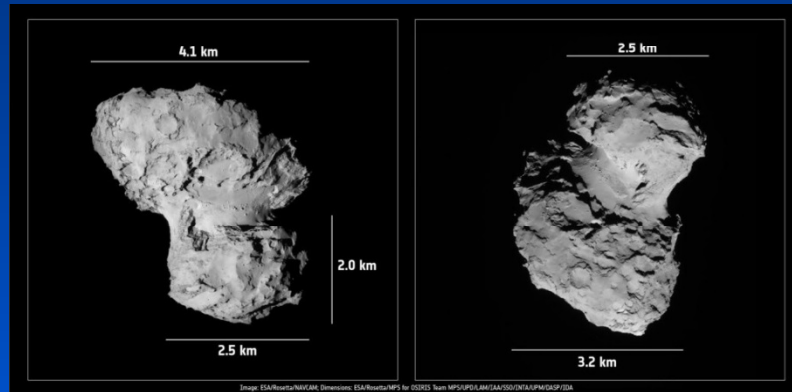
D

G



T. S. Young J. F. Champollion

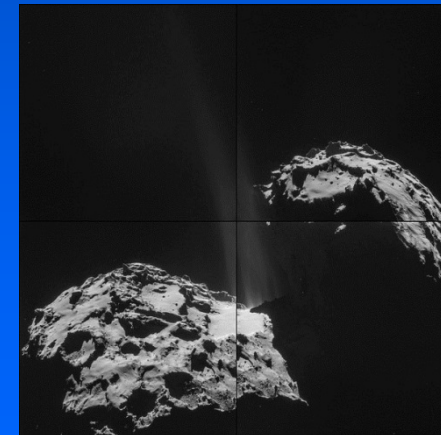
El cometa 67P/Churyumov Gerasimenko



- Cometa de periodo corto (6.57 años)
- Baja densidad (0.4 g/cm^3)
- Perihelio a $1,92 \times 10^8 \text{ km}$ del Sol
- Rosetta le orbitará en su próximo paso por el perihelio (2015)

Primeros análisis (verano 2014)

- Temperatura
 - superficial : de -68°C a -43°C
 - Bajo la superficie: de -243°C a -113°C
- Superficie muy oscura y sin hielo
- Compuestos detectados en la coma:
 H_2O , CO , CO_2 , NH_3 , CH_4 , CH_3OH , CH_2O
 H_2S , HCN , SO_2 , CS_2



Superficie de los planetas rocosos

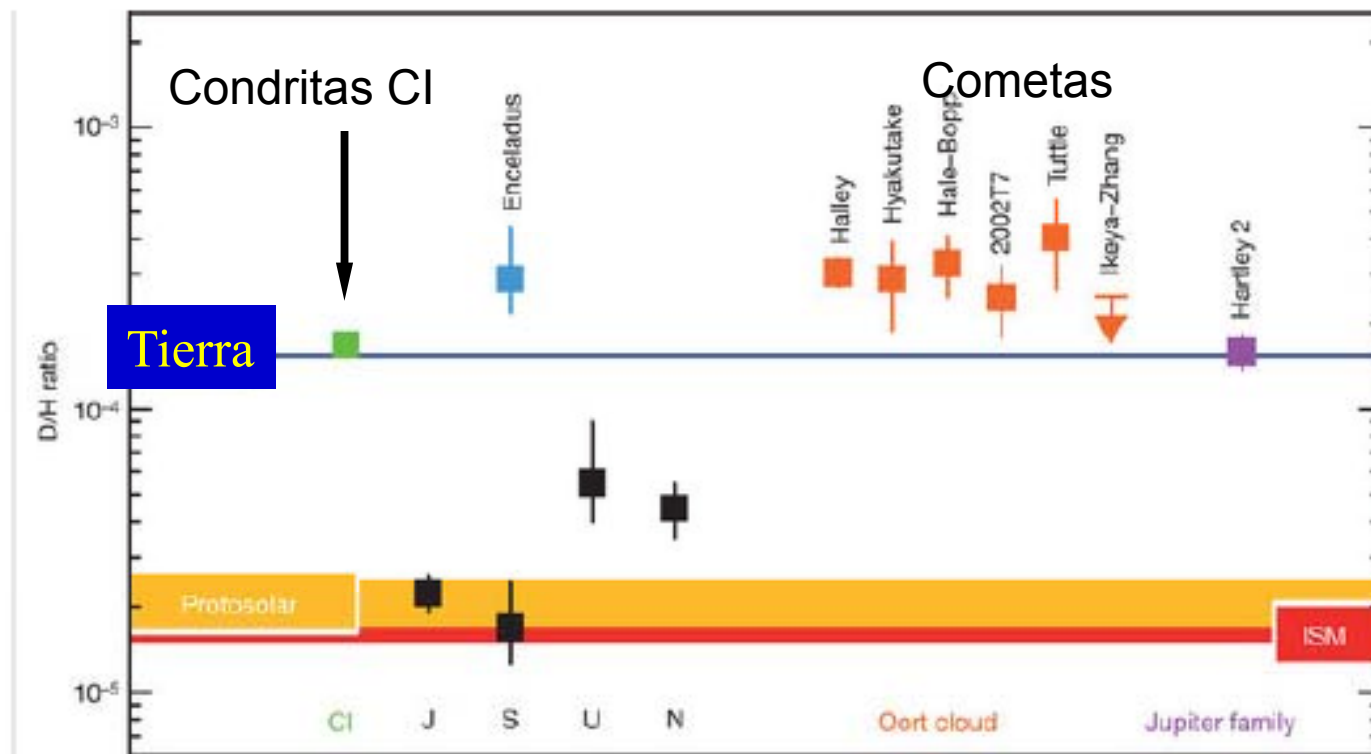
	Presión bar	Temp. °C	Principales componentes atmosféricos	Observaciones
Venus	92	460	CO ₂ (96 %) N ₂ (3 %)	Trazas de agua en fase vapor
Tierra	1	18	N ₂ (78 %) O ₂ (21 %)	Agua líquida en superficie
Marte	0.006	-60	CO ₂ (96 %) N ₂ (3 %)	Casquetes de hielo polares



Origen del agua en la Tierra

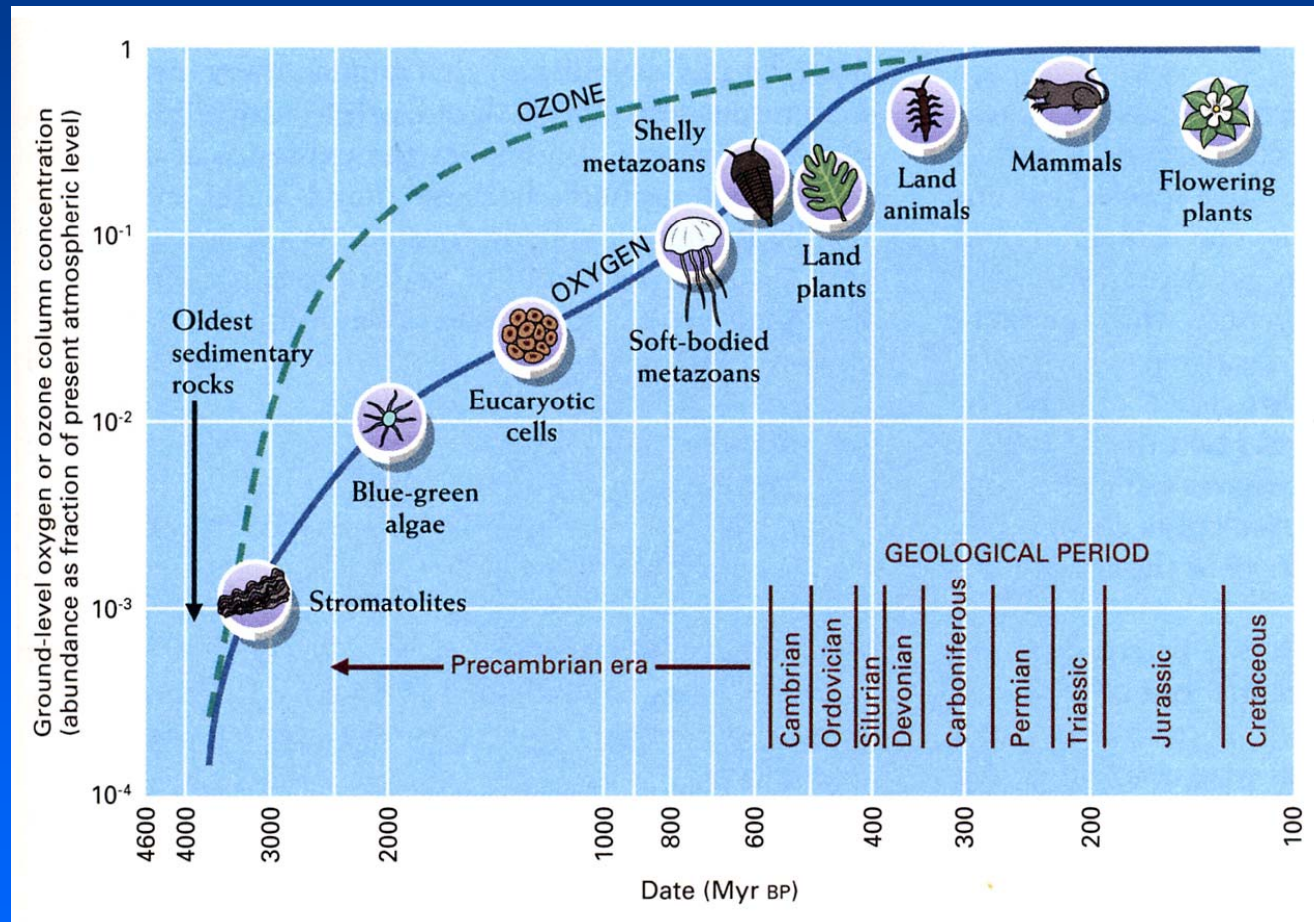
- Hace 3800-4200 millones de años, la Tierra sufrió una fase de bombardeo intenso por parte de objetos de regiones exteriores del Sistema Solar que pudieron aportar H₂O

Cociente D/H



P. Hartogh et al. Nature, 2011

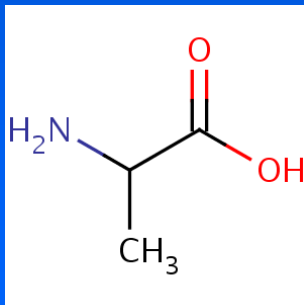
Evolución del oxígeno en la atmósfera terrestre



La mayor parte del O_2 se produjo por fotosíntesis

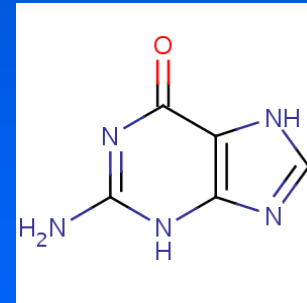
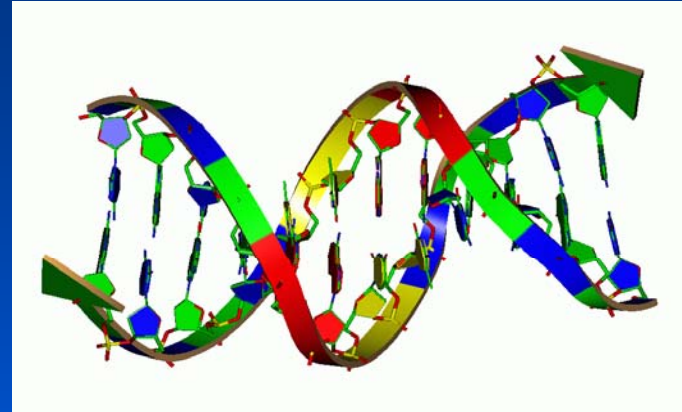
Biomoléculas

Proteínas
(mioglobina)



Aminoácidos
(alanina)

Ácidos nucleicos



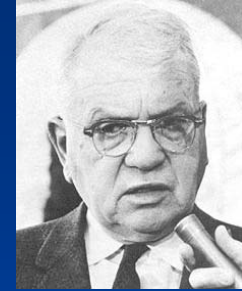
Bases nitrogenadas
(guanina)

Experimento de Miller-Urey

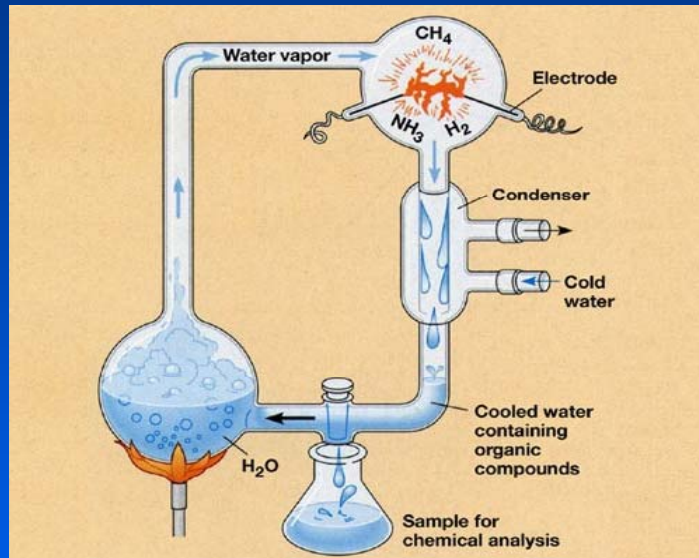
Science, 1953



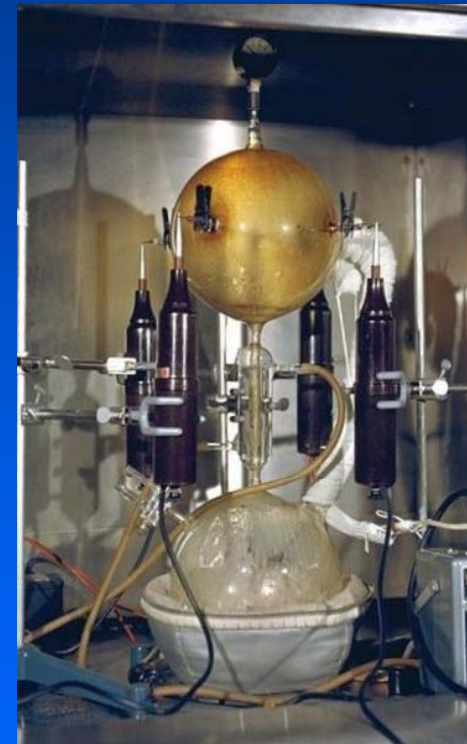
S. Miller



H. Urey



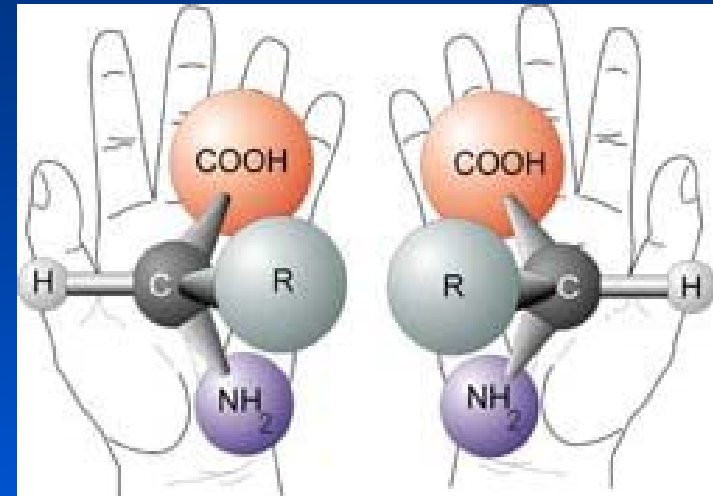
↓
Azúcares, lípidos,
aminoácidos



Experimentos posteriores con otros precursores (HCN) formaron también bases nitrogenadas como la adenina (J. Oró, 1961)

Aminoácidos y quiralidad

- Las proteínas están formadas por combinaciones de solo 22 aminoácidos distintos
- Salvo la glicina (el mas sencillo) estos aminoácidos son **quirales**
- Las moléculas **quirales** tienen dos variedades L y D que son como imágenes especulares y no se pueden superponer
- En las síntesis de laboratorio se obtiene normalmente una mezcla equimolecular de L y D
- **Los aminoácidos fabricados por los seres vivos son de la variedad L**



Aminoácidos en meteoritos y cometas

- Gran número de compuestos orgánicos incluidos bases nitrogenadas y aminoácidos
- Mezclas de aminoácidos L y D, con ligero exceso de L
- Relaciones isotópicas de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ y $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ mayores que las terrestres



Meteorito de Murchinson
1969



Cometa Wild2
("Stardust" 2004)

- Identificada glicina en fragmentos recogidos del cometa Wild 2
- La relación isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ distinta a la de la Tierra y similar a la del meteorito Murchinson

Probable formación extraterrestre de aminoácidos

Aterrizaje en 67P/CG

El módulo *Philae* de Rosetta aterrizará el 12 de noviembre de 2014



Philae



Agilkia

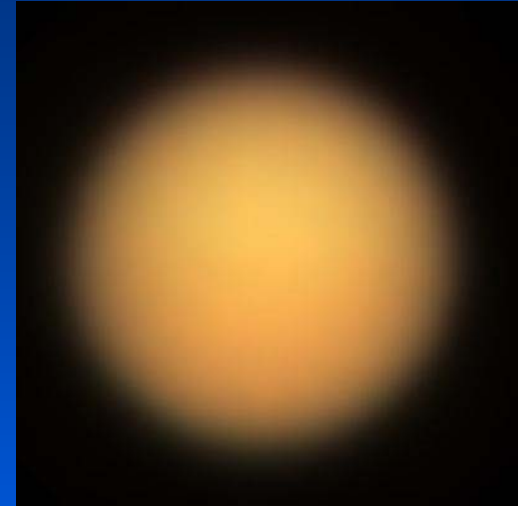


Kiosco de Trajano

- El modulo se anclará con arpones a la superficie
- Tiene 10 instrumentos a bordo para estudiar el cometa
- Tomará muestras hasta una profundidad de unos 20 cm
- **Se analizarán elementos, compuestos, relaciones isotópicas y quiralidad**

Titán

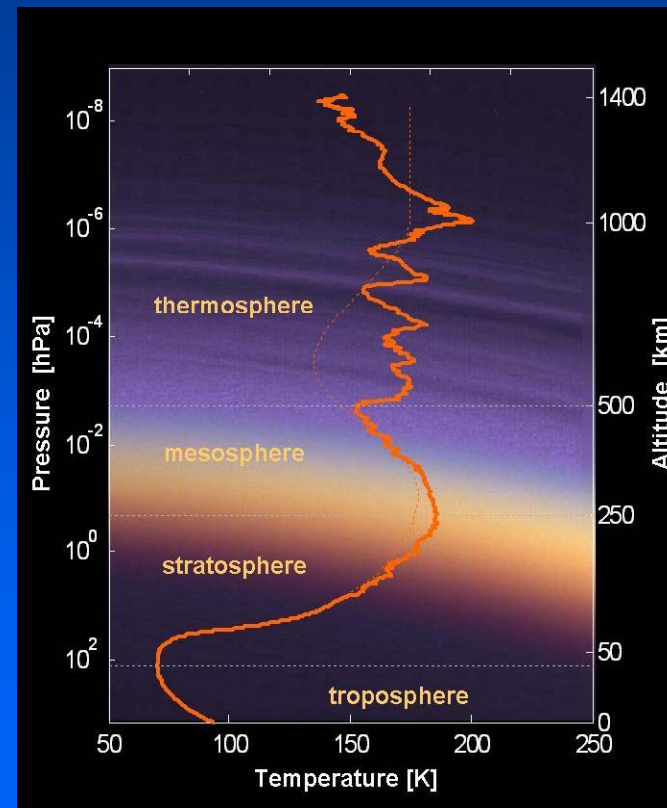
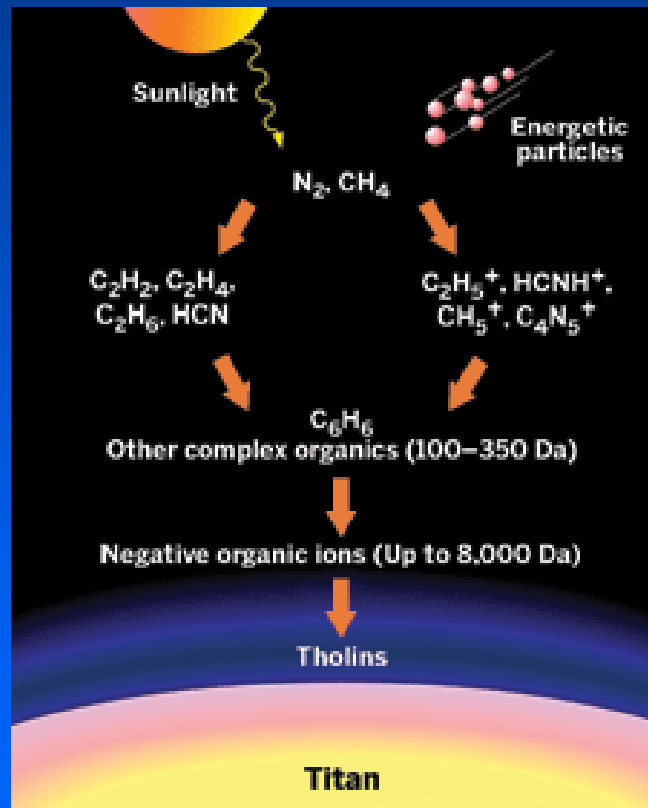
- Es la mayor luna de Saturno
- Distancia al Sol : 9,54 UA ($1,43 \times 10^9$ km)
- Atmósfera en la superficie
 - $P = 1,5$ bar ; $T = -179$ °C
 - $N_2 = 95\%$; $CH_4 = 5\%$
- Envuelto en una niebla anaranjada de derivados de nitrógeno y metano
- Se producen lluvias de metano



- Paisaje de Titán (guijarros de hielo en la niebla) desde la sonda Huygens, tomado en 2005
- **La sonda Huygens es la nave más lejana aterrizada por el hombre**

Química en la atmósfera de Titán

- La fotoquímica atmosférica produce polímeros de carbono y nitrógeno



Titán es la mayor fábrica abiótica de compuestos orgánicos conocida en el Sistema Solar

Exoplanetas

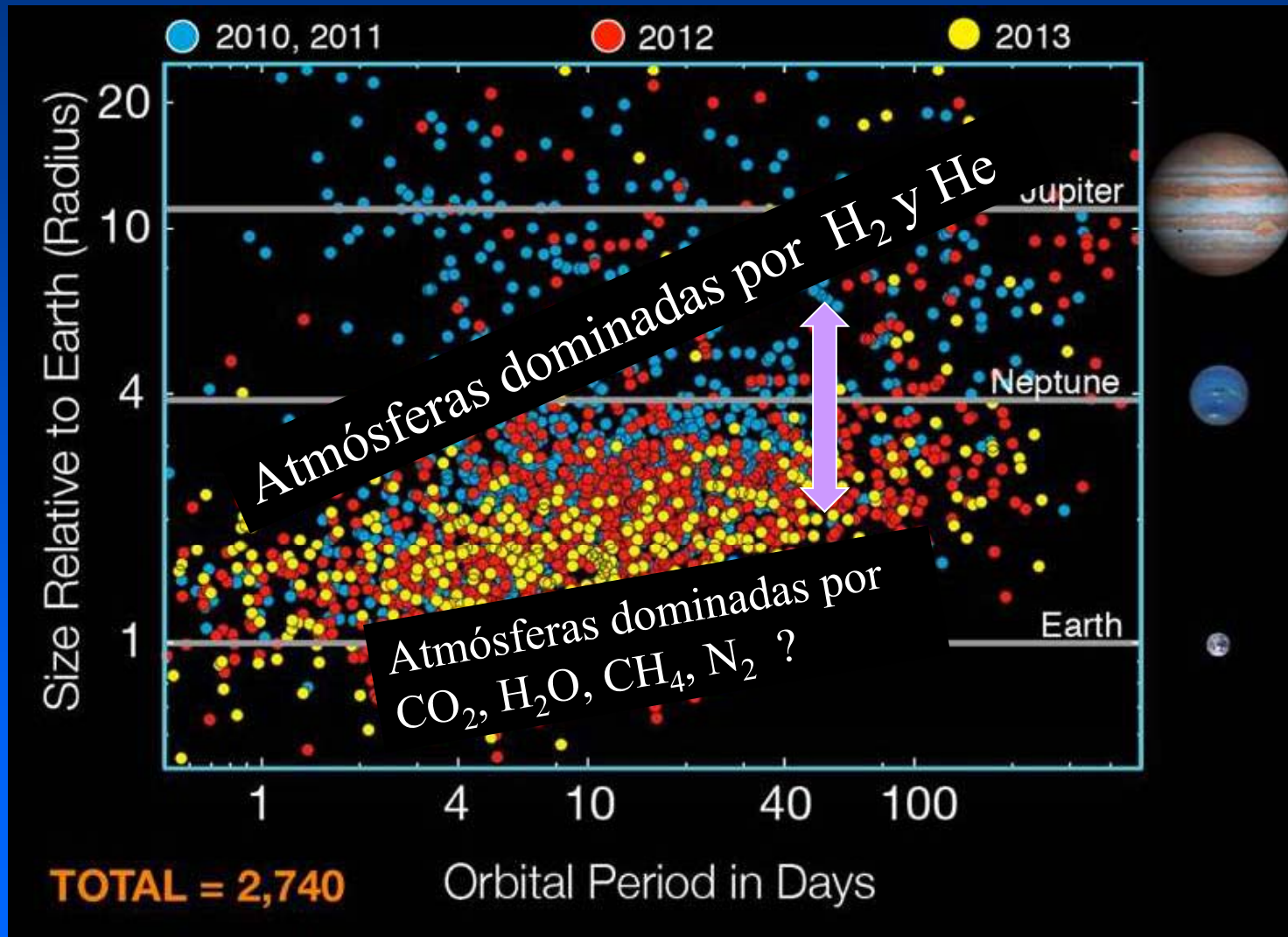
- Desde mediados de los 90 se han detectado unos 3000 planetas fuera del Sistema Solar mediante variaciones en el movimiento o en la luminosidad de estrellas. En algún caso se han podido tomar imágenes
- Las observaciones de sus atmósferas son difíciles. En algunos se han encontrado indicios de H_2O , CO_2 y CH_4
- **Existe un gran interés en encontrar planetas rocosos en la zona de habitabilidad** (posible agua líquida)



Exoplaneta 2M1207b
orbitando a una enana
marrón (VLT, 2004)

Exoplanetas detectados

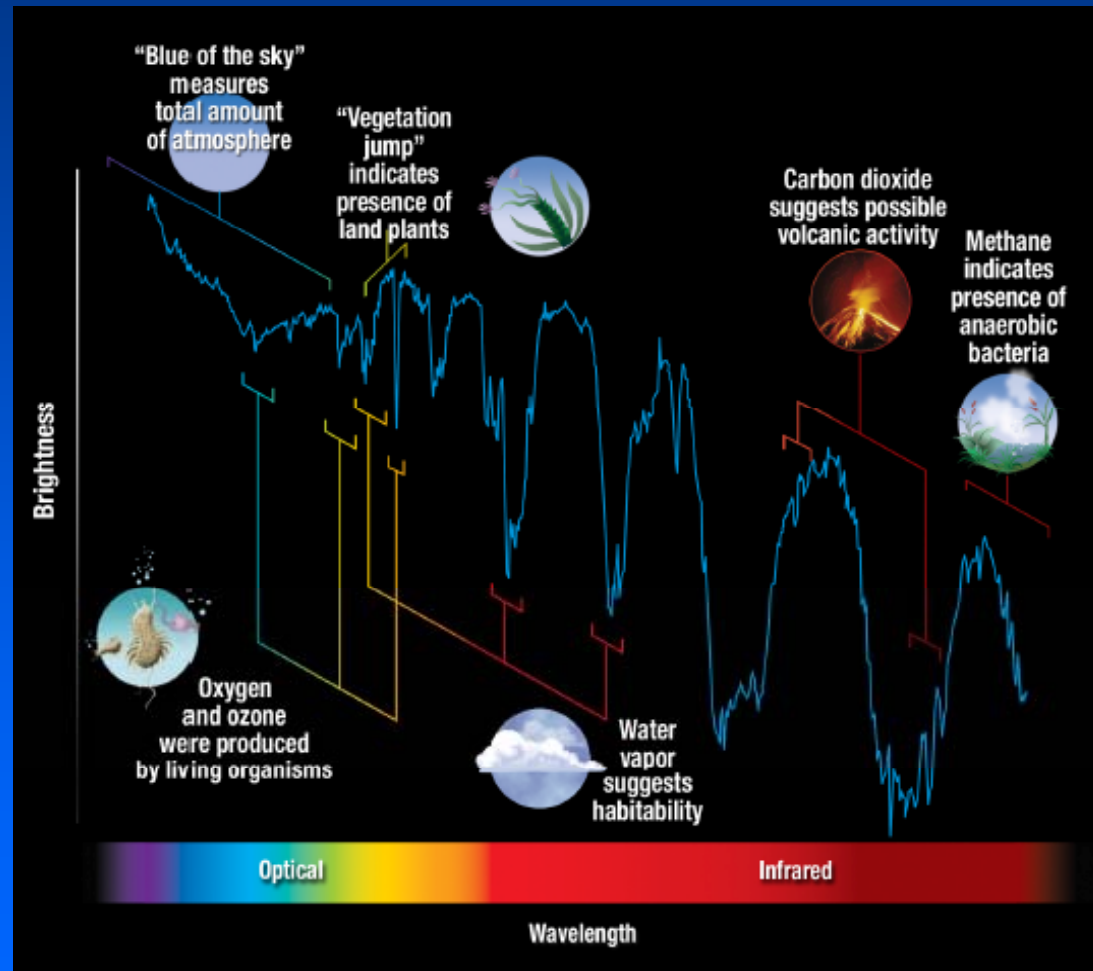
(Misión Kepler)



Tomado de M. Agúndez Astrochemistry's cool, Cuenca 2014

Marcadores en la atmósfera terrestre

- Espectro la atmosfera desde el exterior (“Earthshine”)



Swain (Hubble 2008 Science Year in Review)

Tomado de M. Agúndez Astrochemistry's cool, Cuenca 2014

FIN