

ASTROBIOLOGIA

Con aportes de Andrea Sánchez y Julio A. Fernández

Astrobiología:

La astrobiología es el estudio del origen, evolución y distribución de la vida en el universo.

Incluye:

- estudio del origen, la evolución temprana y las limitaciones ambientales de la vida en la Tierra
- búsqueda de vida existente, evidencia de vida pasada o evidencia de química prebiótica en cuerpos del sistema solar.
- búsqueda de planetas alrededor de otras estrellas y posibles evidencias espectroscópicas de habitabilidad y actividad biológica.
- origen de los elementos químicos biogénicos y el estudio de moléculas biológicamente relevantes en el medio interestelar y en objetos primitivos del sistema solar, como cometas, asteroides no-diferenciados y algunos meteoritos.
- búsqueda de señales inteligentes de origen extraterrestre

Actividad interdisciplinaria

Disciplinas involucradas

- Geofísica planetaria: interiores, superficies, atmósferas: química y dinámica
- Dinámica orbital en grandes escalas temporales
- Astrofísica estelar: formación, evolución
- Astrofísica del medio interestelar
- Tecnologías observacionales en: visible, IR, mm, radio, UV, rayos cósmicos, ...
- Química orgánica
- Bioquímica
- Paleontología



ASTROBIOLOGY STRATEGY

GOALS

- 1—Understand the nature and distribution of habitable environments in the universe.
- 2—Determine any past or present habitable environments, prebiotic chemistry, and signs of life elsewhere in our Solar System.
- 3—Understand how life emerges from cosmic and planetary precursors.
- 4—Understand how life on Earth and its planetary environment have co-evolved through geological time.
- 5—Understand the evolutionary mechanisms and environmental limits of life.
- 6—Understand the principles that will shape the future of life, both on Earth and beyond.
- 7—Determine how to recognize signatures of life on other worlds and on early Earth.

Topics of research:

- Identifying abiotic sources of organic compounds
- Synthesis and function of macromolecules in the origin of life
- Early life and increasing complexity
- Co-evolution of life and the physical environment
- Identifying, exploring, and characterizing environments for habitability and biosignatures
- Constructing habitable worlds

¿Qué es la vida?

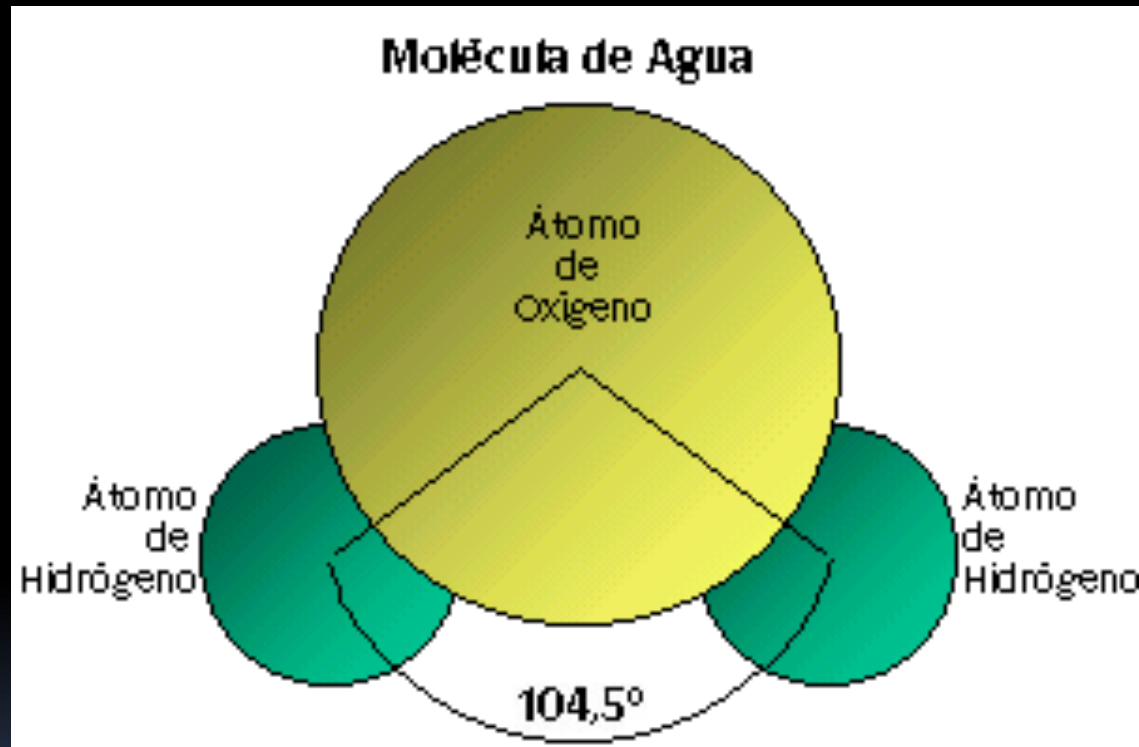
La lógica molecular de los organismos vivos
(Lehninger)

- Los sujetos vivos están formados por materia inanimada, ¿cómo funcionan las biomoléculas?
- Atributos particulares:
 - Alta complejidad y organización
 - Especificidad funcional (a veces por componentes)
 - Extracción, transformación y utilización de energía (nutrientes o luz solar)
 - **Transporte de membranas**
 - **Mantenimiento de estructuras**
 - **Locomoción**
 - Autorreplicación
- La mayor parte de los componentes químicos en organismos vivos son compuestos orgánicos (en base al carbono, con enlaces covalentes con otros carbonos, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno).

Origen de la vida en la Tierra.

- La existencia de vida está ligada a estos requisitos:
 - rango adecuado de T (algunos cientos de K)
 - medio líquido (*'la búsqueda de vida comienza con la búsqueda de agua'*)
 - **Superficies planetarias**

La molécula de agua



La molécula de agua es eléctricamente neutra, sin embargo es electronegativa porque los electrones de valencia están desplazados hacia el oxígeno: esto posibilita nuevas combinaciones.

La importancia del agua

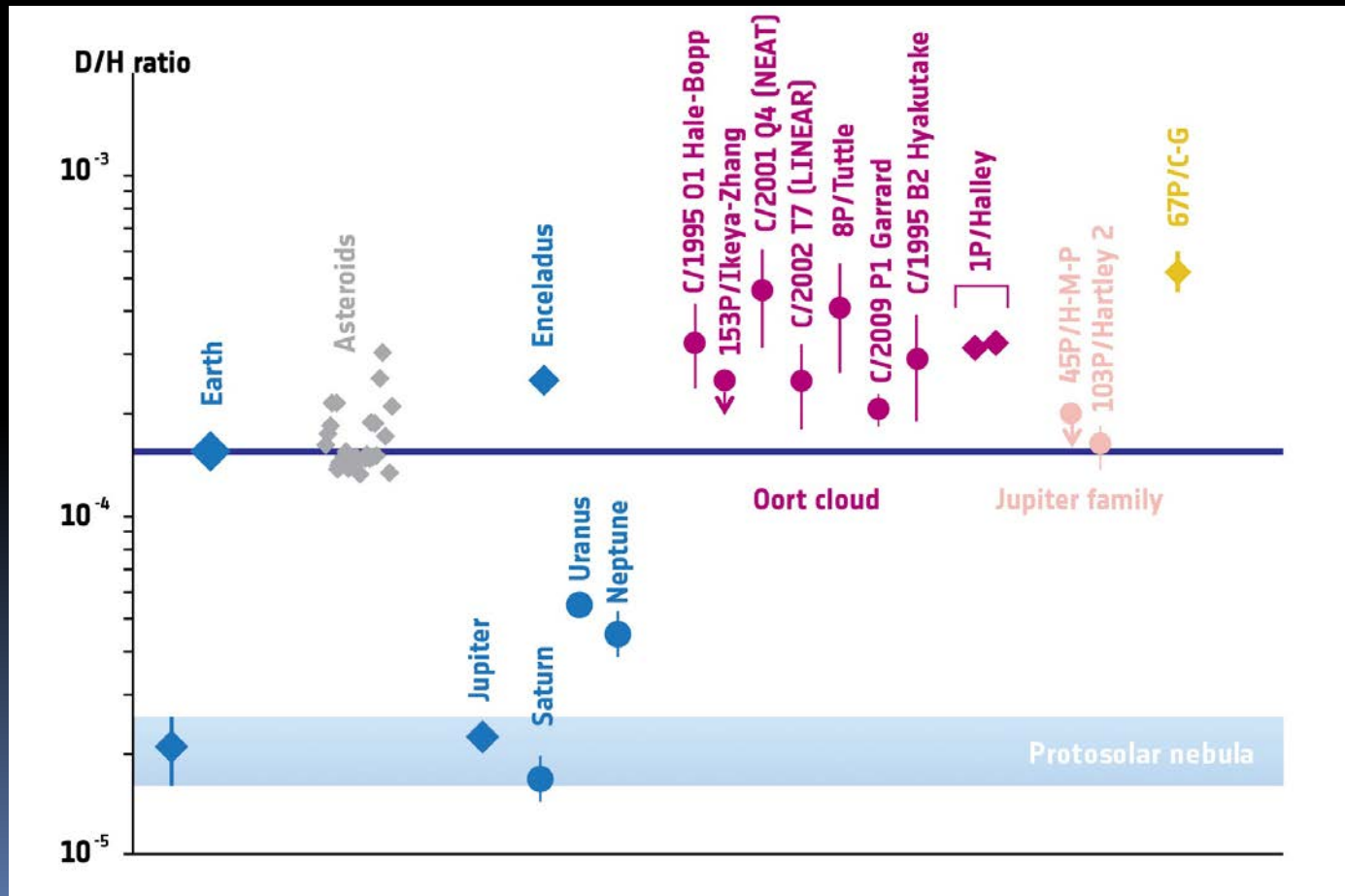
‘La búsqueda de vida comienza por la búsqueda de agua’

El agua posee una estructura única que la hace clave en el desarrollo de la vida:

- Ayuda a combinarse a la sustancias
- Está en estado líquido a temperaturas en las cuales se llevan a cabo las reacciones químicas centrales para el metabolismo.
- Ayuda a regular la temperatura, protegiendo de cambios radicales que pueden ser potencialmente peligrosos.
- El hielo de agua flota en el agua líquida permitiendo que ciertas formas de vida se desarrollen bajo su ‘protección.
- Existe un ciclo del agua que es crucial para la vida y depende de la T.
- Es el solvente universal.

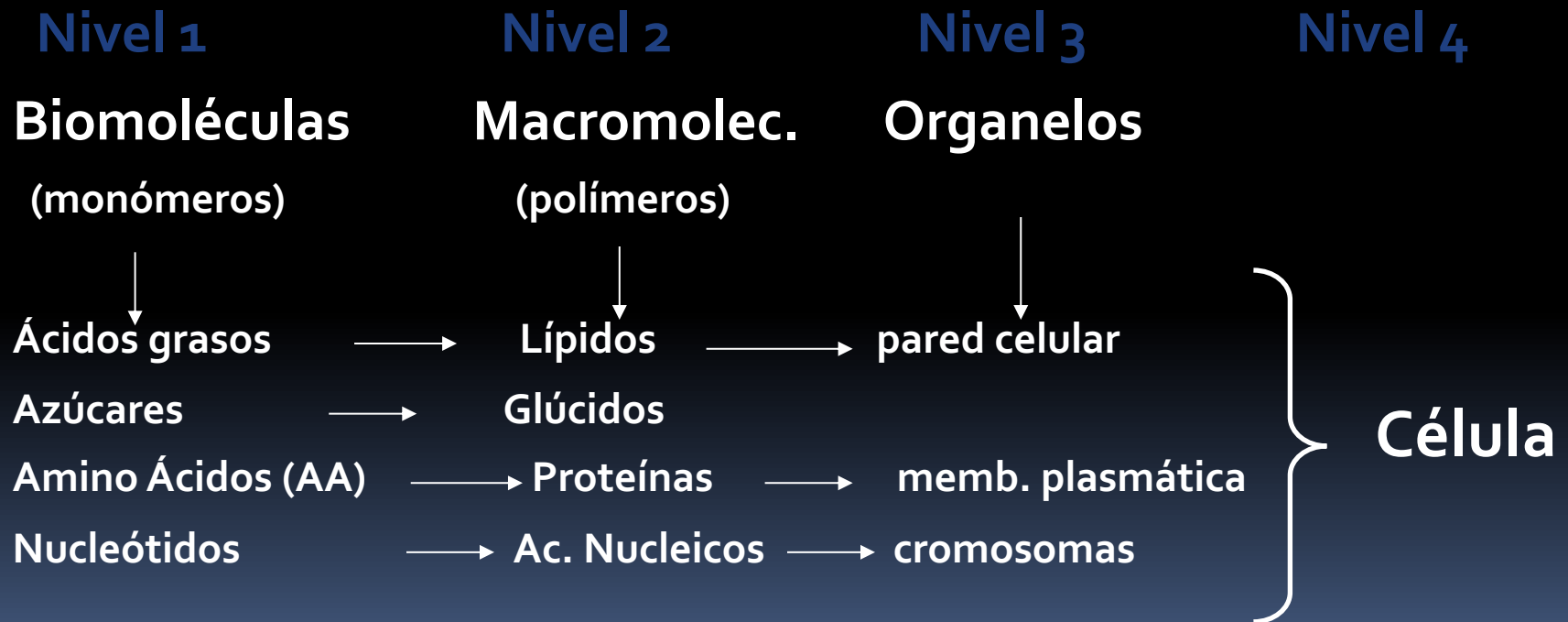
Origen cometario

- La relación D/H en objetos del Sistema solar
'the water problem'



La importancia del carbono

- Las propiedades de enlace del carbono permiten la formación de una gran diversidad de moléculas (el Silicio no tanto)
- Niveles de organización:

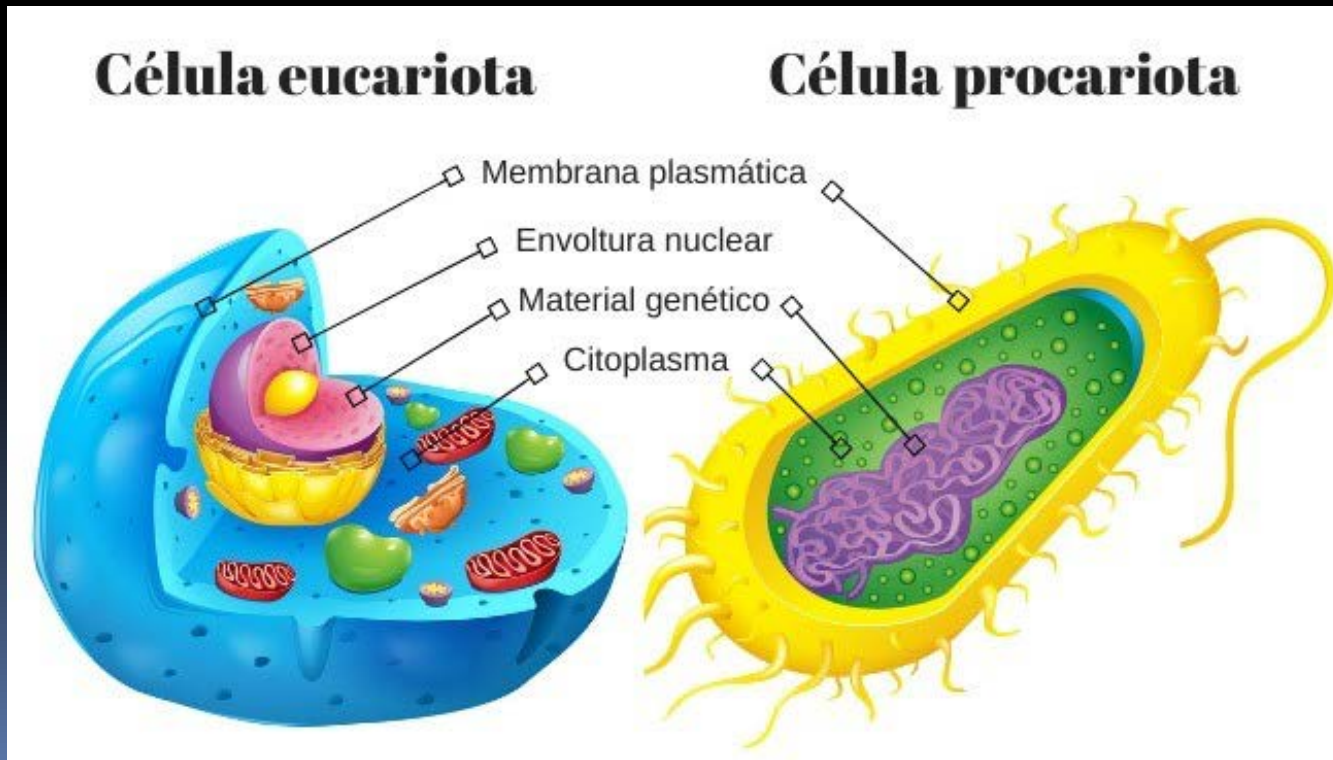


- Los 'sillares' : AA y los nucleótidos son idénticos en todos los organismos vivos !

Célula

Célula eucariota
Célula con un núcleo definido por una membrana que contiene el material genético.

Célula procariota
Célula sin núcleo definido, su material genético se encuentra disperso en el citoplasma.



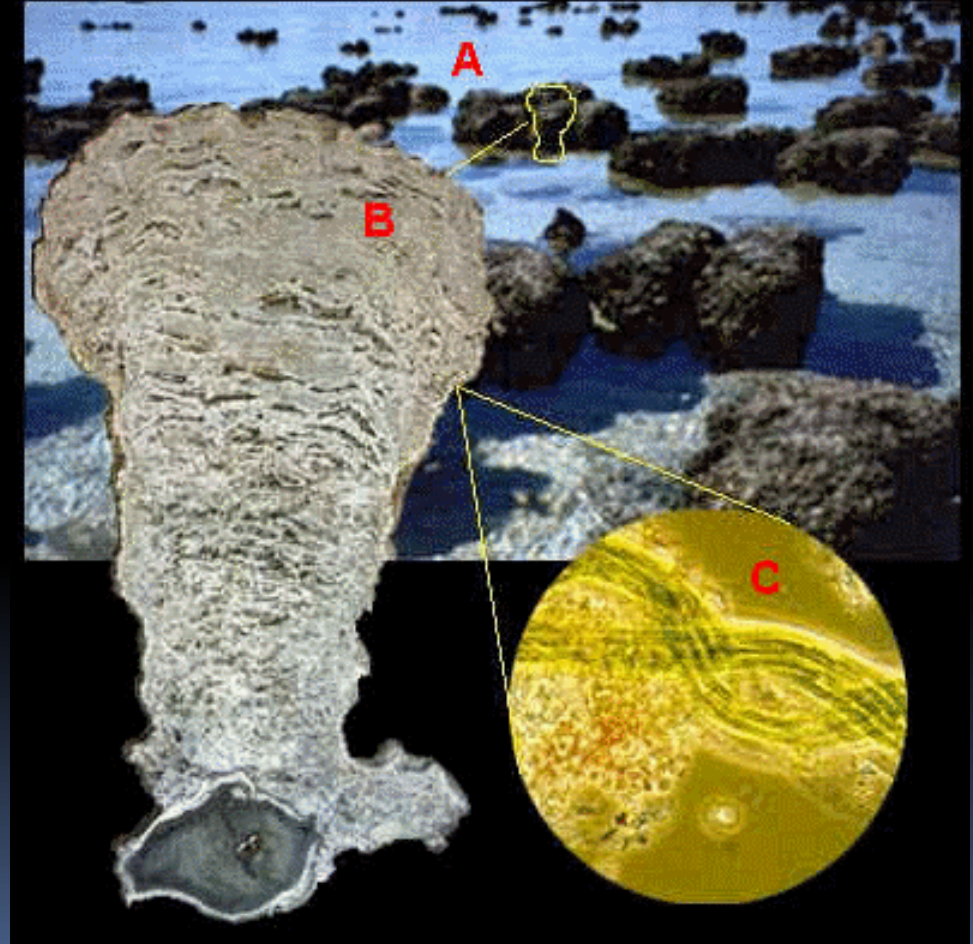
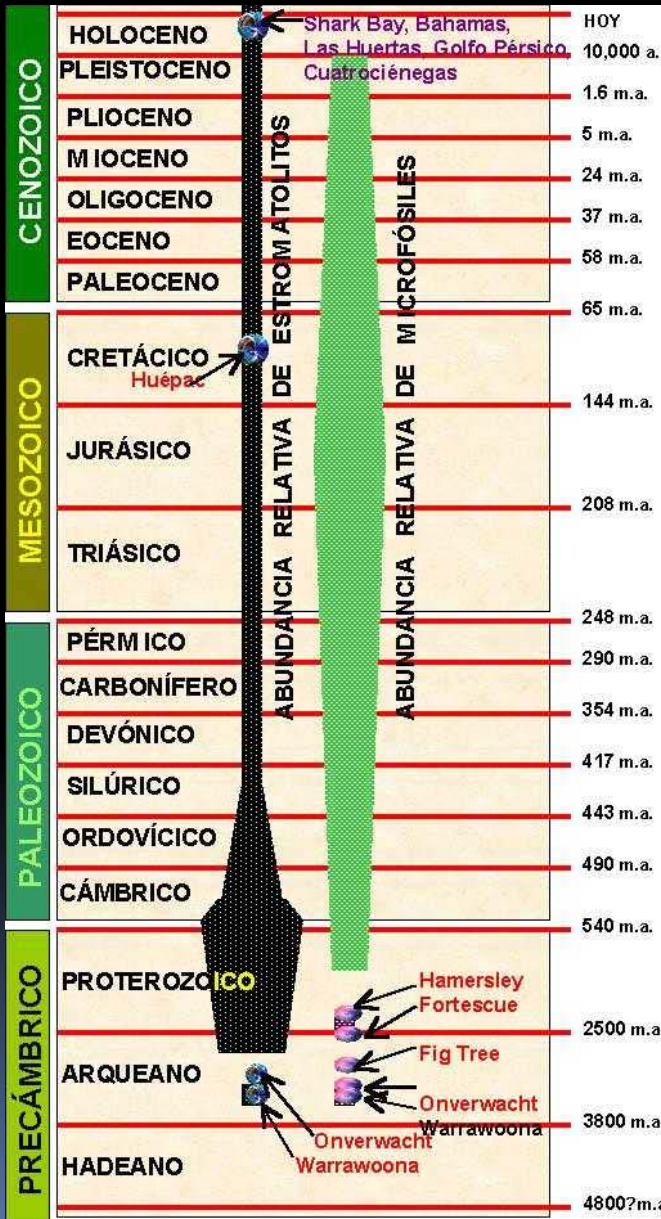
Origen de los elementos pesados

- C,N,O se forman en el interior de las estrellas (zona superior de la secuencia principal)
- Los elementos más pesados: en el interior de las SN

Vida en el Sistema Solar

- Edad del sistema Solar : 4580 millones de años
- En la Tierra en los primeros 150 Ma se dio el bombardeo primordial (recordar!)
- Hace:
 - 3800 Ma cesaron los grandes impactos sobre la Tierra
 - 3560 Ma: restos fósiles de colonias celulares:estromatolitos (Schopf, 1993)
- Hipótesis:
 - La vida surge tan pronto como tiene oportunidad
 - Mas de un surgimiento? (Maher y Stevenson, 1988)

Estromatolitos



Vida

¿Proceso endógeno o exógeno?

Hace 4600 millones de años se formó la Tierra.

Registros fósiles muestran estromatolitos de 3800 millones de años.

¿Cómo se formaron / llegaron los componentes básicos?

* S XVII - Dios crea al hombre y a los org. superiores. Gen.espontánea

* SXIX- **Pasteur** demuestra que no existe la gen. espontánea.

Darwin y Wallace: selección natural -> evolución.

Origen químico de la vida: '*en una pequeña charca caliente, con sales*

de amonio y ac. Fosfórico, luz, calor, etc...' (Darwin, correspondencia)

* S XX- **Watson y Crick:** estructura del ADN

Características del antepasado común

- Información genética (ac. nucleicos)
- Capacidad de replicarse (ejecución de instrucciones genéticas regulado por proteínas)

Semejanza entre los organismos actuales

- * Constitución orgánica compleja, basada en el carbono.
- * Proteínas (el mismo 'alfabeto' de 20 AA)
- * Ac. Nucleicos (pentosa + grupo fosfato + base nitrogenada:A,T,C,G)

Los ac. nuc. tienen información para sintetizar proteínas.

Las proteínas regulan la transcripción genética.

No es probable un origen independiente.

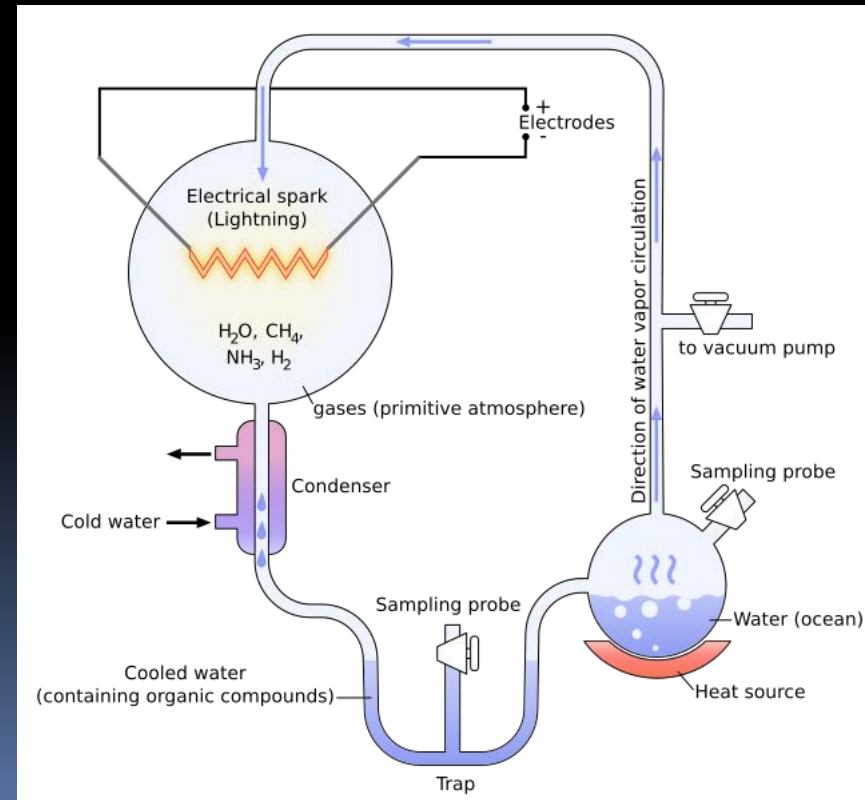
Problema del huevo y la gallina.

Experimentos Bioquímicos

Década del 30- Oparin y Haldane: con una atmósfera oxidante como la actual no pudo surgir la vida (el oxígeno capta al hidrógeno libre imposibilitando la formación de molec. orgánicas) --> atmósfera primordial reductora (rica en H y dadores : CH_4 , NH_3)

1953 - Miller y Urey diseñaron un experimento para tratar de reproducir la creación de moléculas orgánicas de interés biológico en la Tierra primitiva. Para ello utilizaron 2 matraces: en uno colocaron gases (H_2O , CH_4 , NH_3 , H_2) presumiblemente presentes en la atmósfera primitiva de la Tierra, en el otro colocaron agua que simulaba los primitivos océanos. El agua se calentaba de manera de producir vapor de agua que pasaba al otro matraz. En el matraz de los gases se producían chispas que simulaban relámpagos en la atmósfera primitiva. Esta fuente de energía producía moléculas orgánicas complejas que se diluían en el agua. Pudieron identificar 11 de los 20 aminoácidos que componen las proteínas de los seres vivos.

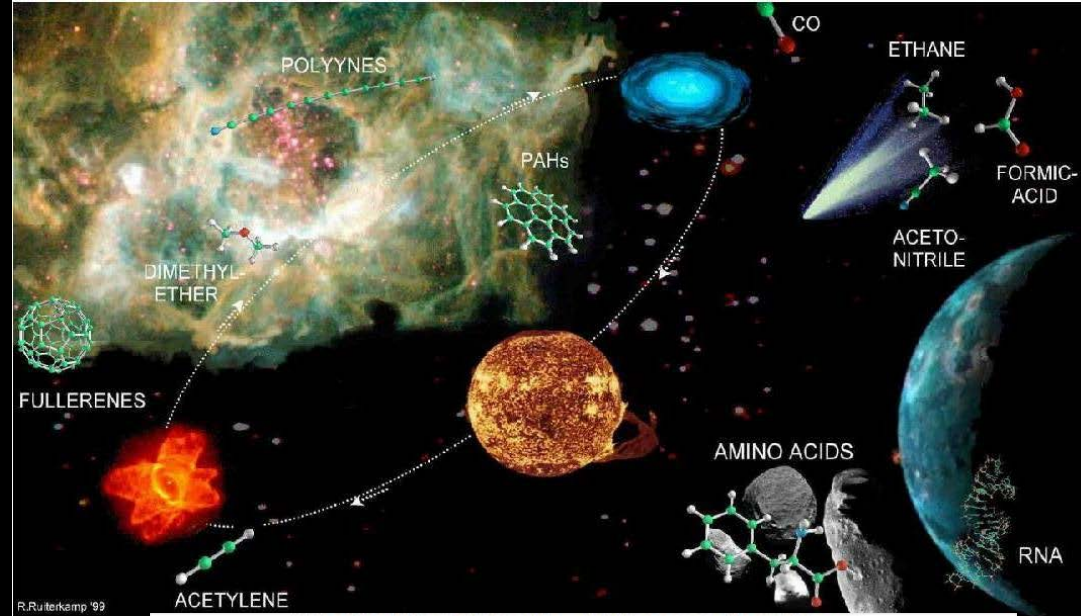
**Modelo atmosférico erróneo
(en realidad CO_2 y N_2)**



La vida como proceso exógeno

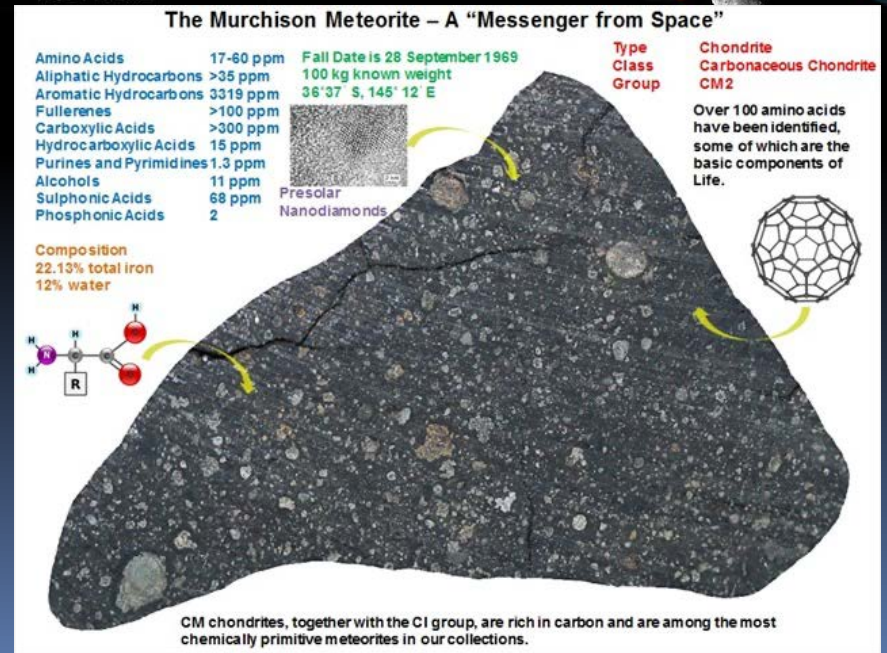
- En regiones de formación estelar se encontraron:

- agua
- amoníaco
- formaldehído
- cianuro de hidrógeno



- En meteoros carbonáceos se encontraron:

- AA
- bases purínicas : A, G



CM chondrites, together with the CI group, are rich in carbon and are among the most chemically primitive meteorites in our collections.

Panspermia

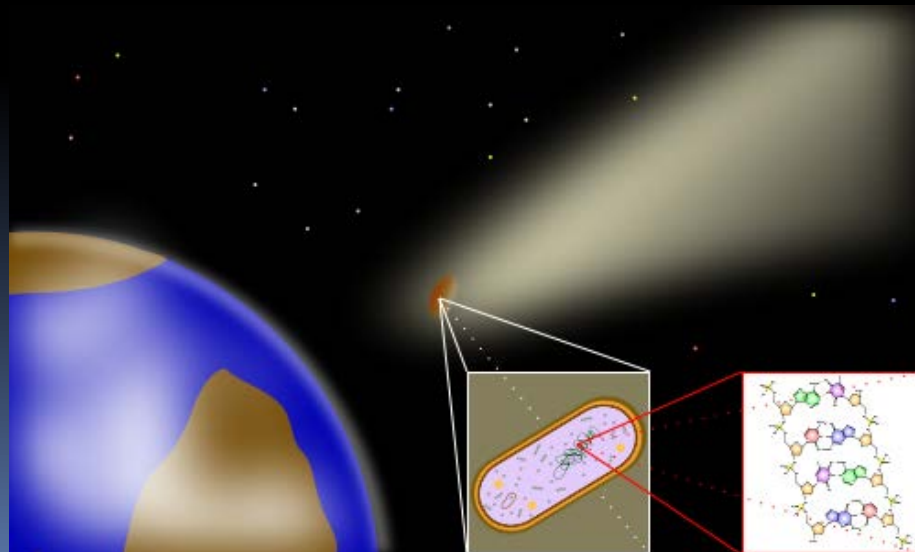
Del gr. mezcla de semillas de todas especies.

Doctrina que sostiene hallarse difundidos por todas partes gérmenes de seres organizados que no se desarrollan hasta encontrar circunstancias favorables para ello.

El químico sueco Svante Arrhenius desarrolló esta teoría en 1903 asumiendo que las esporas podrían propagarse en el espacio interestelar por la presión de la radiación.

La radiación UV podría ser letal para su supervivencia en los largos viajes entre las estrellas.

Alternativa: transporte de microorganismos en el interior de cometas, asteroides y meteoroides.



El rol de los impactos

- La Luna es un buen indicador de la tasa de impactos en la Tierra a lo largo del tiempo por la ausencia de atmósfera.
- Fuentes de proyectiles:
 - restos de acreción (Material Refractario)
 - bombardeo primitivo
 - limpieza de remanentes
 - cinturón de asteroides (interno) (Material Refractario)
 - cinturón de asteroides (externo) (Hielos)
 - Región J - U (Hielos)
 - Cinturón transneptuniano - Nube de Oort (Hielos)

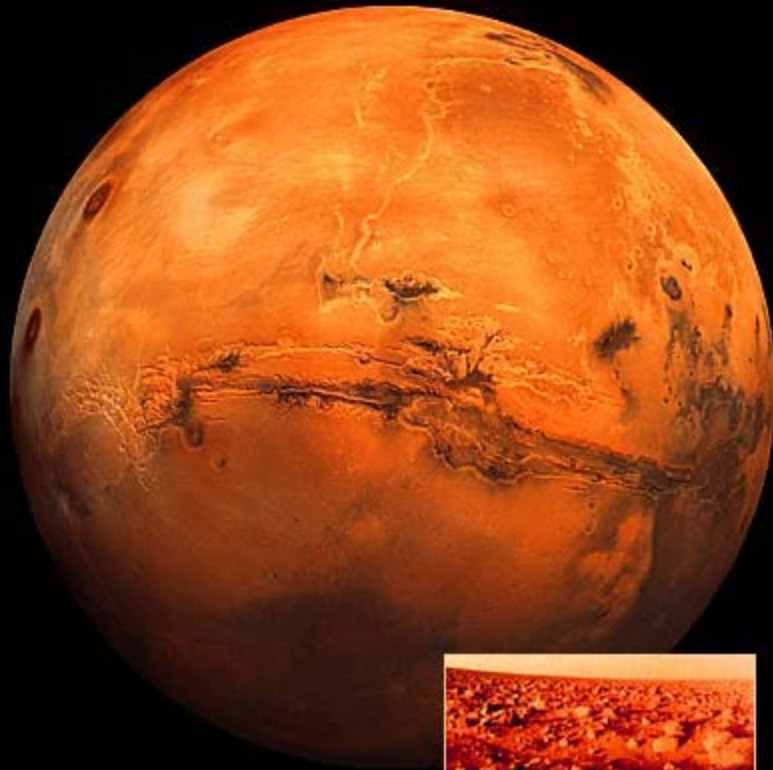
Aspecto 'negativo' de los impactos (extinciones biológicas masivas)

Vida en el Sistema Solar

La vida en condiciones extremas.

- Se denominan extremófilos los organismos que viven en la Tierra en condiciones extremas de: temperatura, presión, salinidad, acidez, energía no lumínica, etc...
- Se estudian estos organismos para ver la posible adaptación de formas de vida en condiciones diferentes a las estándar en la Tierra.
- Ejemplos:
 - Procariotas (sin núcleo): archea, bacterias, algas cianofíceas
 - Eucariotas (con núcleo).

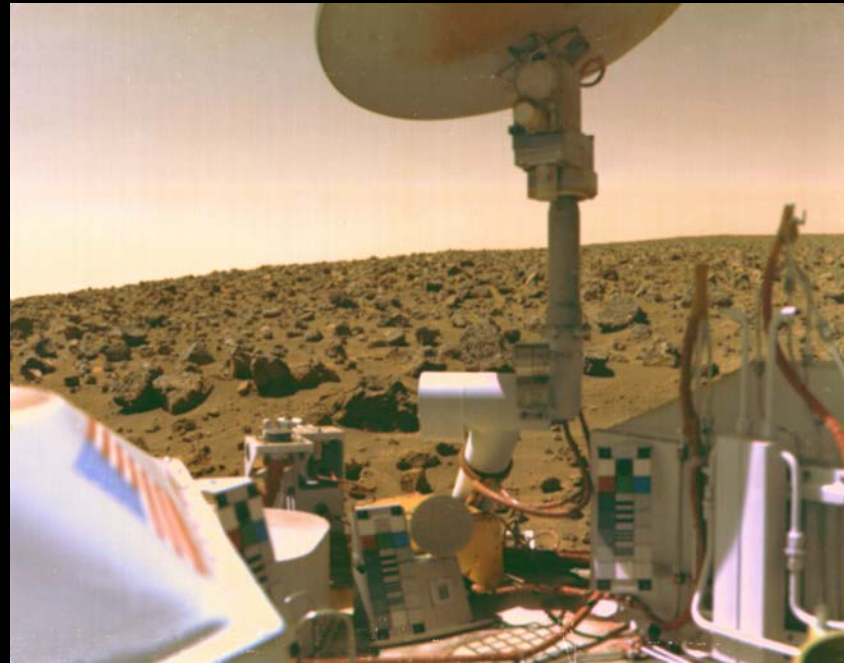
MARTE



Mariner Valley (4000 km)
desde la sonda Viking.

Misiones Viking (1976)

búsqueda de vida microbiana
en la superficie.

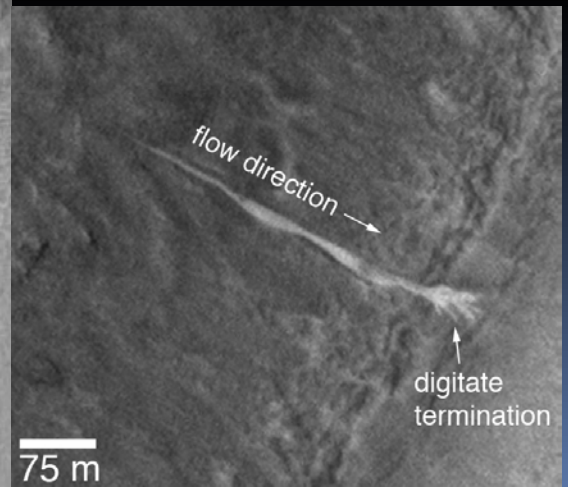


- Liberación pirolítica: busca procesos fotosintéticos en el suelo marciano.
- Intercambio gaseoso: busca organismos heterótrofos capaces de consumir materia orgánica.
- Búsqueda de moléculas orgánicas. Falsa alarma. ¿Contaminación?

Agua en Marte



Lechos de ríos pasados



ALH 84001

ALH84001,0



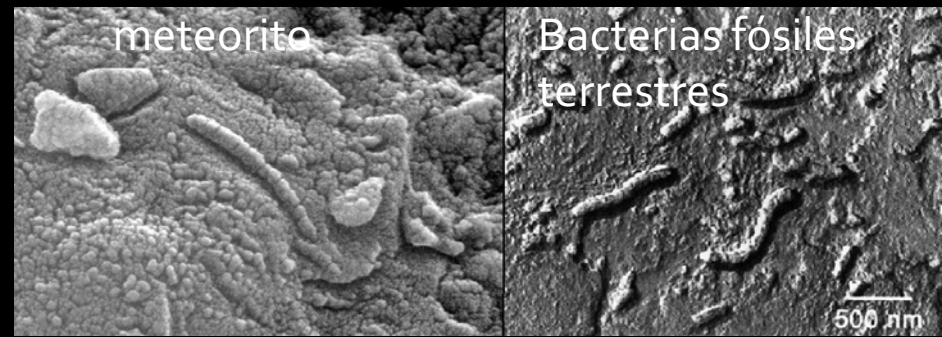
Meteorito descubierto en 1984 en la Antártida en la región de Alan Hills

Imagen con microscopio electrónico reveló estructuras en cadena que se asemejan a organismos vivos en el interior de meteorito ALH84001



¿Arqueobacterias?

(McKay et al. 1996, Nature)

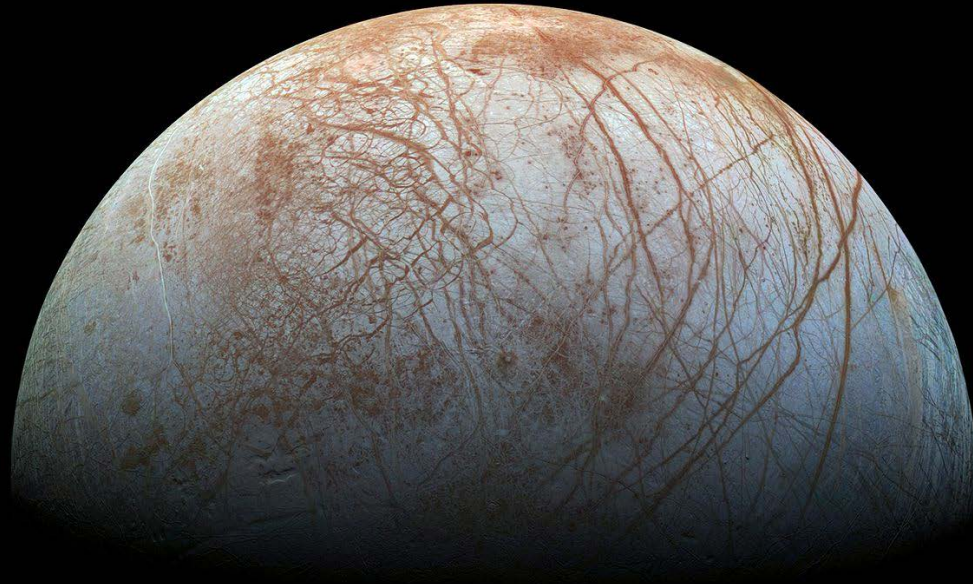


- Argumentos a favor de fósiles orgánicos:
 - presencia en los depósitos de carbonatos de materia orgánica compleja (hidrocarburos policíclicos aromáticos)
 - cristales de magnetita muy puros (lo utilizan las bacterias para orientarse)
 - minerales de óxido de hierro y sulfuro de hierro
 - estructuras similares a bacterias terrestres
- Evidencias en contra:
 - espesor de las 'estructuras sospechosas' = 1 décima de micra
 - las bacterias terrestres tienen un orden de magnitud superior
 - hay espacio físico para el material genético?

Mayoría de la comunidad cuestiona el hallazgo

Satélites helados

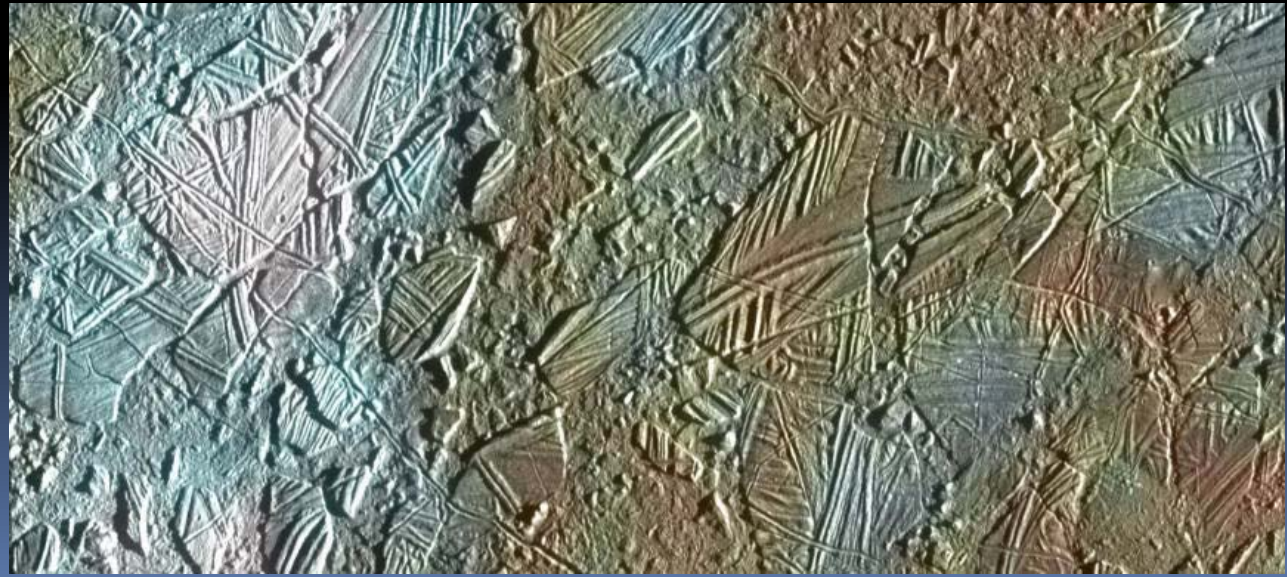
- Objeto rocoso con corteza exterior de hielo.
- No tiene atmósfera, por lo que se esperarían estructuras debido a impactos: cráteres.
- Sin embargo, la superficie es lisa, con estructuras tipo estrías.
- Explicación: las fuerzas de marea de Júpiter ('tironeos gravitatorios') generan calor en el interior, que derrite el hielo y este emerge a la superficie.
- Las grietas se deben a surgientes de agua caliente y ésta alisa la superficie.
- **¿Océano salado de 100 km de espesor?**



Europa

satélite de
Júpiter

Océano salado bajo la
superficie de Europa




Misiones a satélites de Júpiter

ESA


JUperiter ICy moons Explorer (JUICE) investigating the Jovian system

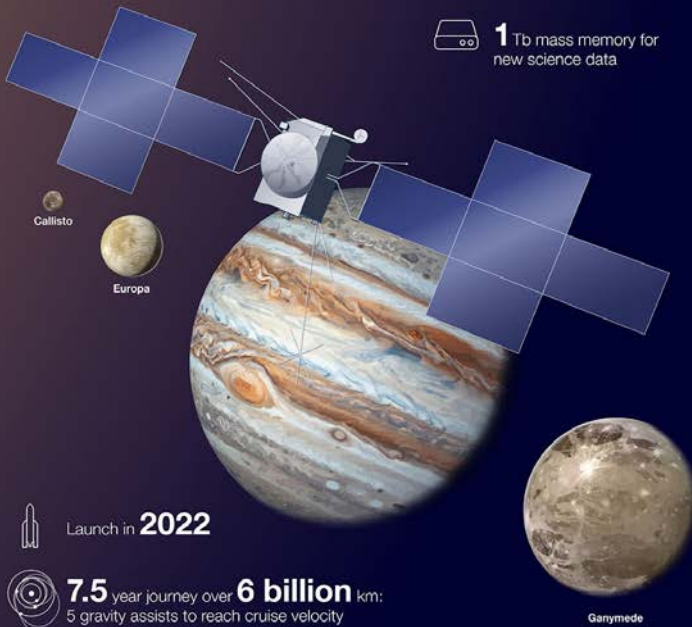
1st large mission in the European Space Agency's Cosmic Vision programme

1st European mission to Jupiter focusing on its icy moons and evaluating the emergence of potentially habitable worlds


 **10** instruments covering a wide range of measurement techniques


 **85** m² solar array – the largest ever built for an interplanetary mission

 **1** Tb mass memory for new science data



 Launch in **2022**

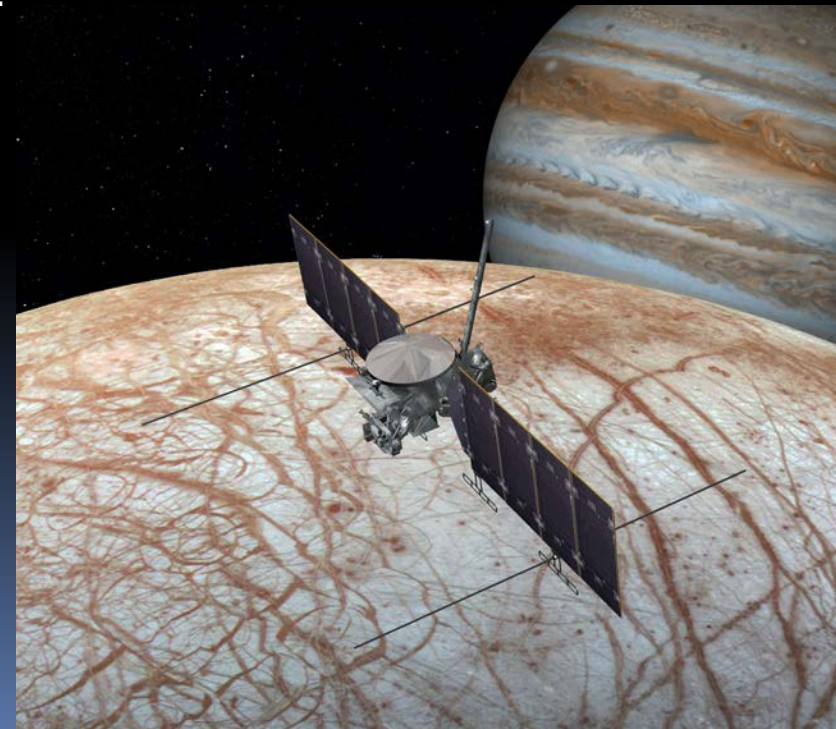
 **7.5** year journey over **6 billion** km:
5 gravity assists to reach cruise velocity

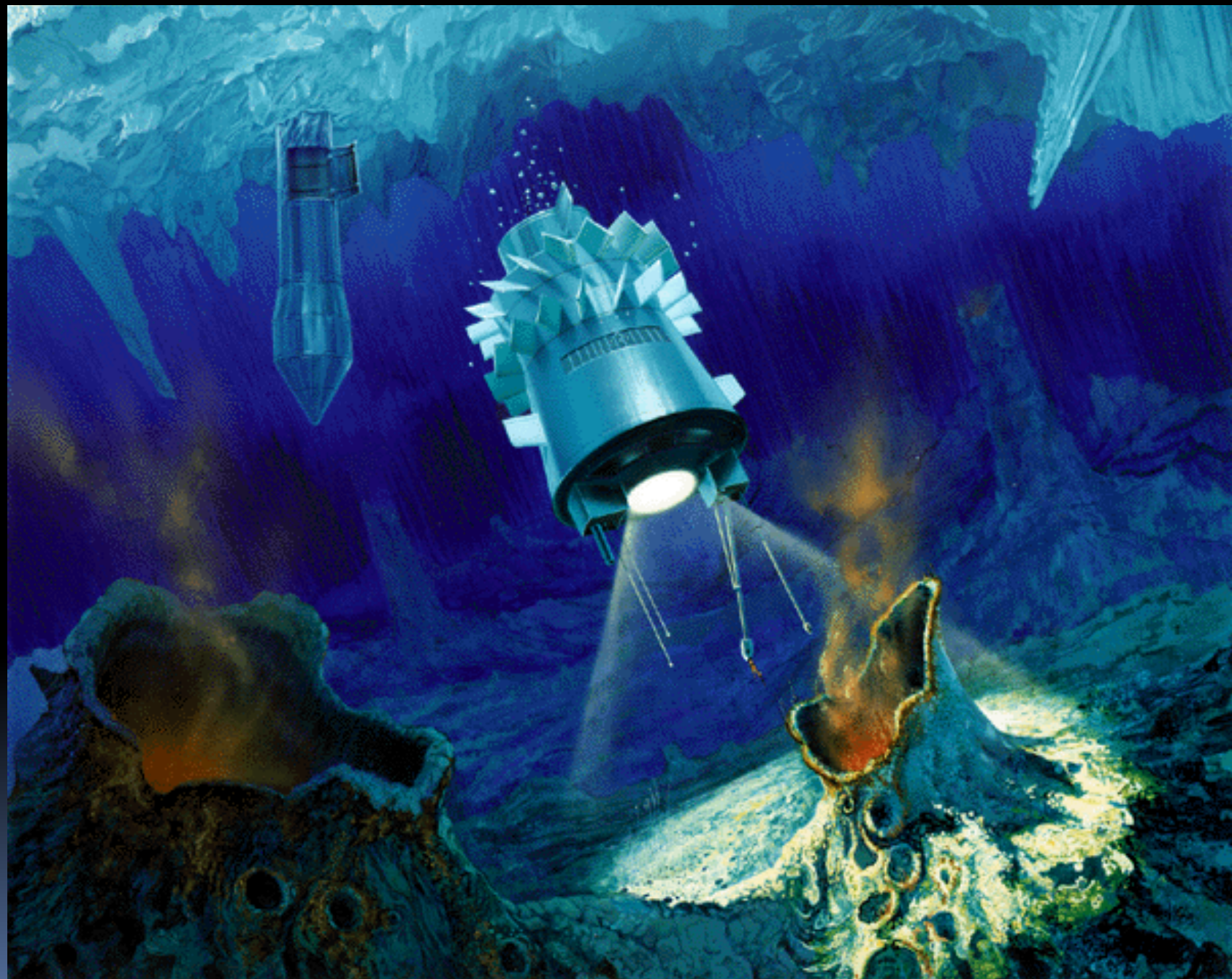
 **3.5** years touring the Jovian system, incl.
9 months around Ganymede

 **5.2** tonne launch mass

AIRBUS

NASA's Europa Clipper (2023) will conduct detailed reconnaissance of Jupiter's moon Europa and investigate whether the icy moon could harbor conditions suitable for life.

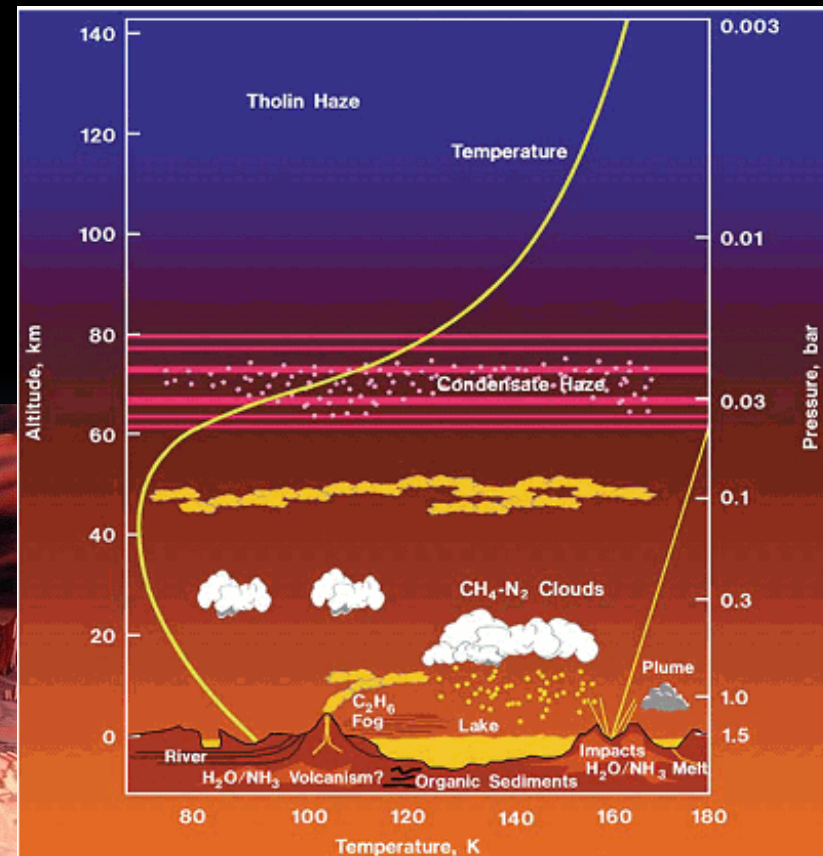




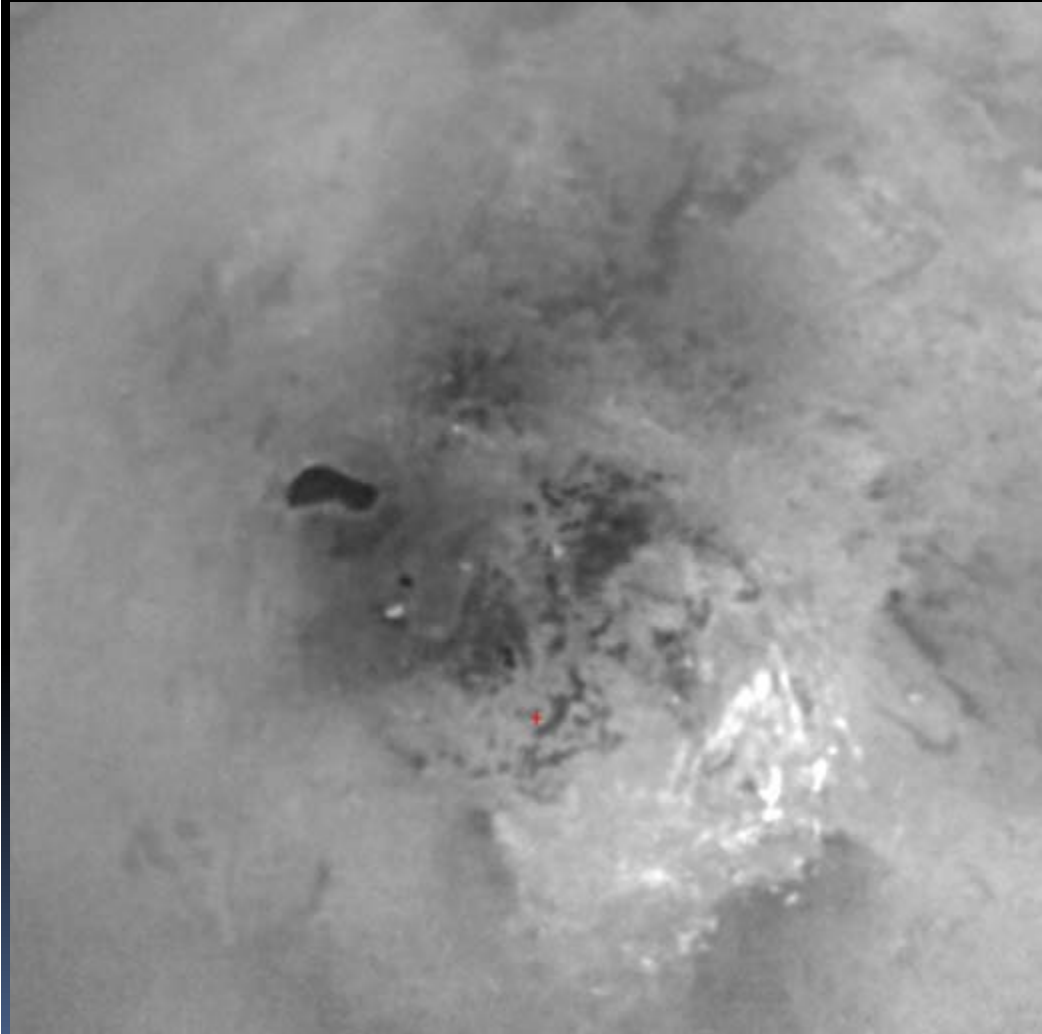
Huygens probe

Titan

2004 ESA



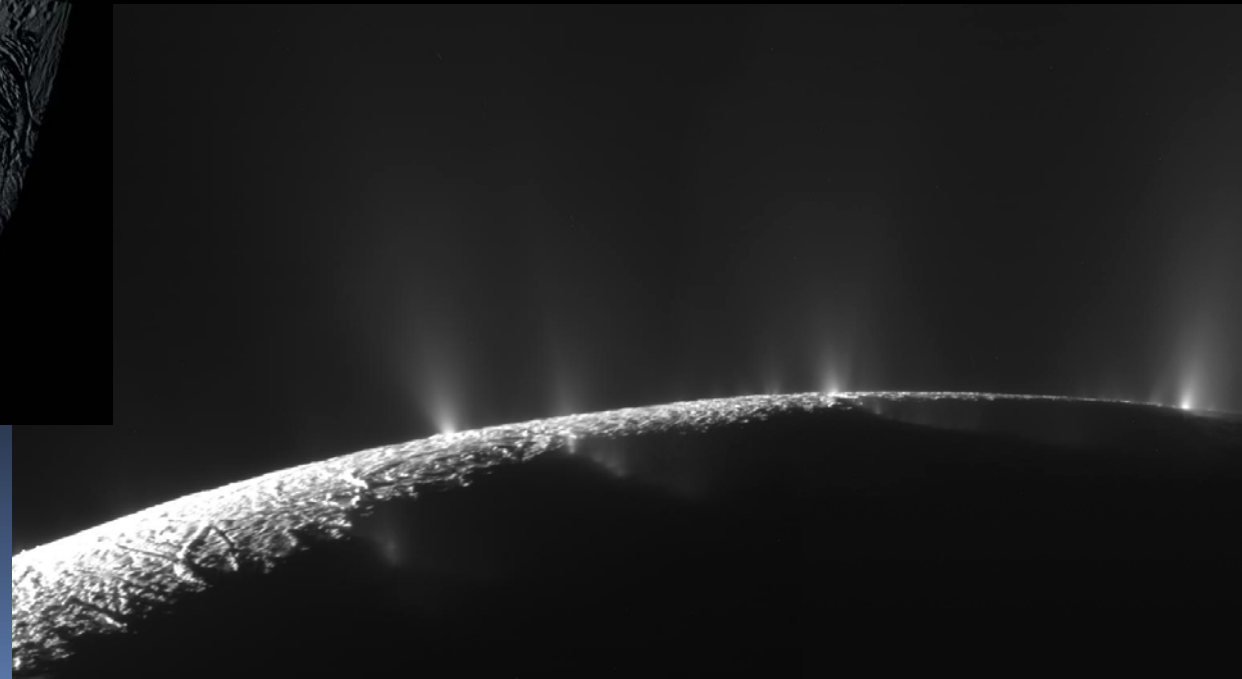
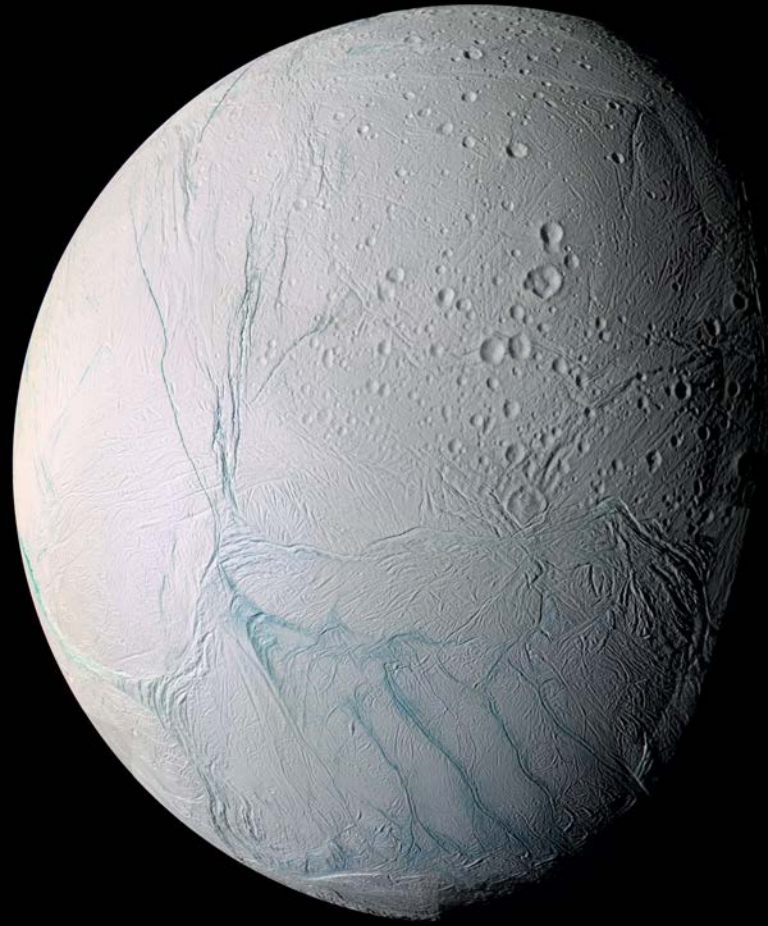
Images of Titan surface



Titan como modelo de la Tierra primitiva.

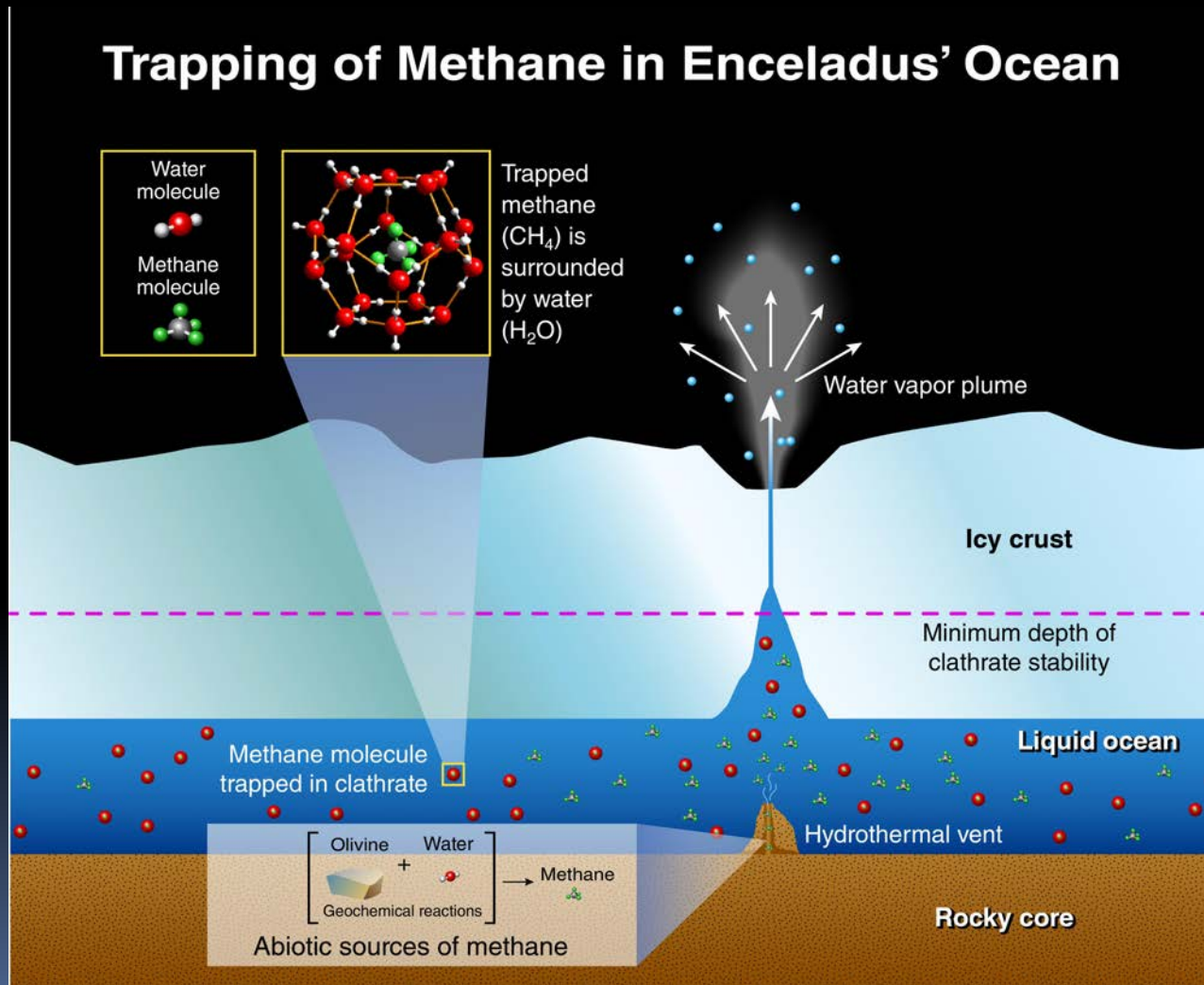
- ¿ La atmósfera mas intrigante del SS ?
- Mas espesa y densa que la de la Tierra.
- Compuesta por nitrógeno, argon y metano.
- Muy bajas temperaturas, difícil para la vida, pero sí condiciones prebióticas
- Presencia de lagunas o lagos de CH₄ e hidrocarburos

Enceladus ice plumes



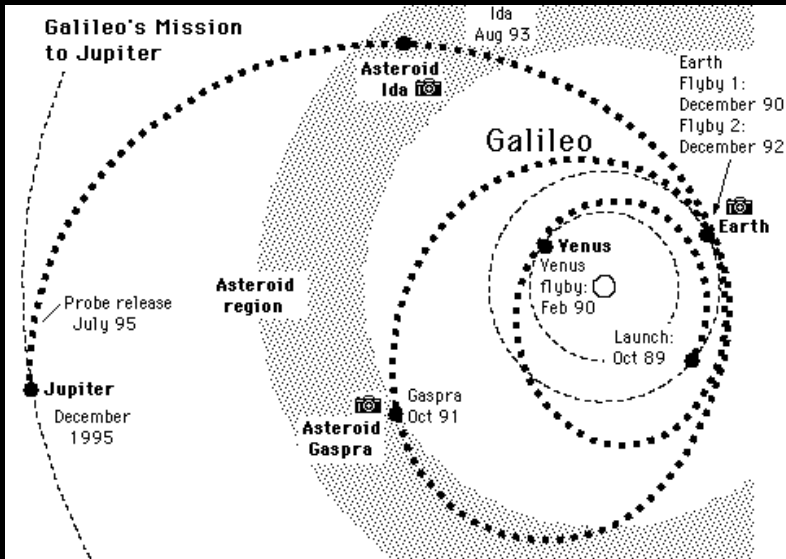
Enceladus

Trapping of Methane in Enceladus' Ocean



Hay vida en la Tierra?

Experimento de C. Sagan con el flyby de la sonda Galileo



El astrónomo Carl Sagan , ideó una serie de experimentos a finales de la década de 1980 utilizando los instrumentos de teledetección de Galileo durante el primer sobrevuelo terrestre de la misión en diciembre de 1990. Después de la adquisición y procesamiento de datos, Sagan publicó un artículo en Nature en 1993 detallando los resultados del experimento. Galileo había encontrado lo que ahora se conoce como los "criterios de Sagan para la vida".

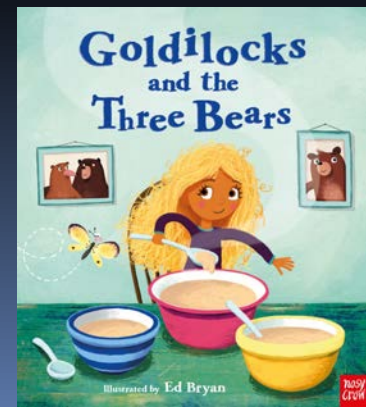


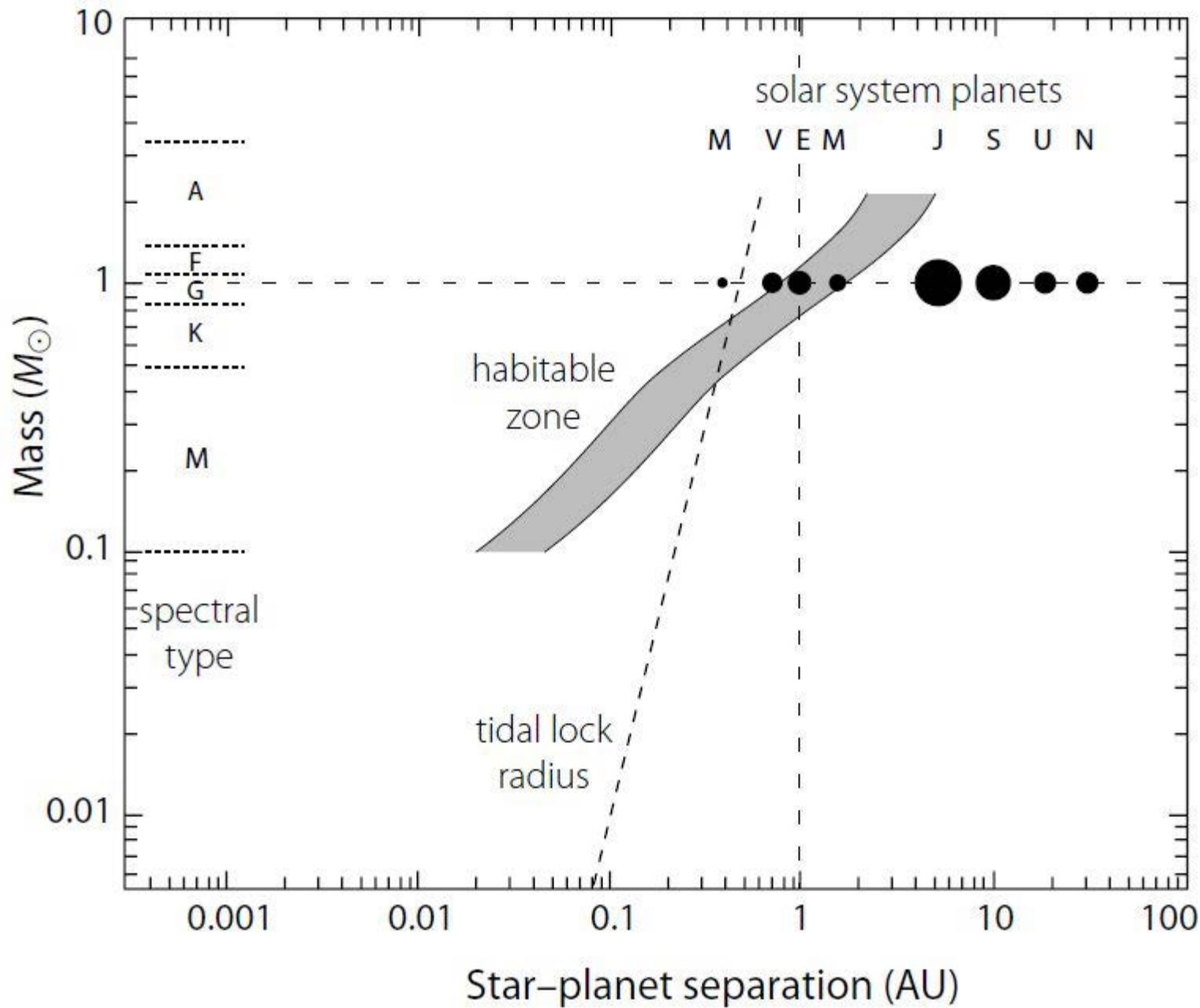
VIDA EN OTROS SISTEMAS PLANETARIOS

Zona de Habitabilidad

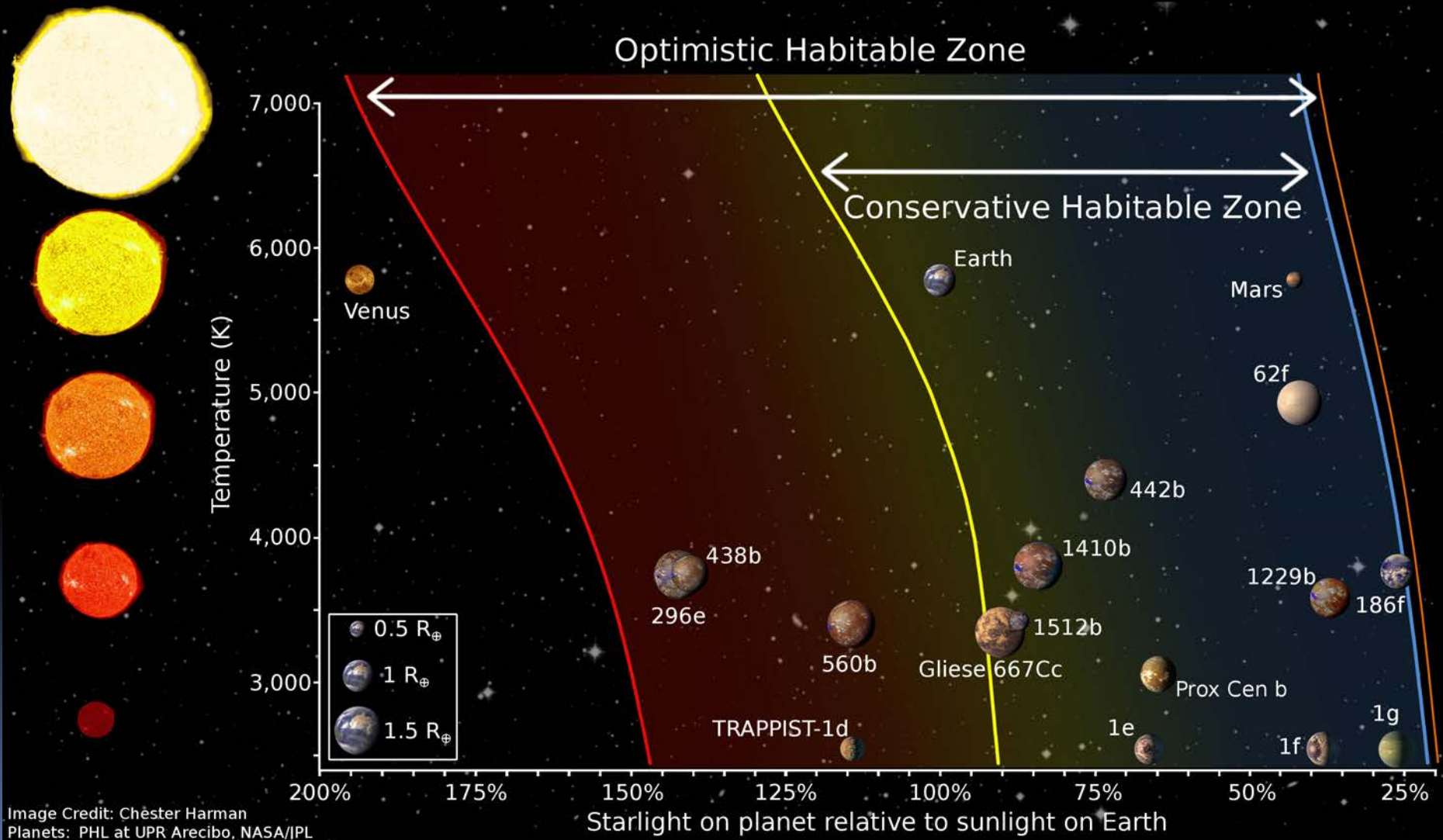
- La zona habitable alrededor de una estrella es la región donde la temperatura es la correcta para permitir que exista agua líquida en un planeta; es decir, no demasiado cerca de la estrella para que el agua se evapore y no demasiado lejos de la estrella para que el agua se congele. El calor producido por las estrellas varía según el tamaño y la edad de la estrella, por lo que la zona habitable puede estar a diferentes distancias. Además, las condiciones atmosféricas del planeta influyen en la capacidad del planeta para retener el calor, por lo que la ubicación de la zona habitable también es específica para cada tipo de planeta.
- Las zonas habitables generalmente se han definido en términos de temperatura superficial; sin embargo, más de la mitad de la biomasa de la Tierra proviene de microbios del subsuelo, y la temperatura aumenta a medida que se profundiza, por lo que el subsuelo puede ser propicio para la vida cuando la superficie está congelada y, si se considera esto, la zona habitable se extiende mucho más lejos de la estrella. .

Habitable zone
Goldilocks Zone

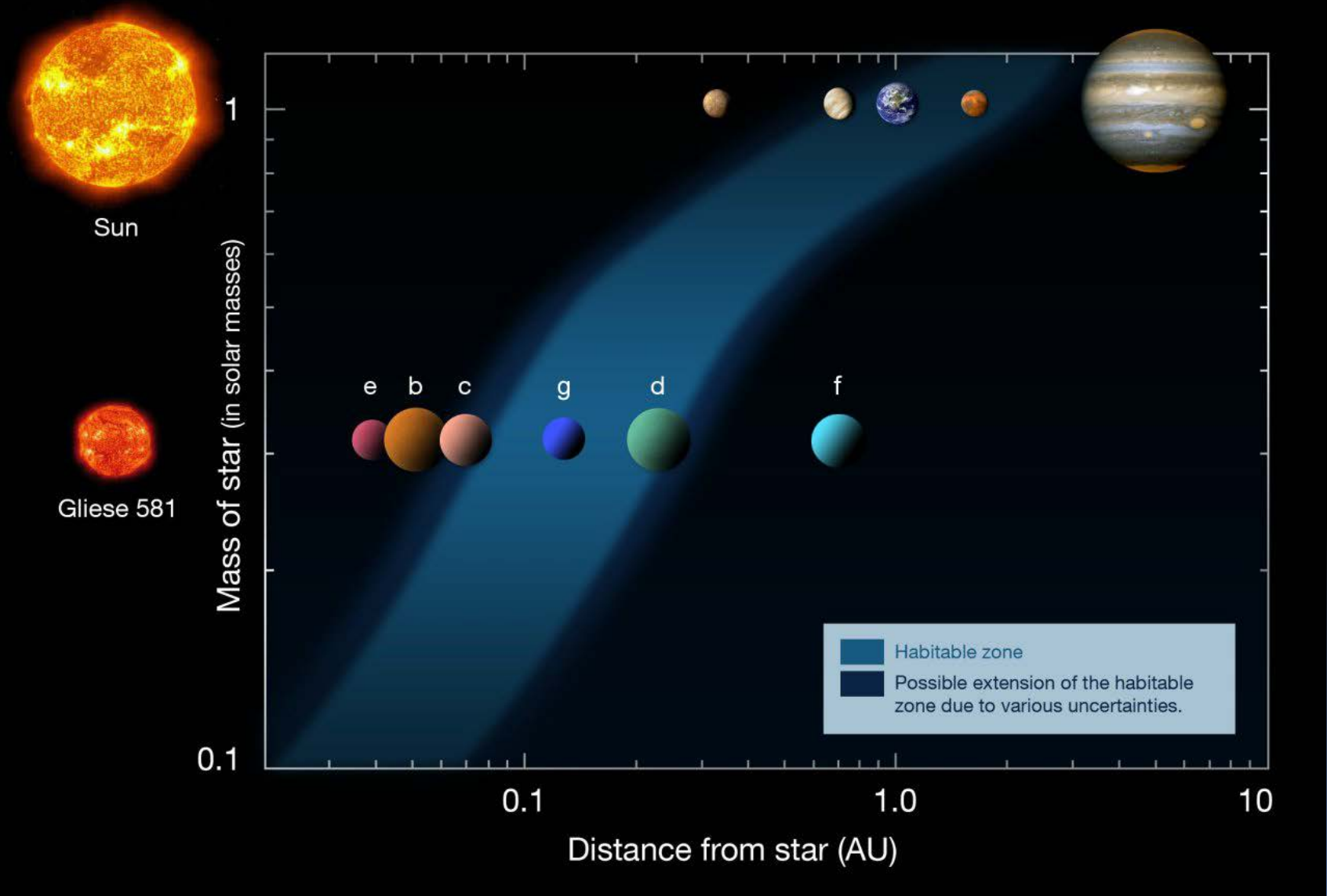




Zona de Habitabilidad en sistemas planetarios



Zona de Habitabilidad en sistemas planetarios



¿ESTAMOS SOLOS?

La ecuación de Drake

* En 1961 el astrónomo Frank Drake planteó la pregunta de cuántas civilizaciones tecnológicamente avanzadas podrían existir en nuestra galaxia mediante la siguiente ecuación:

$$N = n_* \times f_p \times n_h \times f_v \times f_i \times f_t \times \tau$$

N : número de civilizaciones de nuestra galaxia.

n_* : número de estrellas de nuestra galaxia.

f_p : fracción de estrellas que tienen planetas.

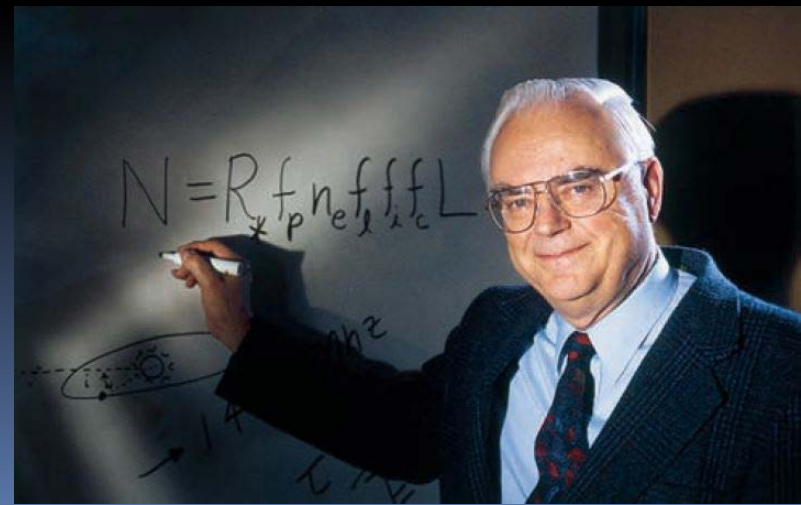
n_p : número de planetas por estrella con condiciones ambientales habitables.

f_v : fracción de planetas habitables en los cuales la vida realmente apareció.

f_i : fracción de aquellas formas de vida que evolucionan en especies inteligentes.

τ : tiempo de vida de una civilización tecnológicamente avanzada con respecto a la vida total del planeta.

¿Por qué aún no las encontramos?

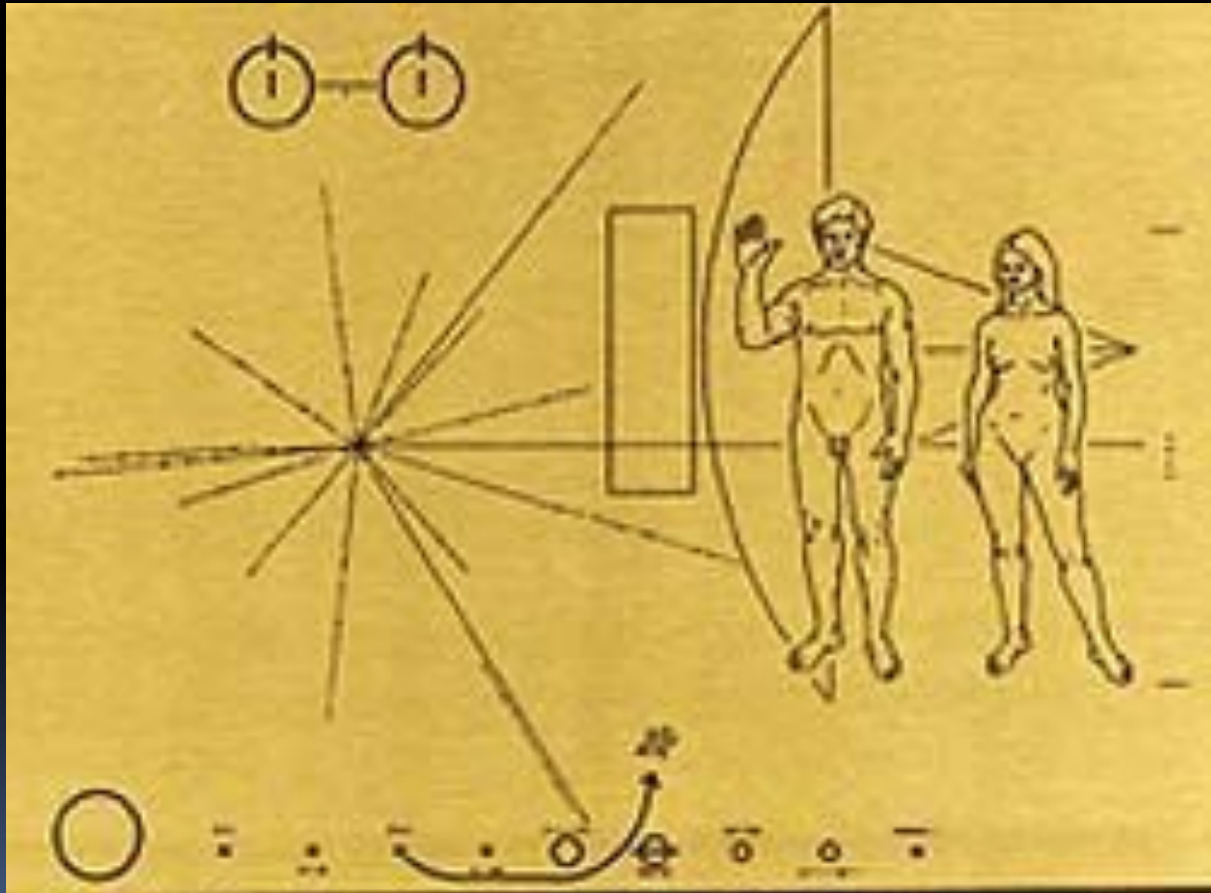


SETI:

Search ExtraTerrestrial Intelligence

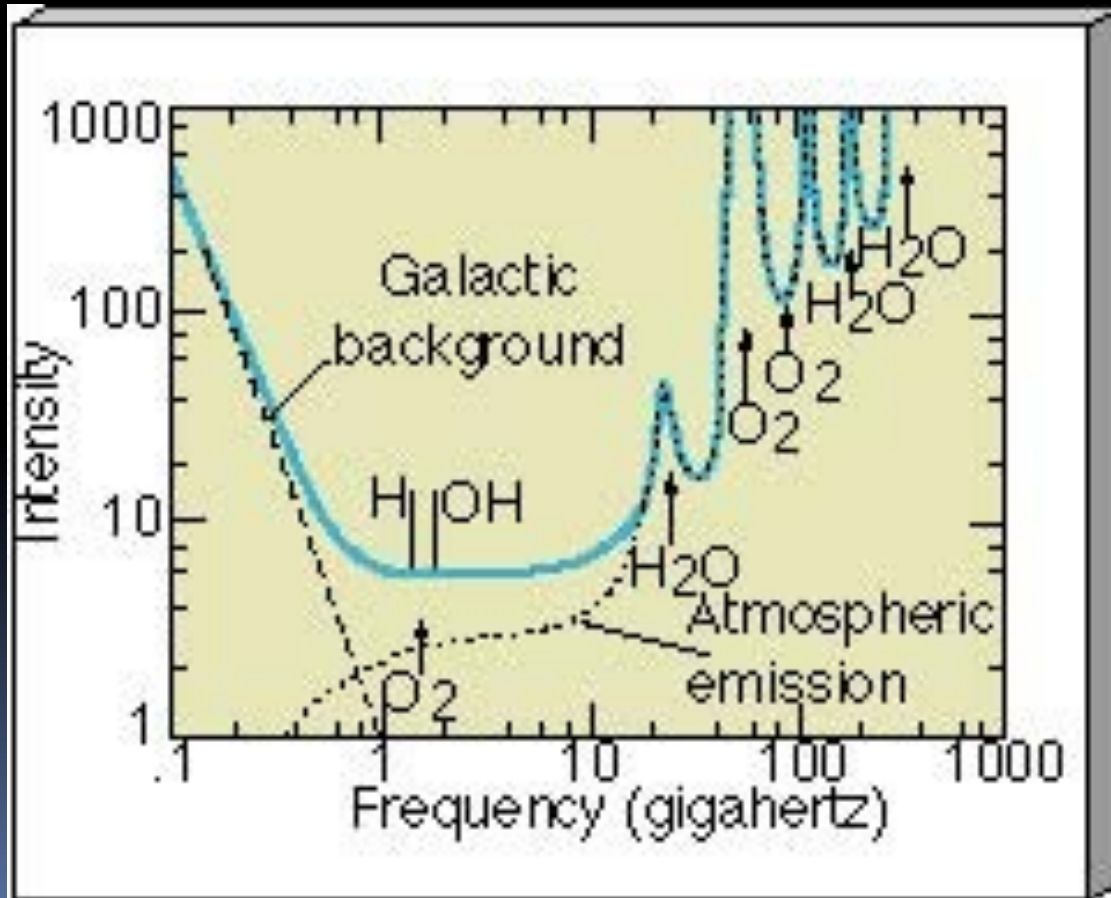
el gran silencio

Antecedentes de SETI.



Placa en la sonda Pioneer 10

- SETI busca señales de alta intensidad y muy angostas en frecuencia (de origen inteligente).
- Hasta ahora falsas alarmas, pero sin verificación.



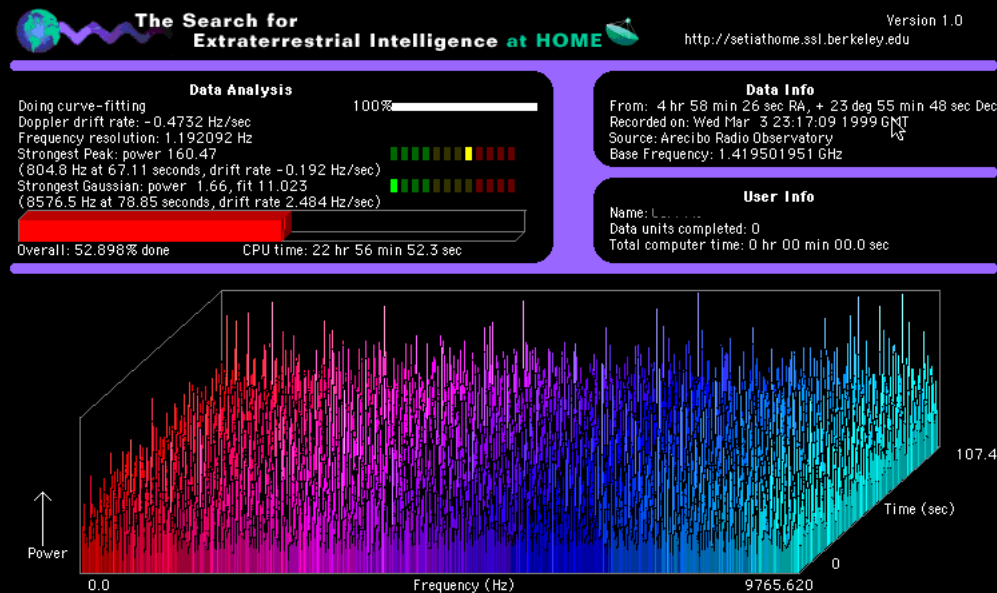
¿Donde escuchar?
El pozo de agua

Arecibo



SETI@Home – Ciencia Ciudadana

- En 1999 dos investigadores de la Universidad de California en Berkeley tuvieron una idea singular: la de crear un esfuerzo de computación distribuida para la búsqueda de vida extraterrestre inteligente. SETI@home es un proyecto que ha permitido que millones de personas contribuyan con sus ordenadores a procesar cadenas de datos en búsqueda de señales extraterrestres inteligentes.



Allen Telescope Array



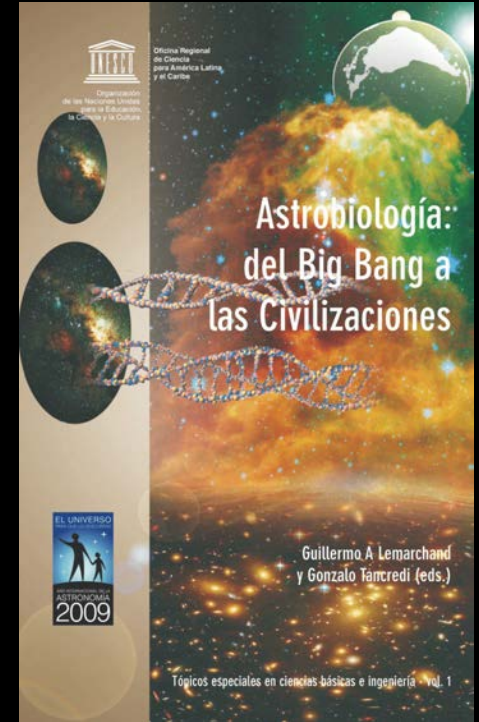
Que nos espera en las próximas décadas?

- Identificación o descarte de fósiles marcianos
- Confirmar presencia de océanos subsuperficiales
- Signos de vida en estos océanos?
- Estudio de cientos/miles de atmósferas de exoplanetas

- Hay vida fuera de la Tierra? Si o muy posiblemente no

Bibliografía

- “Astrobiología: del big bang a las civilizaciones”
Guillermo A. Lemarchand, Gonzalo Tancredi (2009)
<http://www.astronomia.edu.uy/astrobiologia2009/>



- Si Existen... ¿Dónde Están?
Julio A. Fernández

