



Vida en el Universo

Una perspectiva astronómica



Dr. Santiago Pérez Hoyos
Grupo de Ciencias Planetarias UPV/EHU



Grupo de Ciencias Planetarias
Zientzia Planetarioen Taldea

*Bizitzak ez du etsitzen
Ezpada muga latzetan
[...]*

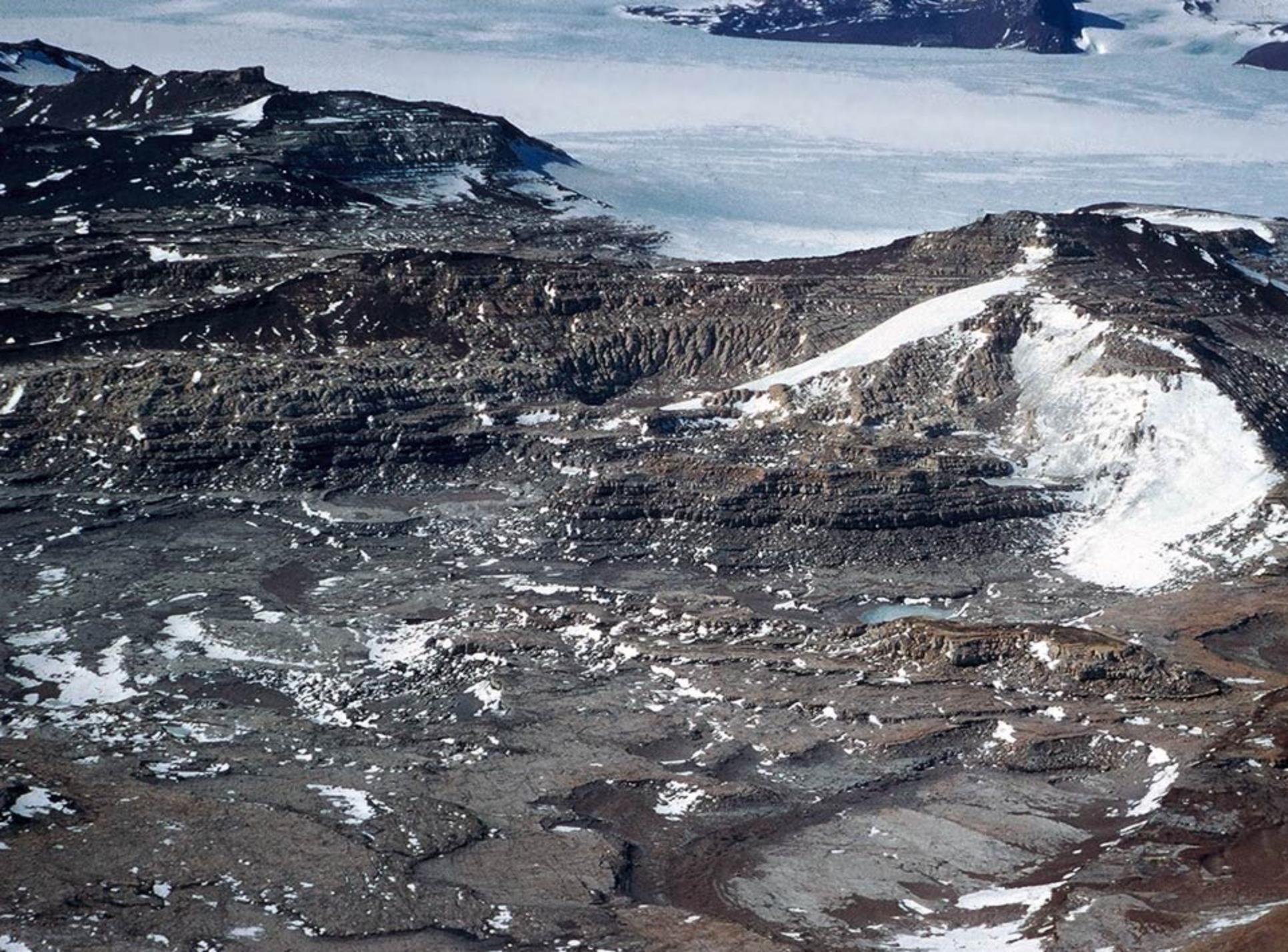
(Bernardo Atxaga)

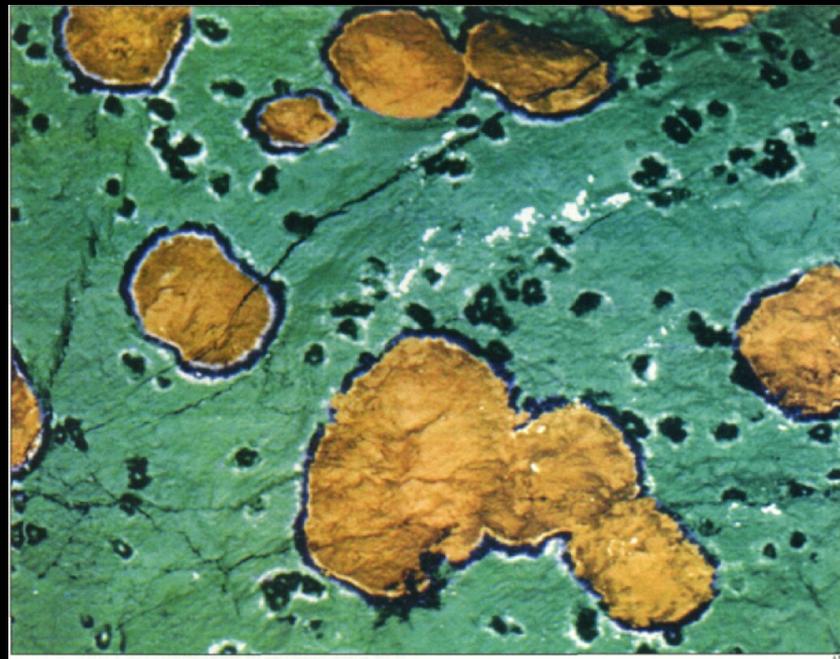
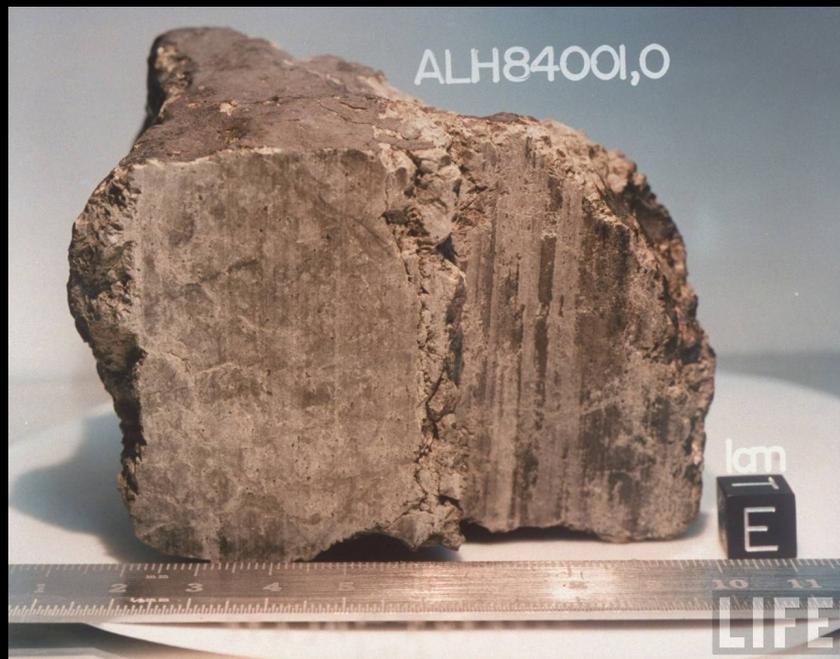
*La vida que yo veo
Anhela los extremos
confines*

[...]

(Bernardo Atxaga)







- El **7 de agosto de 1996**, David McKay y sus colaboradores del NASA Johnson Space Center anuncia que el meteorito ALH84001 recogido 12 años antes en Allen Hills (Antártida) presenta características que lo vinculan con la existencia de vida pasada en el planeta Marte.
- La azarosa vida de este meteorito de menos de 2 kg comenzó poco después de la solidificación de Marte, hace unos **3900 millones de años**, cuando sufrió algunos impactos.
- Hace unos **16 millones de años**, un último impacto arrancó la roca del planeta rojo y la dejó orbitando alrededor del Sol.
- Hace unos **13.000 años**, ALH84001 cayó en la Antártida.
- En 1984, el **Instituto Smithsonian** la recogió y catalogó con el número 1 de la campaña de aquel año.
- El equipo de McKay presentó 5 argumentos fundamentales que justifican el **origen biológico** de algunas de sus características.
- Actualmente, **no hay consenso** en la comunidad científica ni visos de poder alcanzarlo con nuestros conocimientos actuales.

A FAVOR

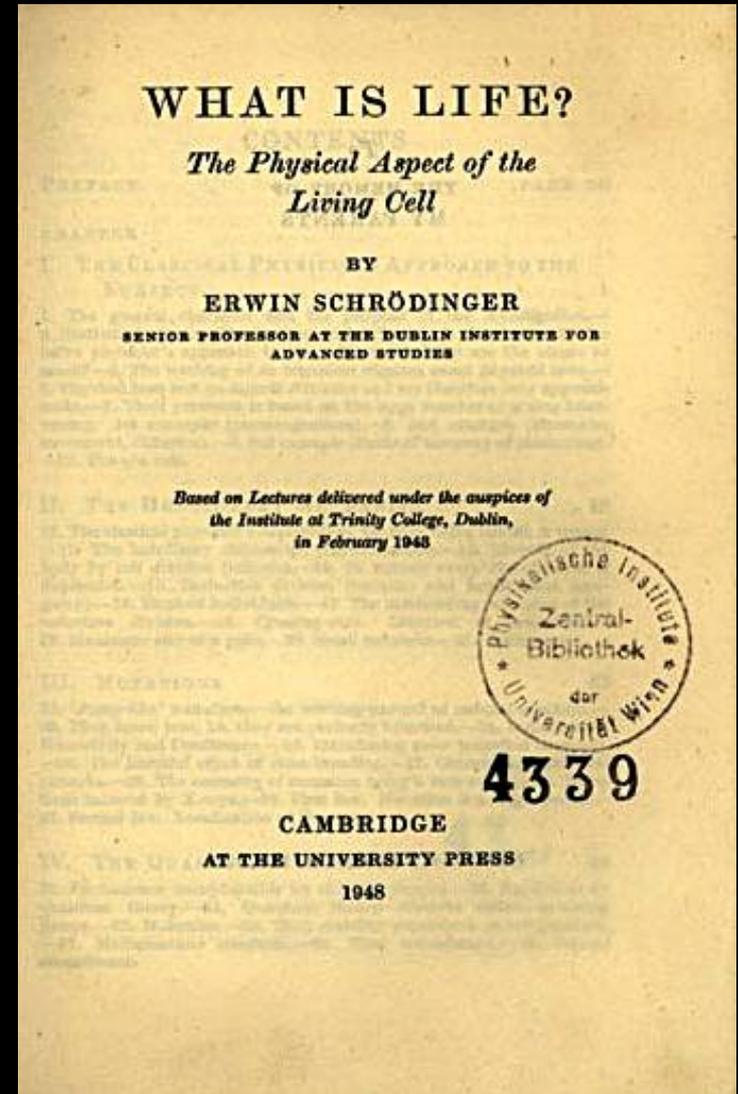
- Presencia de carbonatos en forma de **glóbulos** de forma semejante a los agregados que forman algunas bacterias terrestres.
- Estructuras que parecen ser **bacterias fosilizadas**, que recuerdan a algunas de las encontradas en nuestro planeta.
- **Cadenas de magnetitas** dentro de los glóbulos de carbonato muy similares a los magnetofósiles terrestres.
- Los carbonatos, los sulfuros de hierro y los óxidos de hierro no son estables simultáneamente exceptos en situaciones de **no-equilibrio** propiciadas por la vida.
- Hay una cantidad de **PAHs** de posible origen biótico en una cantidad muy superior a la encontrada en otros meteoritos similares.

EN CONTRA

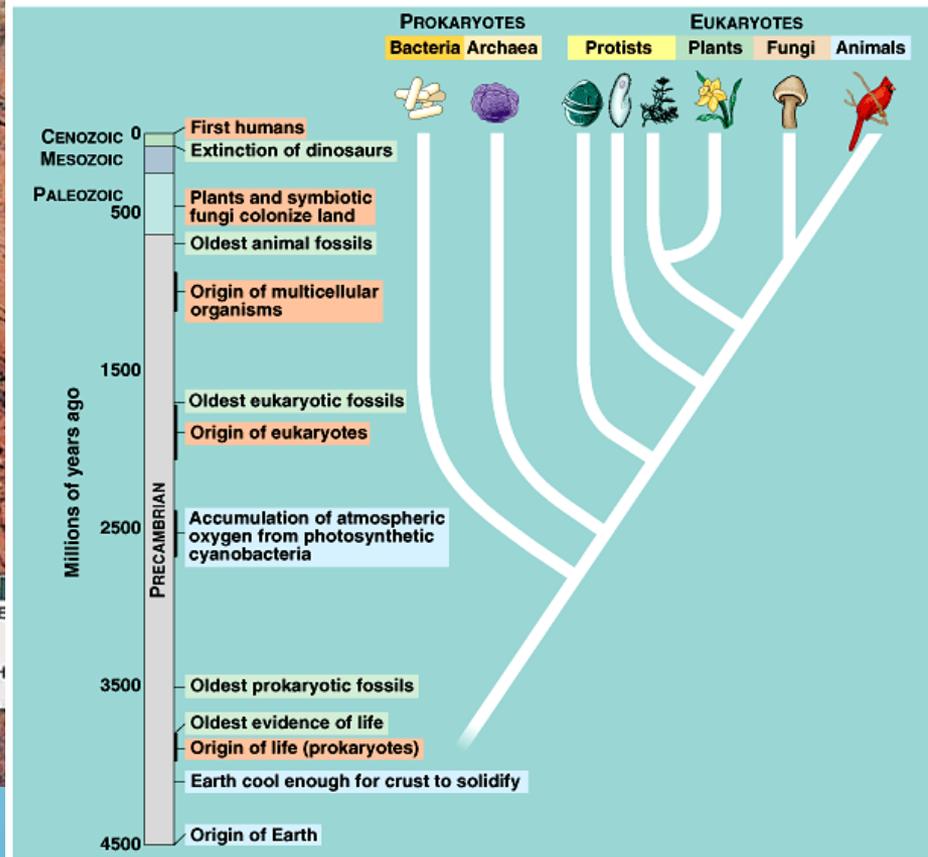
- Cada unas de las evidencias y todas ellas al mismo tiempo pueden ser simplemente **artefactos** de origen químico y mineralógico.
- Algunos compuestos se formaron a **temperaturas** entre 200° C y 500° C, obviamente incompatibles con la vida.
- Es muy difícil encontrar fósiles de estas características en la propia **Tierra**.
- No se ha mostrado la **comparación** con estructuras similares de origen no biológico.
- En la Tierra se dan procesos de origen **puramente químico** que generan condiciones de **no-equilibrio** similares a las requeridas.
- Las estructuras “biomórficas” son unas diez veces **más pequeñas** que las de la Tierra.

¿Qué es la vida?

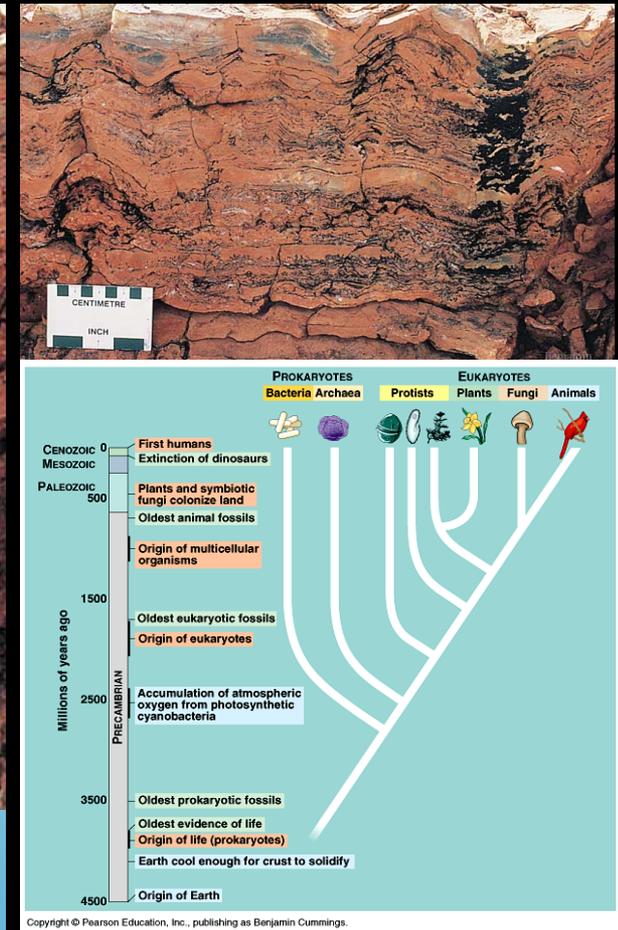
- No existe **ningún acuerdo** sobre una definición universal de la vida, ni desde la ciencia ni desde la filosofía o las diversas teologías dominantes.
- En general, todas las definiciones incluyen la idea de generación de **orden a partir del desorden** mediante el gasto de una cierta cantidad de energía y durante un período limitado de tiempo.
- Y es que la vida, como cualquier sistema físico, debe cumplir el **segundo principio de la termodinámica**.
- Otra característica común es la **emergencia de la complejidad**, si bien esto puede ser un sesgo antropocéntrico.
- Ensayemos una definición: *Un sistema vivo es un sistema químico capaz de metabolizar; de reproducirse; de generar, absorber e interpretar información; y de evolucionar en el entorno.*
- Entre otras muchas cosas, desconocemos los **límites inferior y superior** a la complejidad de la vida. ¿Es un virus un ser vivo? ¿Lo es la Tierra en su conjunto? ¿Lo sería un robot?
- Desde la astrobiología **la gran duda** es: ¿podemos encontrar vida extraterrestre y no reconocerla como tal?



El origen de la vida



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

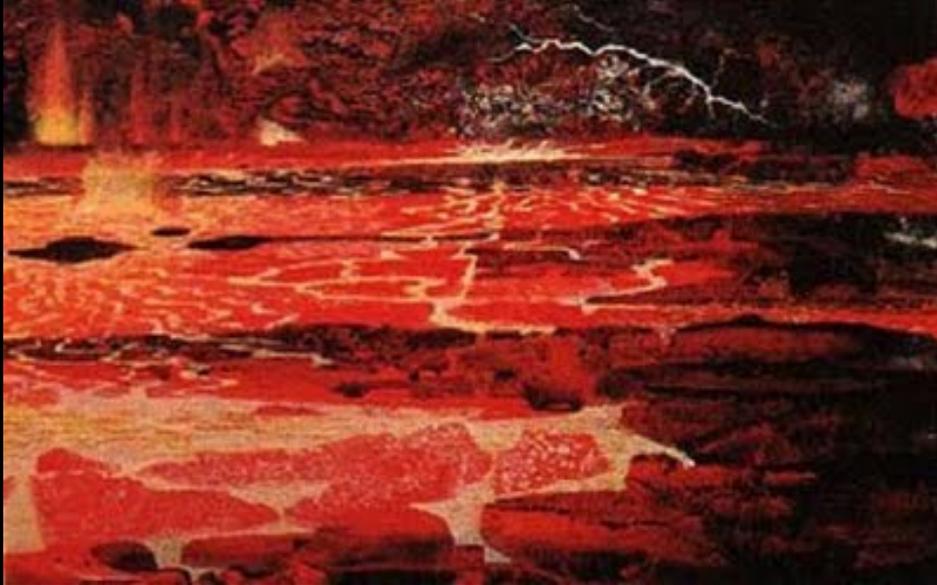


Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

- El **registro fósil** de la Tierra nos ilustra los cambios en las formas de vida del único caso que conocemos.
- La **Teoría de la Evolución** de Darwin explica satisfactoriamente la transición entre formas de vida.
- Sin embargo, ni el registro fósil ni la Teoría de la Evolución arrojan luz sobre el **origen** mismo de la vida.

La sopa primordial

Darwin (1871): "... in some warm little pond with all sorts of ammonia and phosphoric, - light, heat, electricity, etc. present, that a protein compound was chemically formed, ready to undergo still more complex changes, at the present day such matter would be instantly devoured, or absorbed, which would not have been the case before living creatures were formed."



➤ A lo largo de los años 20, Oparin y Haldane propusieron de forma independiente la posibilidad de que la vida surgiera, a través de la **química elemental** en un medio fluido con una suspensión coloidal.

➤ Sin embargo, con una **atmósfera oxidante** como la actual no pudo surgir la vida (el oxígeno capta al hidrógeno libre imposibilitando la formación de moléculas orgánicas). Por tanto, la atmósfera primordial debía ser reductora (rica en H y dadores: CH_4 , NH_3).

➤ Al mismo tiempo, esto implicaba que la atmósfera actual era inadecuada para la formación de más vida, por lo que, al verse alterada esta por las formas primitivas, **impidieron la aparición de nuevas formas de vida**. Esto podría explicar la homociralidad levógira en los seres vivos.

➤ En realidad, su **modelo atmosférico era erróneo** y la atmósfera primordial estaba constituida por CO_2 y N_2 .

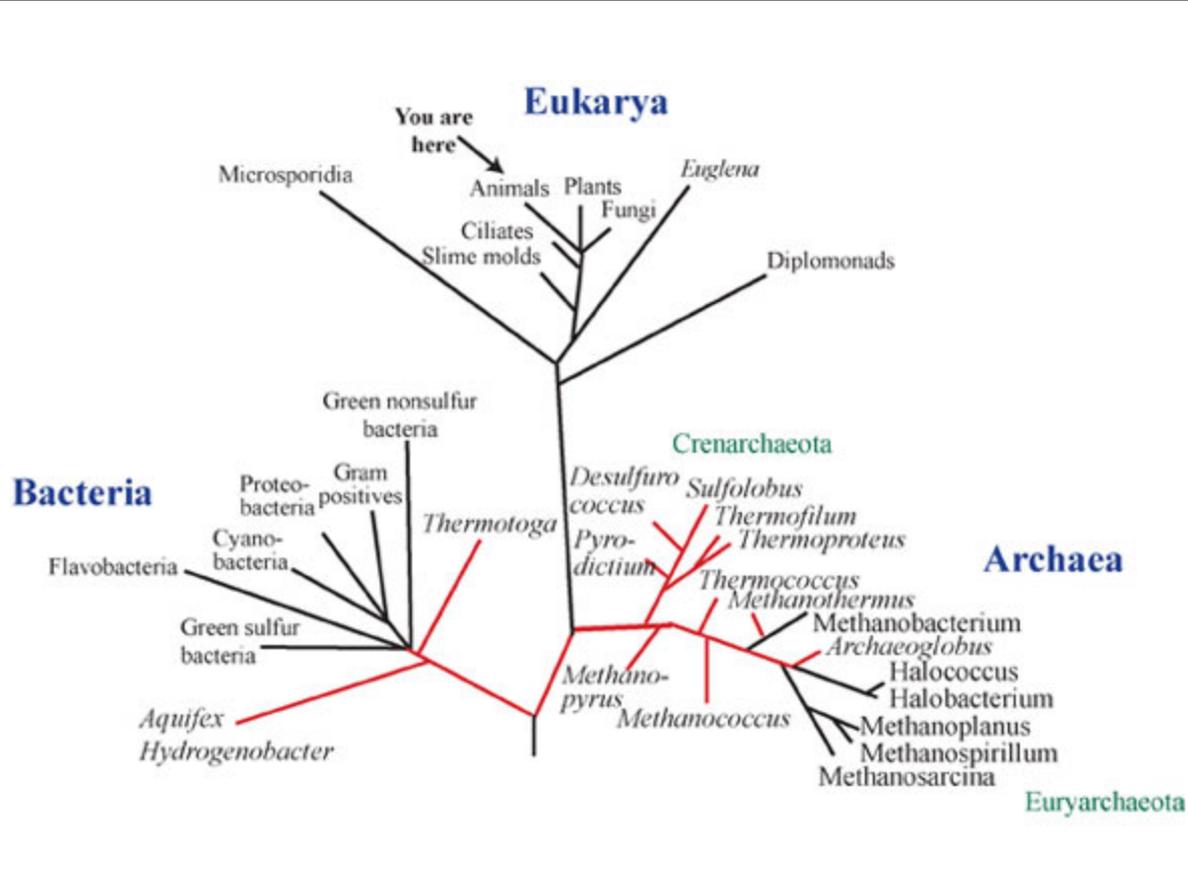


Oparin



Haldane

La Biosfera en la sombra



¿Por qué somos todos parientes?

¿Puede la vida ser más diversa de lo que pensamos?

➤ Cuando observamos el árbol de la vida (filogenético) nos encontramos con que todos los organismos actuales descendemos de un antepasado común. ¿Por qué?

➤ ¿Podría haber formas de vida completamente independientes de las actuales escondidas en algún rincón de la Tierra?

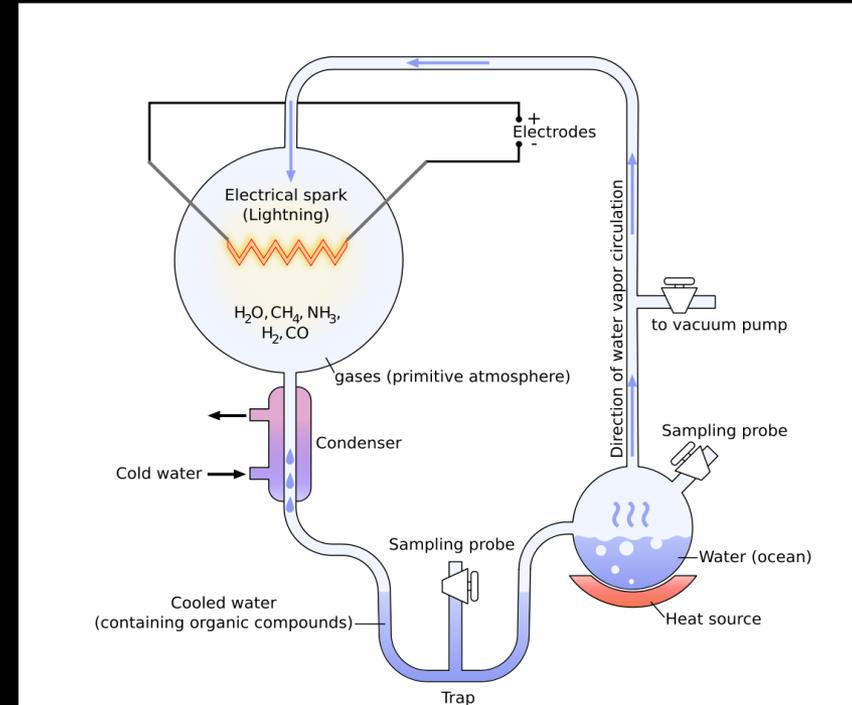
➤ ¿Sabríamos reconocer esas formas de vida si las viéramos?

➤ ¿Surgió la vida en la Tierra una sola vez o varias?

➤ ¿Pudo la vida aparecer y extinguirse en sucesivas oleadas? ¿Es posible que alguna forma de vida anterior quede guardada en algún nicho protegido?

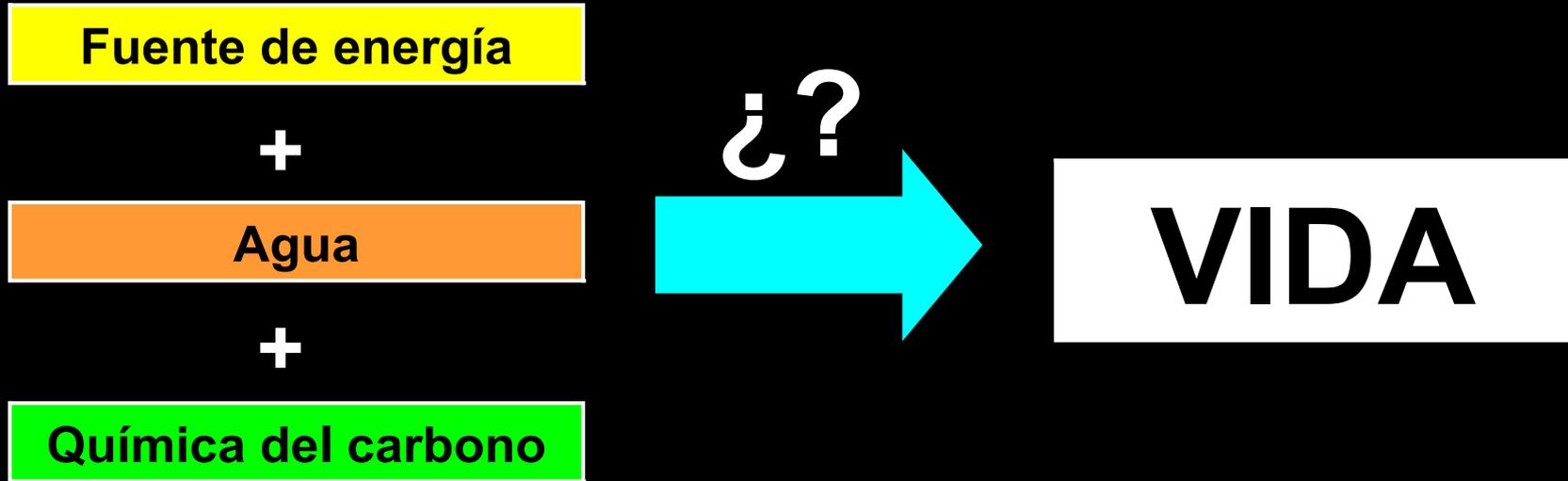
➤ Estas son algunas de las preguntas que se planteaban en 2005 Carol Cleland y Shelley Copley, proponiendo el término de Biosfera en la sombra para denominar esa posible forma de vida terrestre pero extraña.

Experimento de Stanley Miller



- A comienzos de los años 50 Stanley Miller trabajaba con Harold Urey en su tesis doctoral. Creó un experimento que trataba de recrear las **condiciones químicas prebióticas** de la Tierra.
- En sólo una semana de experimento, fueron capaces de generar una veintena de **aminoácidos** en presencia de una atmósfera reductora (¡aunque era errónea!).
- A principios de los años 60, el científico español Joan Oró realizó experimentos similares (cambiando la “sopa”) y logró sintetizar espontáneamente **ácidos nucleicos**.
- Si la hipótesis de la **abiogénesis** es cierta, ¿por qué se da la homocircularidad en la naturaleza?

La receta de la vida



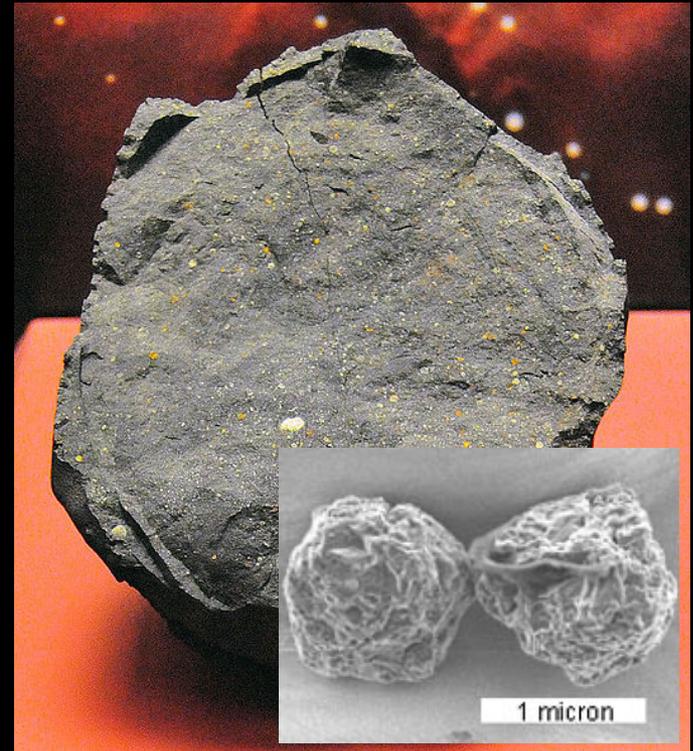
- ¿Son condiciones necesarias o suficientes?
- ¿Precisamos otras condiciones adicionales?
- ¿Implican el origen o sólo la persistencia de la vida en un medio?

Panspermia



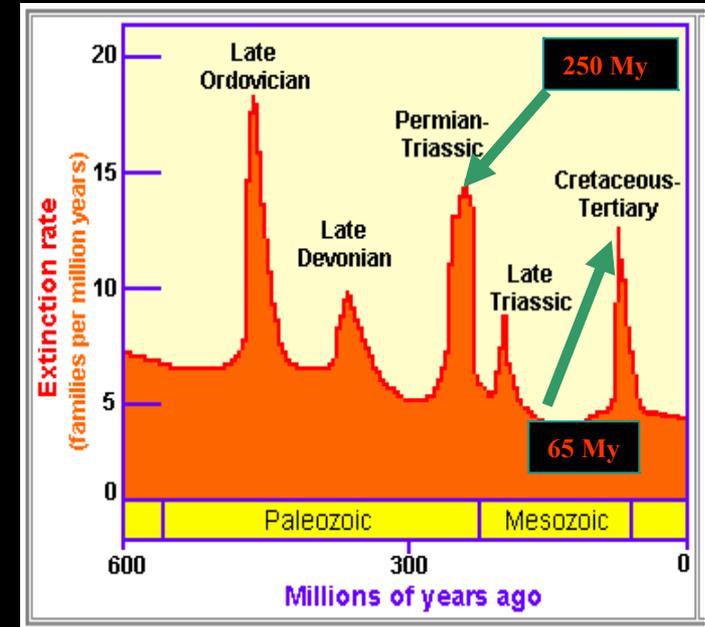
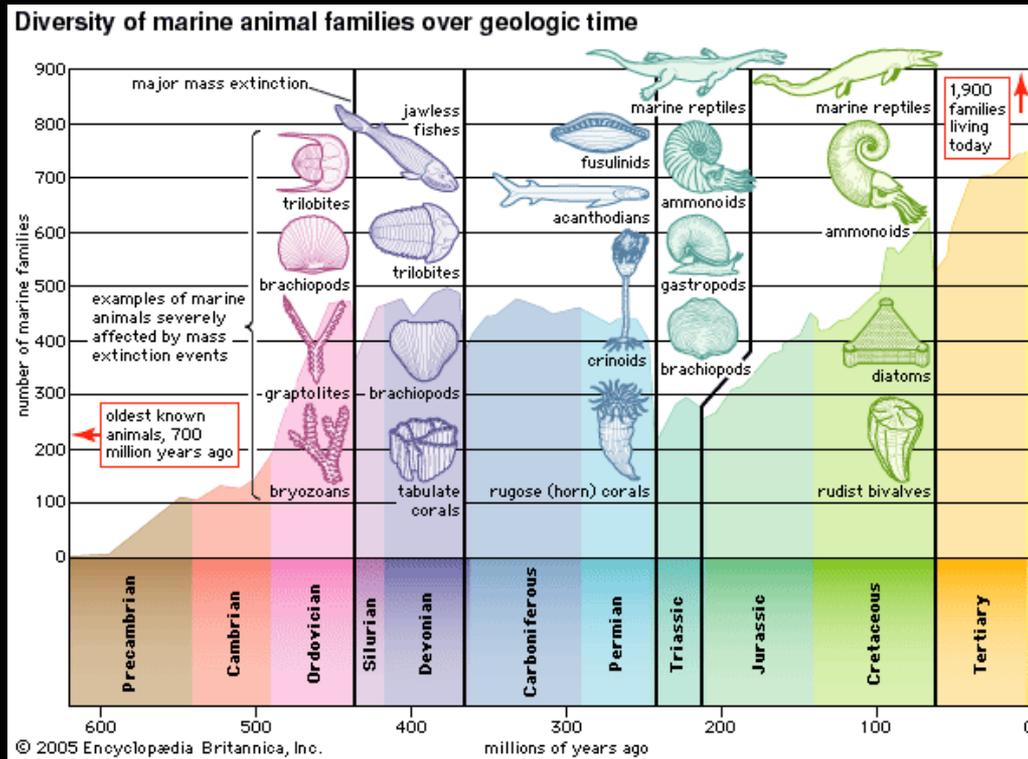
- En 1908, Svante Arrhenius publicó un libro en el que proponía que la vida podía viajar por el espacio en forma de esporas, **fertilizando** planetas como la Tierra.
- Posteriormente, Lord Kelvin añadió una nueva variante al sugerir que la vida pudo viajar a bordo de **asteroides**, de forma que podría pasar de unos planetas a otros al modo del ALH84001.
- Más recientemente, el brillante y heterodoxo Fred Hoyle se pronunció a favor de la panspermia basándose en la **improbabilidad** de aparición de la vida a partir de elementos inertes.
- Algunas críticas a la panspermia son la dificultad de supervivencia por la **radiación** en el medio interplanetario e interestelar.
- Muchos de los aspectos que sugiere la panspermia son **aceptables** y perfectamente posibles.
- Su mayor **inconveniente** filosófico es que traslada la cuestión de la aparición de vida en la Tierra a la aparición de la vida en el Universo.

El meteorito de Murchinson



- En Septiembre de 1969, un meteorito cae en **Murchinson**, una tranquila ciudad australiana cercana a Melbourne.
- Los testigos relataron los **olores** peculiares que surgían del meteorito, por lo demás una condrita carbonácea común.
- La roca fue analizada por los laboratorios de la misión Apollo a la Luna. Los **aminoácidos** encontrados estaban prácticamente en la misma proporción que los del experimento de Stanley Miller.
- Está química debe ser **común** en el Universo pero, ¿hasta qué punto puede desarrollarse?

Impactos y extinciones masivas



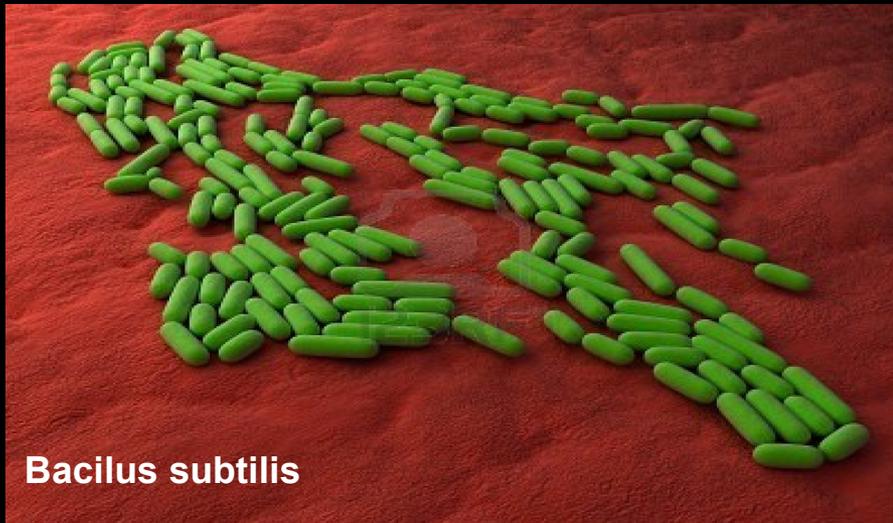
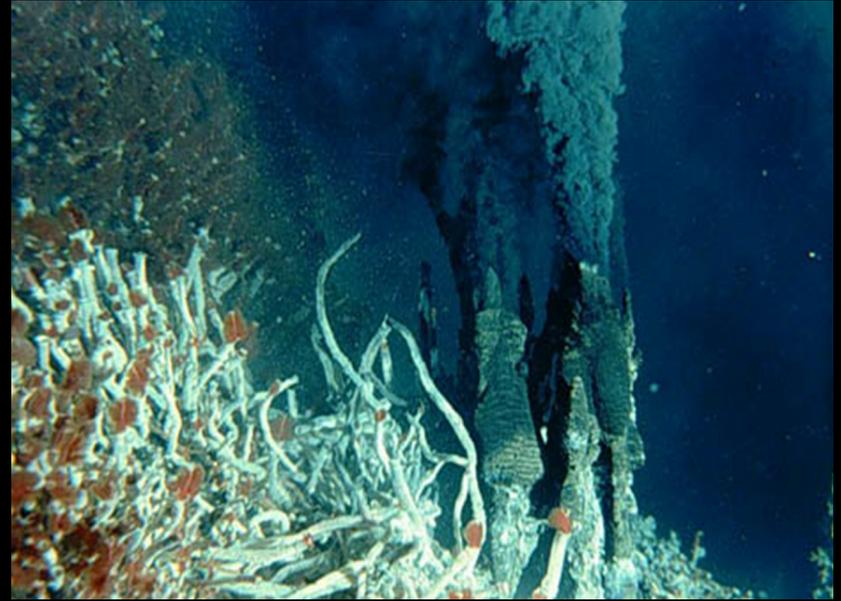
➤ A lo largo de la historia de la evolución de la vida en la Tierra se han producido diversas grandes **extinciones** que han rebajado considerablemente la biodiversidad en nuestro planeta. Algunas de ellas están presentes en el registro fósil, pero posiblemente no todas ellas.

➤ Además de posibles causas evolutivas, sabemos que se relacionan con **cambios climáticos** naturales o inducidos por condiciones ambientales. Y al menos dos de ellas se pueden relacionar con el resultado de impactos de cuerpos relativamente grandes.

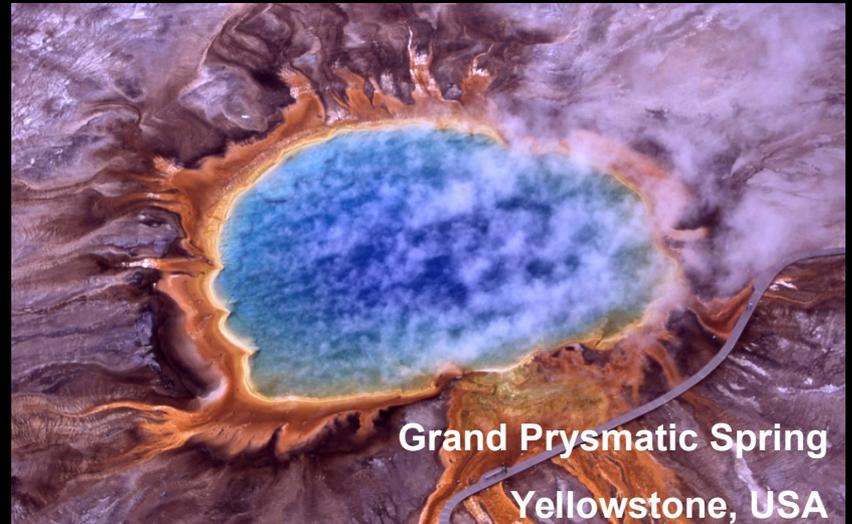
➤ Los **impactos** cósmicos son una cuestión estadística, siendo tanto más probables cuanto menor sea el tamaño del impactor. Los impactos catastróficos posiblemente sólo ocurren cada ciertos millones de años.

La vida al límite

- Llamamos **extremófilos** a los organismos capaces de soportar condiciones normalmente consideradas hostiles para la vida.
- Hay muchos **tipos**: resistentes a temperaturas frías (¿lago Vostok?), termófilos, litófagos, acidófilos (Río Tinto), alcalófilos, halófilos, viajeros temporales (*Bacillus subtilis*, 6 años en vacío), etcétera.
- La gran duda reside en si son **mecanismos adaptativos** al medio o si la vida realmente surgió en un ambiente extremo.
- En cierto forma, esta hipótesis se opone a la de la sopa primordial.



Bacillus subtilis



Grand Prismatic Spring
Yellowstone, USA

Lucha de paradigmas

Paradigma Copernicano

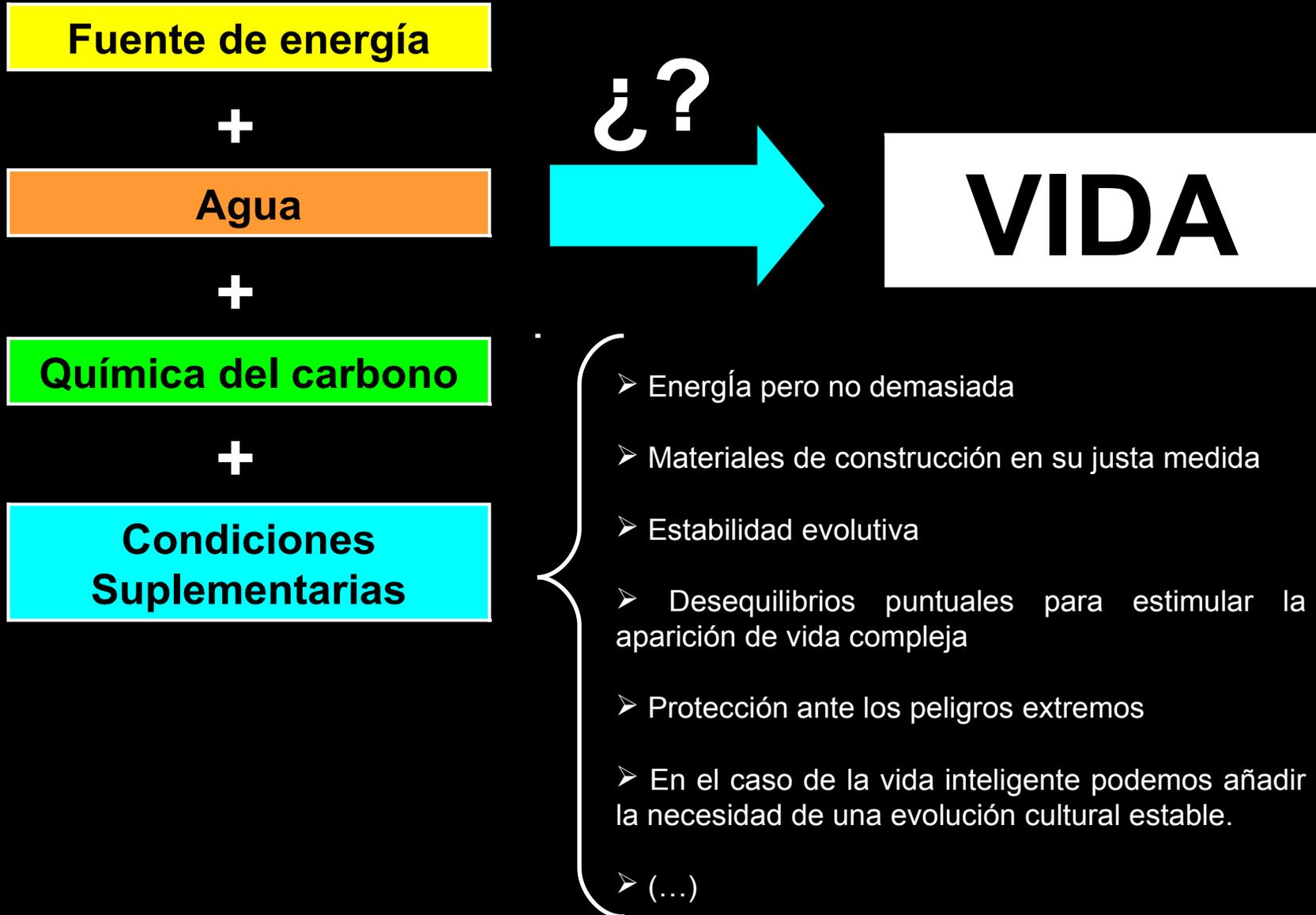
- La Tierra no es un **lugar especial** del Universo. Por tanto, todo lo que sucede en la Tierra perfectamente ha podido suceder (antes o después) en otros lugares del Universo.
- El Universo es tan **gigantesco** que por nimia que sea la posibilidad de emergencia de vida (o de vida inteligente) el producto por el elevado número de casos da un resultado no despreciable.
- Las leyes de la evolución guían el aumento de **complejidad** de los organismos vivos por su sucesiva capacidad de adaptación al medio.
- Por lo tanto, la vida, al menos en el nivel microbiológico debe ser **común** en el Universo.



La Tierra Rara

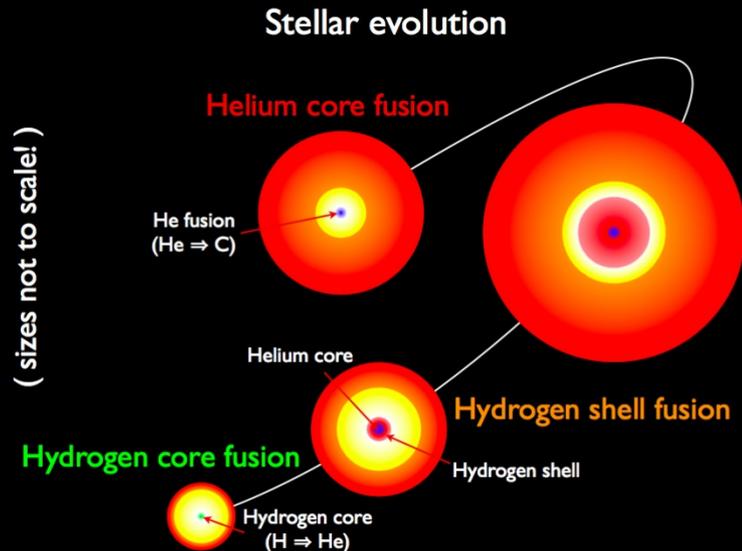
- El desarrollo de la vida, en particular la multicelular, requiere la **conurrencia** de situaciones tan estrictas que debe ser extremadamente improbable.
- La **historia** del Universo es tan extremadamente larga que la posibilidad de que dos planetas desarrollen vida simultáneamente es extremadamente remota, aunque se encuentren muy separados en el espacio.
- Los **cataclismos** de carácter cósmico son tremendamente frecuentes en casi todos los rincones del Universo que conocemos.
- La **mayor parte** del Universo está compuesto por materia y energías oscuras, cuyo origen desconocemos.
- Toda particularidad de nuestro planeta puede explicarse mediante el **principio antrópico**.
- Por lo tanto, la vida, por muy simple que sea, es un fenómeno **raro** en el Universo.

Repasando las condiciones para la vida

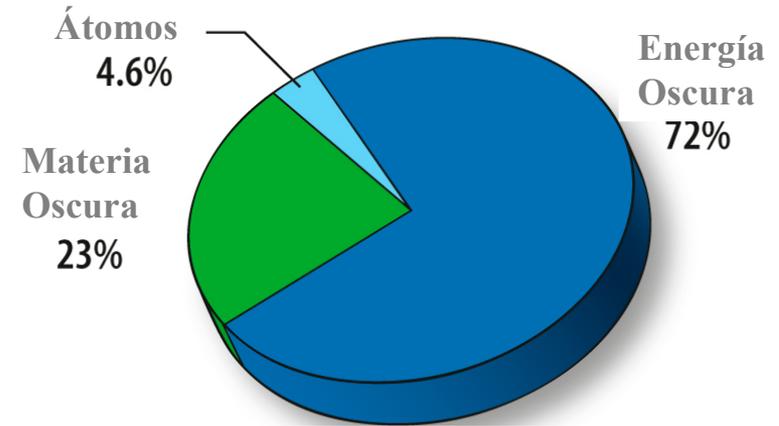


Polvo de estrellas

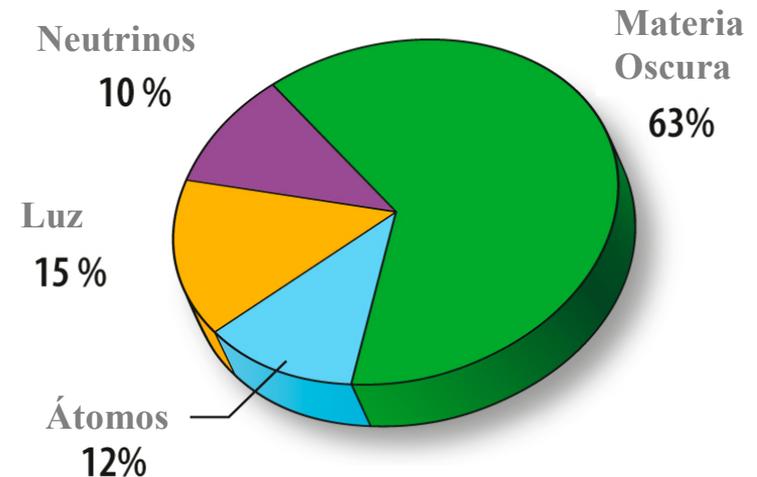
- En el **Big Bang** se sintetizaron sólo los elementos más sencillos (H, He) y una fracción mínima de elementos más pesados (metales).
- En la **evolución de las estrellas** se sintetizan los elementos más pesados como el carbono u oxígeno que son precisos para el desarrollo de la vida.
- Además, **el Universo evoluciona** a nivel cosmológico, cambiando el balance entre materia y energía.



Thomas Kallinger, University of British Columbia and University of Vienna



Edad 13.500 millones años (hoy)



Edad 380.000 años

➤ Las estrellas, en sus **etapas últimas**, emiten gran cantidad de material al medio interestelar, ya sea en forma de nebulosas planetarias (estrellas como el Sol) o de supernovas (estrellas masivas).

➤ Este material **enriquece** el medio circundante y al mismo tiempo permite la formación de sistemas planetarios como el nuestro, que de entrada aceptamos como paradigma del desarrollo de la vida, dado que no tenemos otros casos.

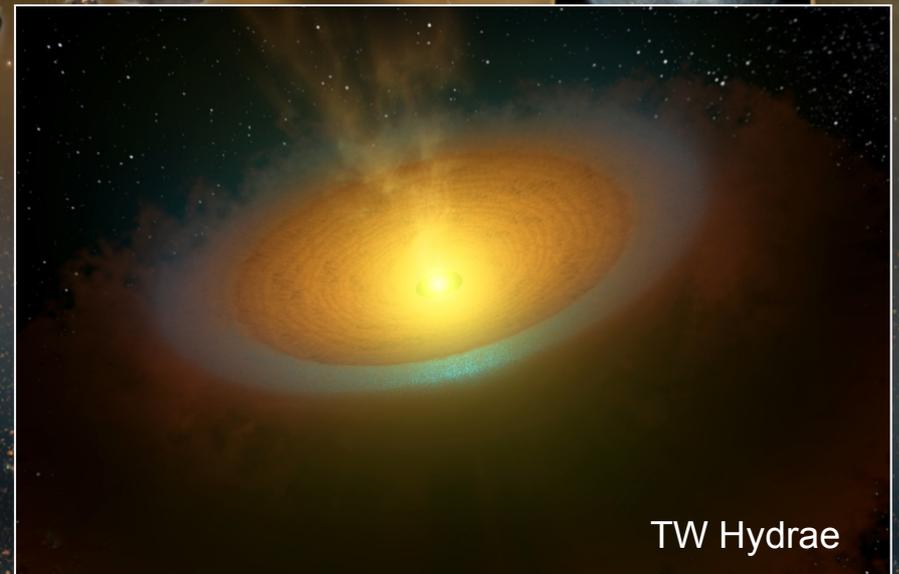
➤ A menudo, el colapso de estrellas más antiguas puede **desencadenar** la compresión de nubes moleculares circundantes que, enriquecidas en materiales pesados como hierro y silicatos son capaces de formar planetas rocosos donde se asiente la vida.

➤ Más aún, en la evolución de esos discos protoplanetarios, se forman también cuerpos formados principalmente por **hielos** (cometas, asteroides) que sabemos que terminan cayendo sobre los cuerpos mayores del sistema planetario.

➤ Recientemente, se ha confirmado con un grado de verosimilitud muy alto que la mayor parte del agua de nuestros **océanos** es extraterrestre y procede de la época del Gran Bombardeo Tardío.

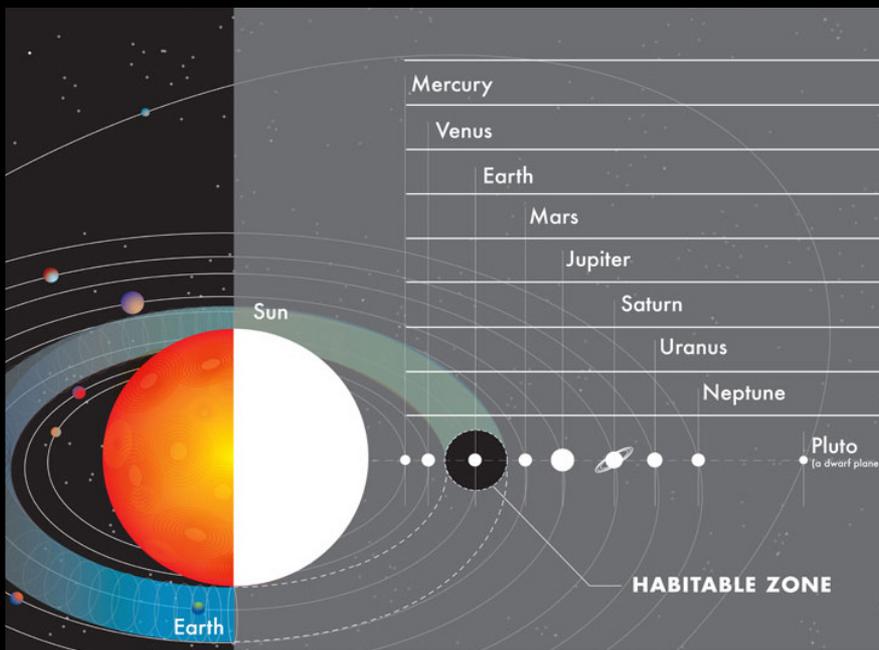


Nebulosa de Orión



TW Hydrae

Zona de Habitabilidad Estelar



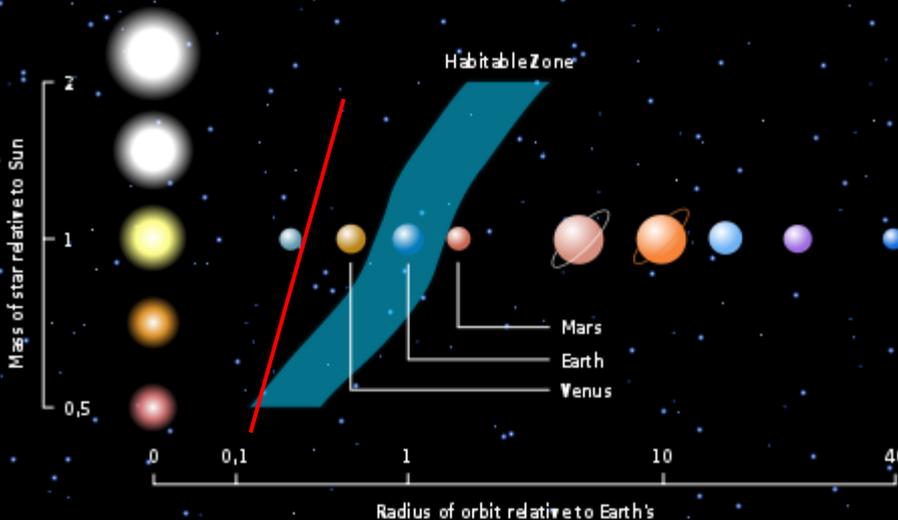
➤ La Tierra ocupa un **lugar privilegiado** dentro del Sistema Solar: ni demasiado frío (como Marte), ni demasiado cálido (como Venus).

➤ En la órbita de nuestro planeta es posible encontrar en superficie las condiciones de presión y temperatura para que el agua esté en su **punto triple**, donde coexiste en sus tres fases sólida, líquida y gaseosa.

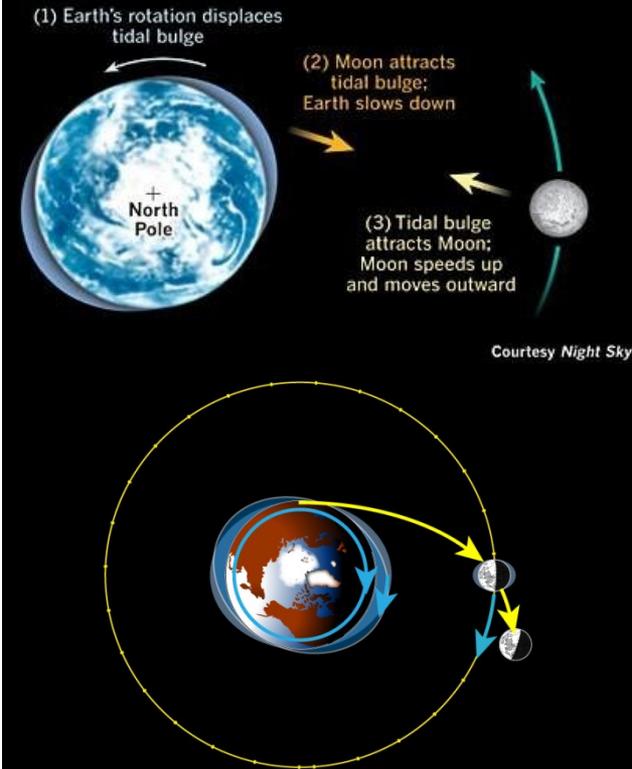
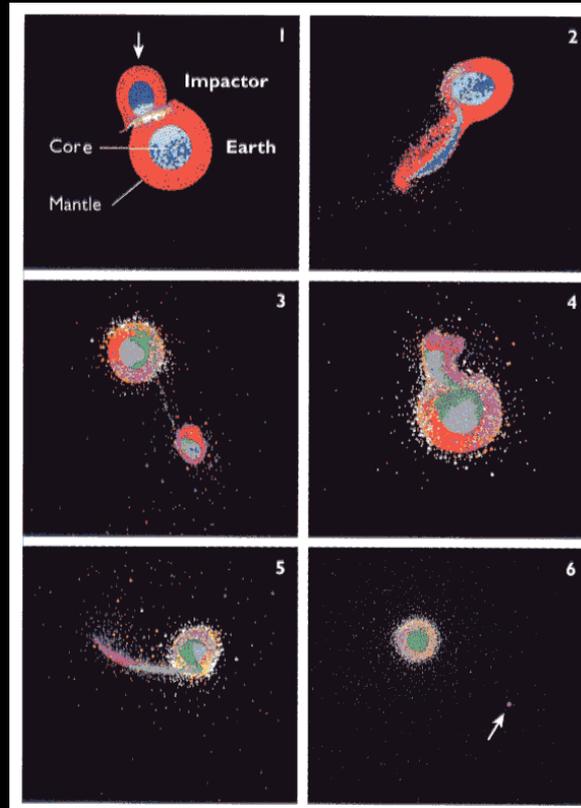
➤ Dependiendo de la **masa** (temperatura) de la estrella, la región donde esto es posible está más cerca o lejos de ella.

➤ Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es que las **fuerzas de marea** tienden a fijar la rotación de los cuerpos haciendo que, como la Luna con la Tierra, el cuerpo menor siempre muestre la misma cara al cuerpo mayor.

➤ Sin embargo, la idea de zona de habitabilidad estelar ha recibido algunas críticas por su carácter **antropocentrista**. ¿Por qué es tan importante el punto triple en superficie? ¿Por qué el agua como disolvente universal? ¿Por qué no consideramos las zonas de habitabilidad para satélites de cuerpos mayores?



La Luna

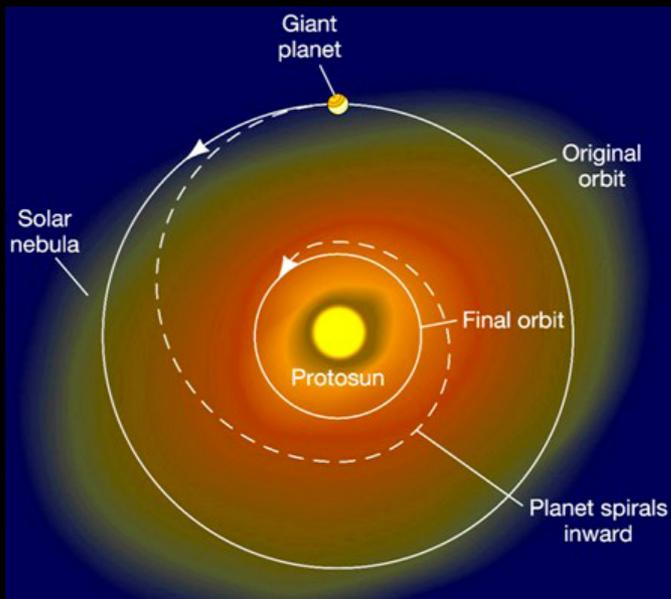


➤ La Luna es un **caso único** dentro del Sistema Solar. Ningún otro planeta posee un satélite tan grande en relación a su propio tamaño, excepto el sistema doble del planeta enano Plutón y Caronte. Su radio es la cuarta parte del de la Tierra, y su masa, 1/81.

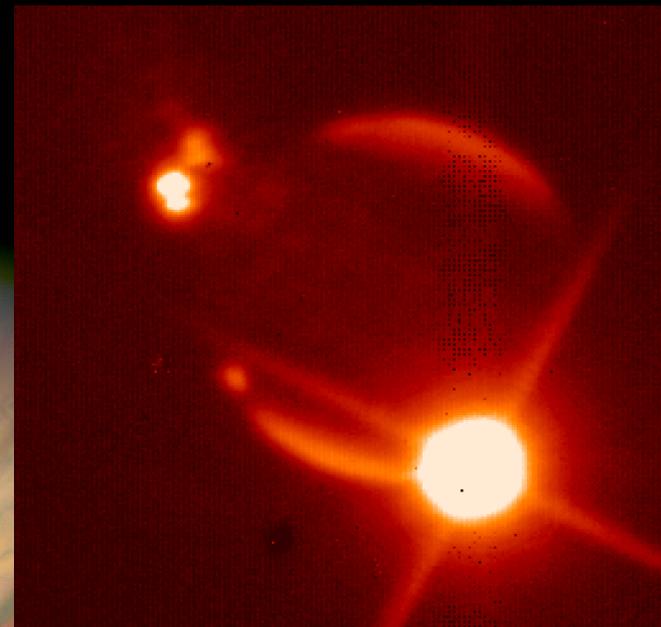
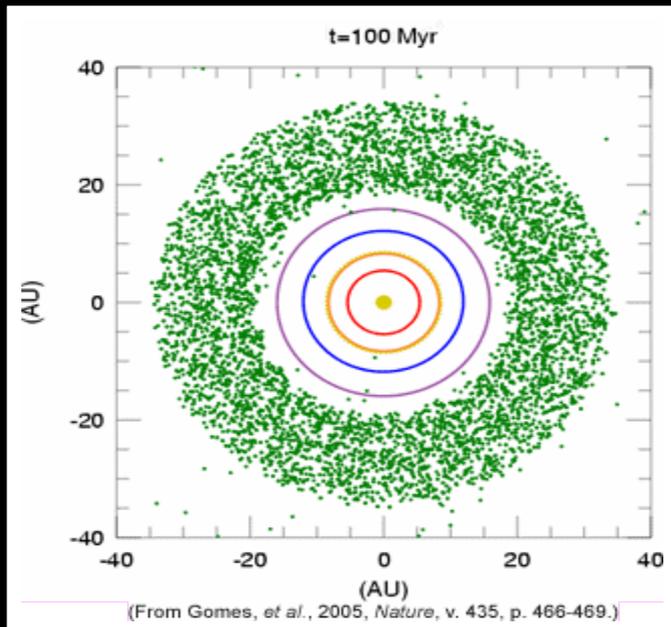
➤ La **formación de la Luna** se produjo muy pronto, tras el impacto de un objeto del tamaño de Marte con nuestro planeta. Tras ello, la Luna, tal y como nos informa el registro fósil, se ha ido alejando de nosotros. La interacción mutua a través de las fuerzas de marea es muy intensa.

➤ El principal efecto de la Luna es que mantiene **bloqueado el eje de rotación de la Tierra** con una inclinación intermedia, de forma que no sufre variaciones estocásticas como el eje de Marte. El ángulo es además el adecuado para no calentar en exceso la región ecuatorial.

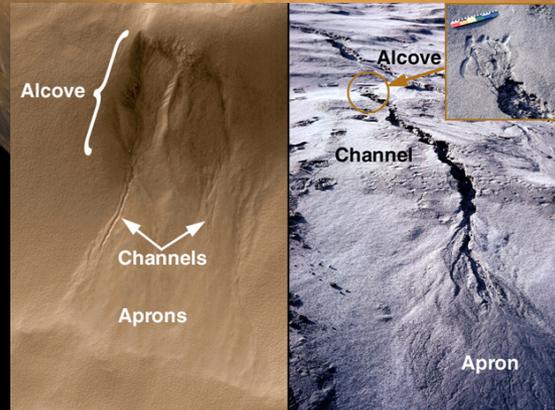
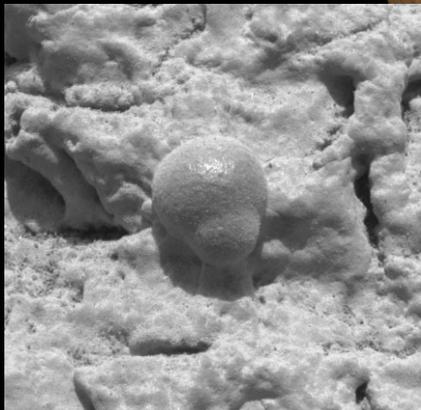
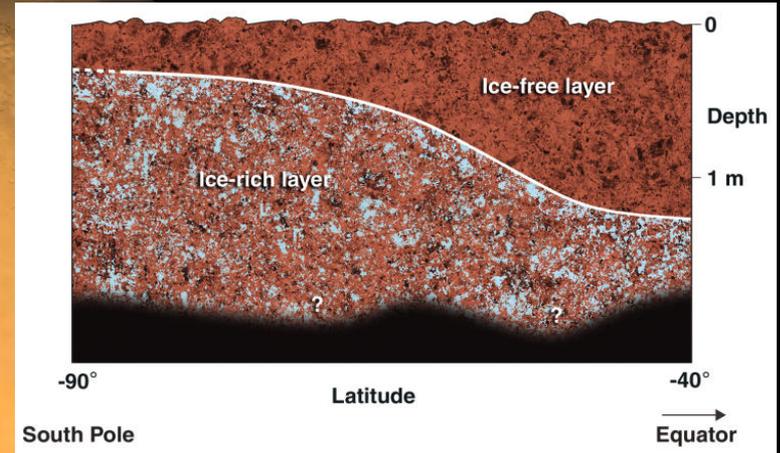
El gigante de dos caras



- Los planetas gigantes, y muy en particular **Júpiter**, juegan un papel dramático en la configuración del Sistema Solar tal y lo conocemos.
- Los modelos más aceptados de evolución y formación de nuestro sistema muestran la **migración** de los planetas gigantes desde órbitas más lejanas hasta la que ahora ocupan.
- Todo esto provoca una **difusión de pequeños cuerpos** hacia fuera y dentro del Sistema, bombardeando los planetas interiores pero también limpiando el ambiente.
- En la actualidad, Júpiter actúa esencialmente como **paraguas gravitacional**, convirtiéndose en objetivo predilecto de los objetos errantes. En todo caso, su papel no es tan sencillo como eso.

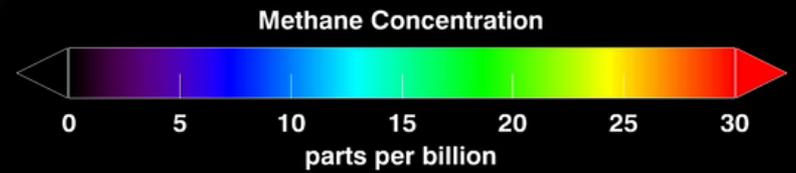
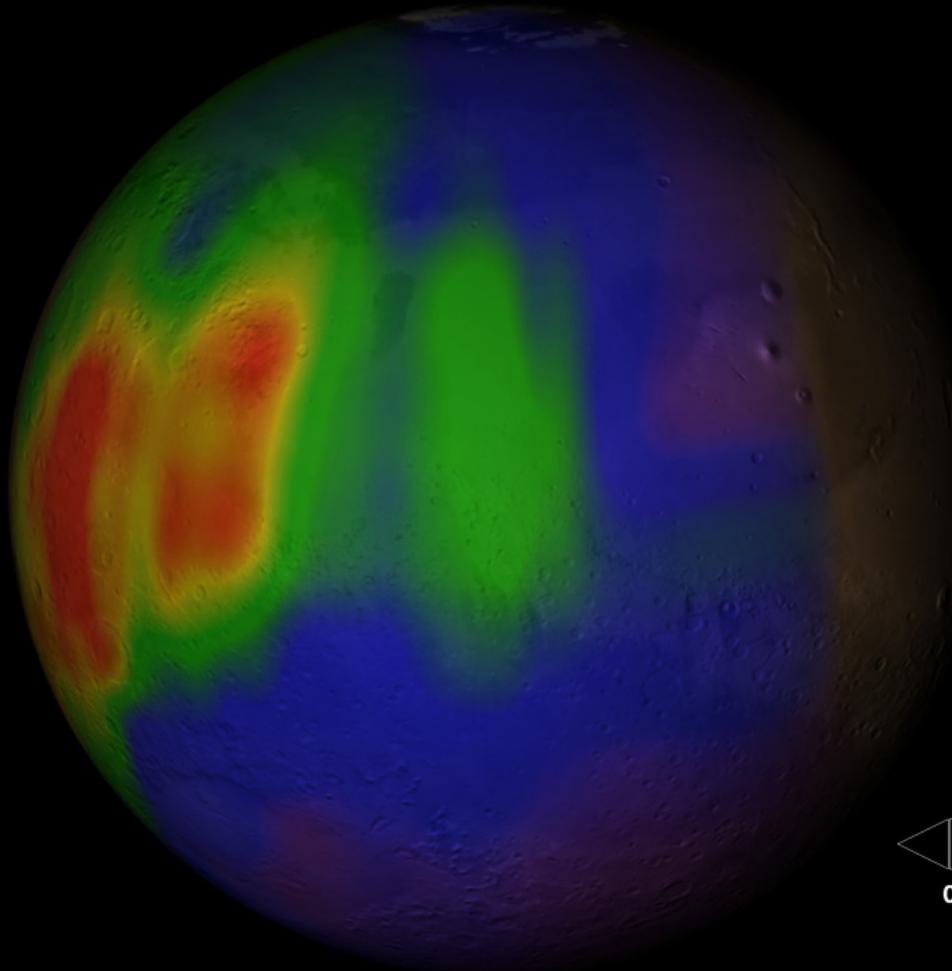


Llamando a la puerta más cercana

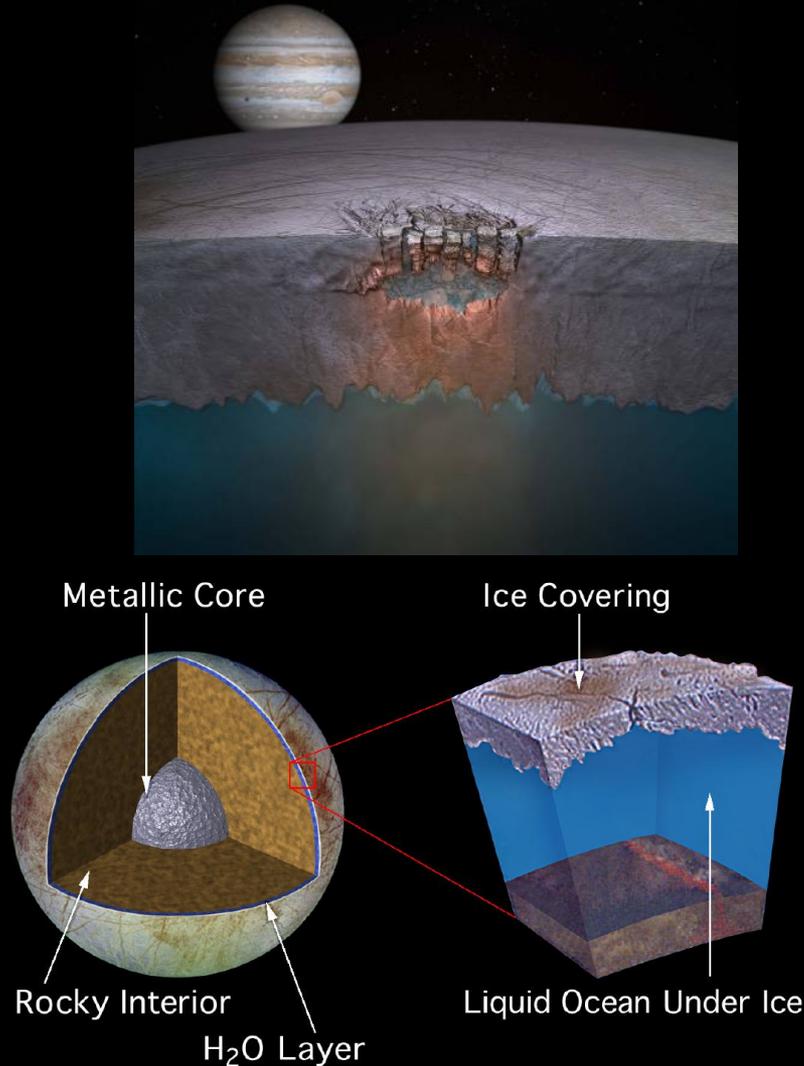


- Hay evidencias firmes sobre la presencia de **agua líquida** en la superficie hace 3.000 millones de años. Es muy probable que hubiera un gran depósito de agua en forma de mar o gran lago que permaneciera estable durante un período de tiempo geológico.
- Otras evidencias más discutidas sugieren que pudo haber agua corriendo por algunos lugares hace sólo 20 millones de años.
- Está confirmada la presencia de una gruesa capa de **tierra helada** bajo la superficie.
- Más recientemente, se ha confirmado la presencia de una fuente desconocida de **metano** en el planeta.

Methane release: Northern summer



Bajo el manto helado



➤ Ya desde las observaciones de la **sonda Galileo** a finales de los años 90, se sospecha que Europa, el satélite helado de Júpiter, puede albergar una gran cantidad de agua líquida bajo su superficie.

➤ Las grietas que se dibujan y la ausencia de cráteres indican una **superficie joven**, frecuentemente renovada de forma similar a los movimientos de las placas de hielo en el Ártico.

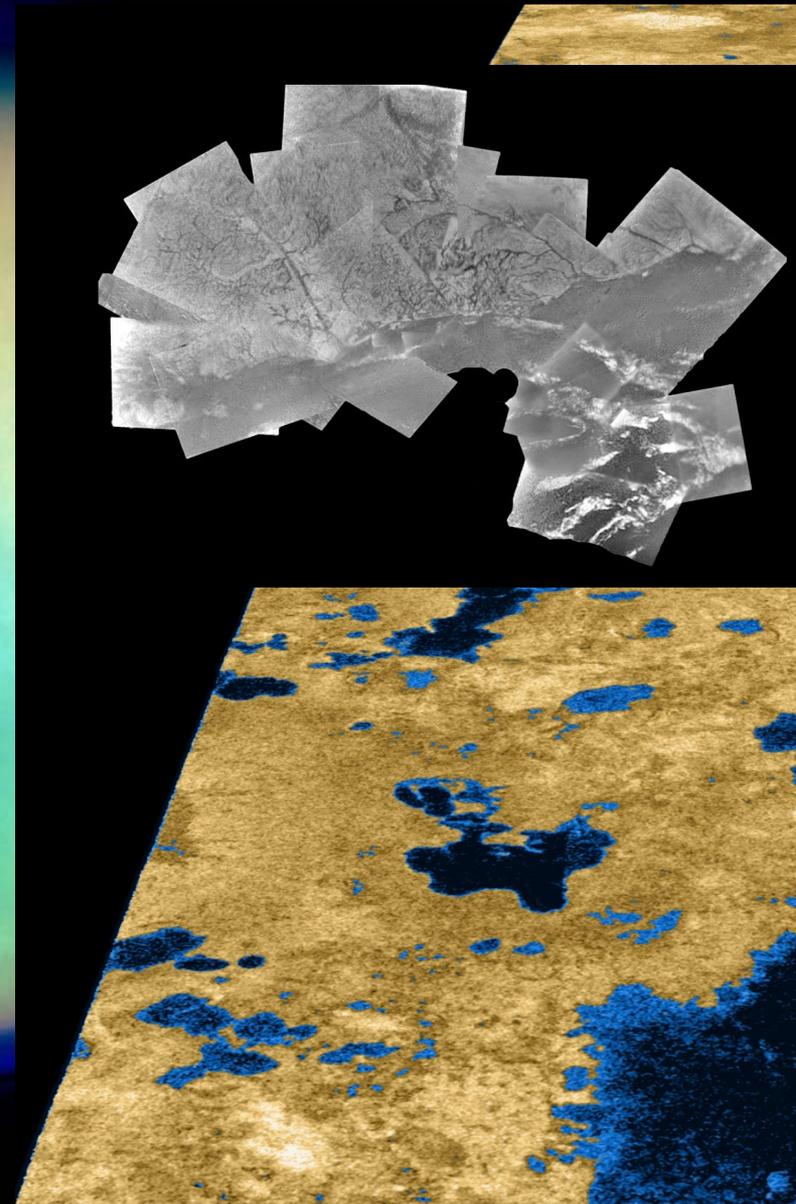
➤ Sin embargo, es posible que esa agua esté también en forma de **hielo fluido**, posiblemente no apto para la vida.

➤ Recientes modelos han mostrado que bajo la corteza de hielo debe haber una **importante reserva** de agua líquida, al menos bajo una de las estructuras del satélite.

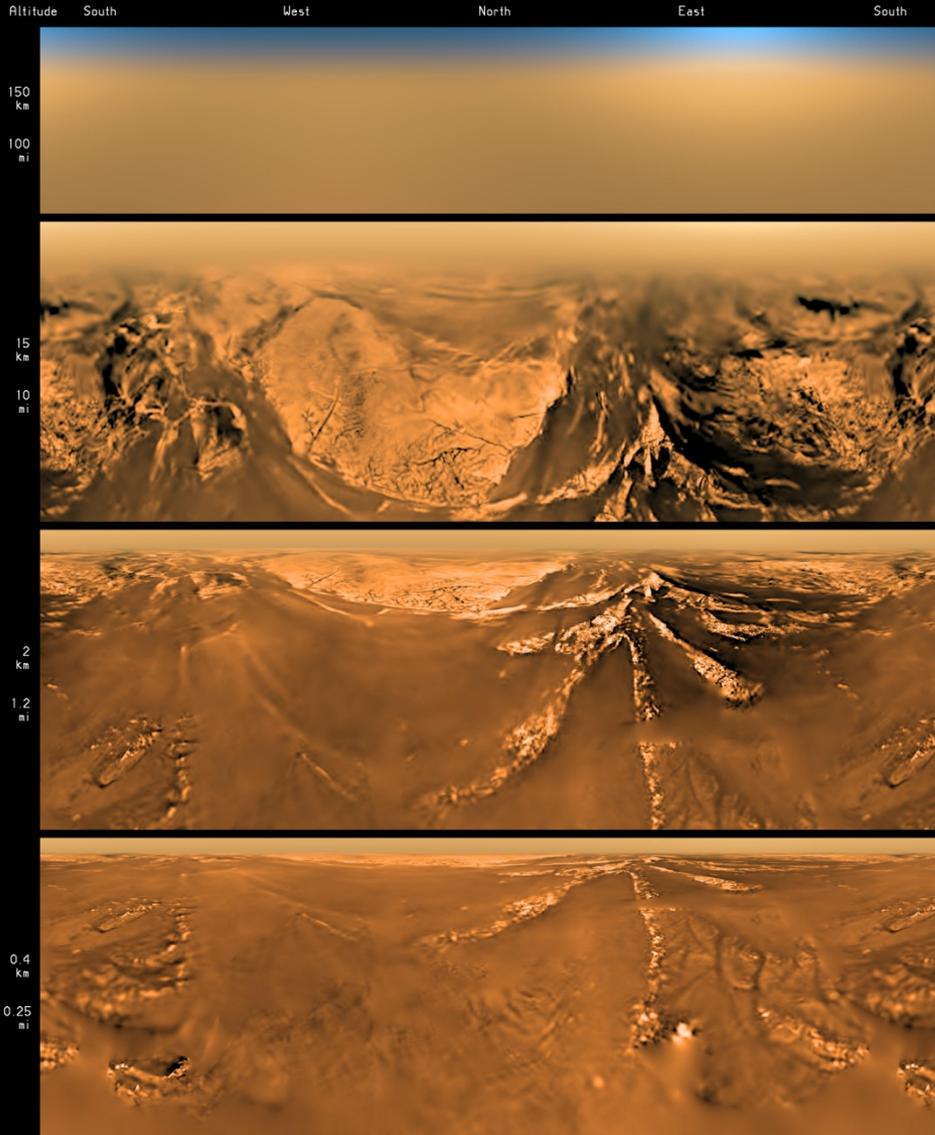
➤ El análogo de este cuerpo es el **lago Vostok**, en el Ártico, cuya exploración en busca de vida tiene dificultades similares y lleva años realizándose con la utilización de instrumental capaz de perforar la gruesa capa de hielo que lo recubre.

En el mundo perdido

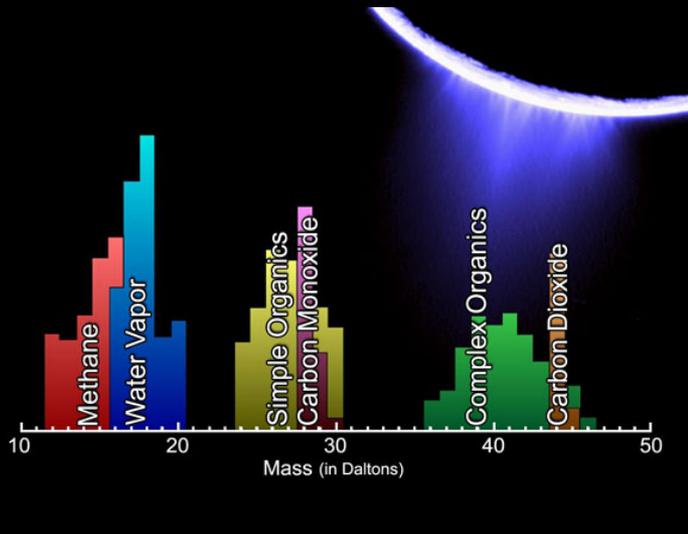
- Titán es la luna más grande de Saturno y posee una atmósfera muy rica en **metano** y otros productos de la química del carbono.
- En su superficie se han encontrado desde la llegada de la misión Cassini, **lagos de hidrocarburos** cuyo tamaño es similar, en algunos casos, al de los Grandes Lagos de la Tierra.
- A comienzos de 2005, la **sonda Huygens** de la ESA se posó sobre la superficie de este satélite, mandándonos en su descenso imágenes de lo que parecían ser escorrentías debido a la presencia continuada de líquidos en superficie.
- Sabemos también que en Titán llueve, a veces de forma catastrófica, pudiendo crearse gigantescas riadas de hidrocarburos y un verdadero **ciclo metanológico**.
- Se han observado discrepancias con los niveles previstos de **hidrógeno**, lo que puede tener un origen biológico no comprobado.
- Sin embargo, la temperatura de 90K ralentiza los procesos químicos, parecidos posiblemente a los de la **Tierra pre-biótica**.



Aerial Views of Titan Around the Huygens Landing Site



La piel de melón



➤ **Encélado** es otro satélite de Saturno, helado como el caso de Europa y cubierto de extrañas fallas.

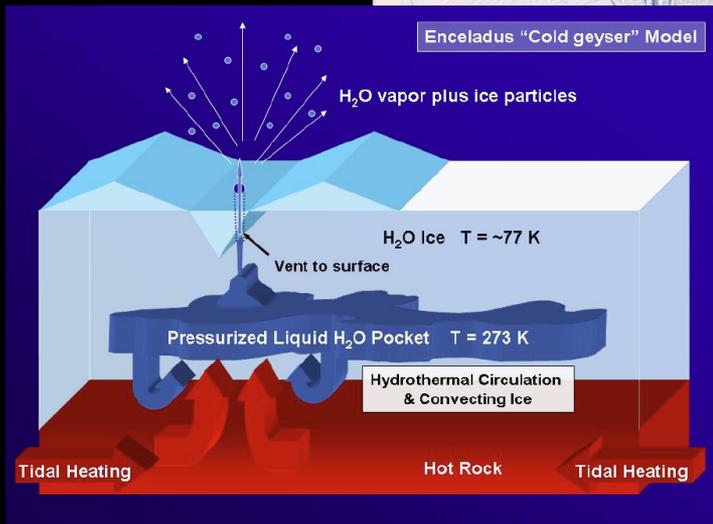
➤ Desde los años 80 se sabe que a través de estas fallas se expelen material al espacio en forma de **géiseres**. Este material se ve sublimado directamente debido a la diferencia de presiones.

➤ Recientemente, gracias a la sonda Cassini, se ha podido conocer la variación de la temperatura a través de dichas fallas y analizar la **composición** del gas expelido.

➤ El resultado ha sido que están formados principalmente por **agua enriquecida** en complejos orgánicos.

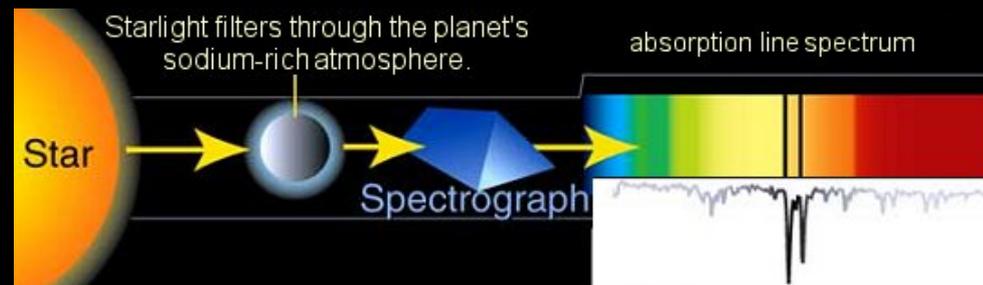
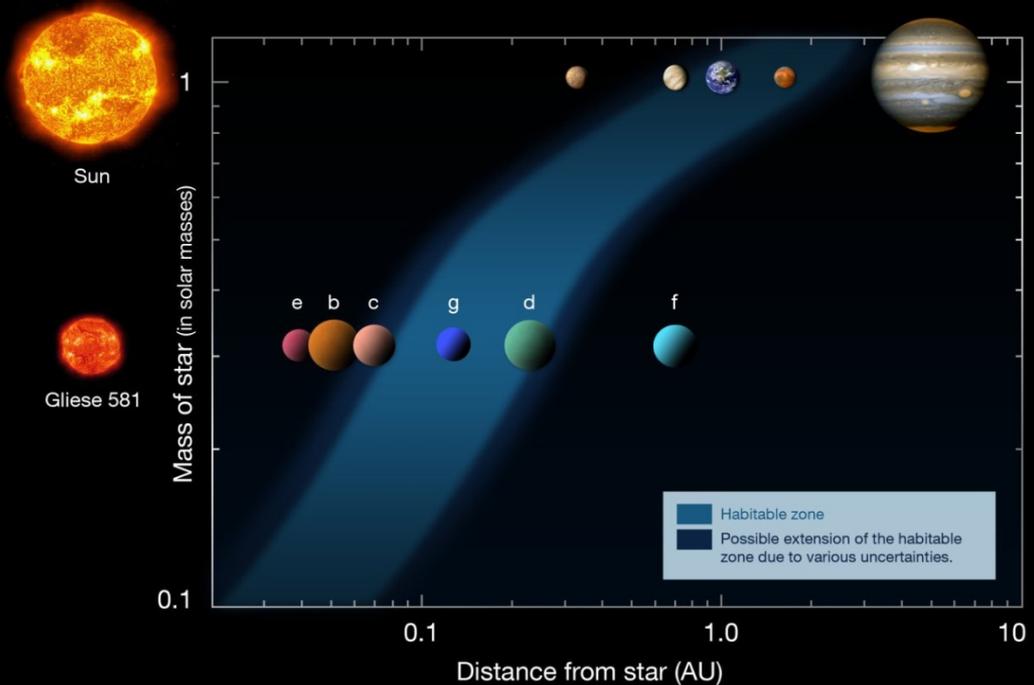
➤ Como en Europa, la **fuerza de energía** que es capaz de calentar el interior del satélite son las fuerzas de marea generadas por la inmensa mole de Saturno.

➤ Encélado es, por tanto, uno de los **objetivos astrobiológicos** más importantes del Sistema Solar.

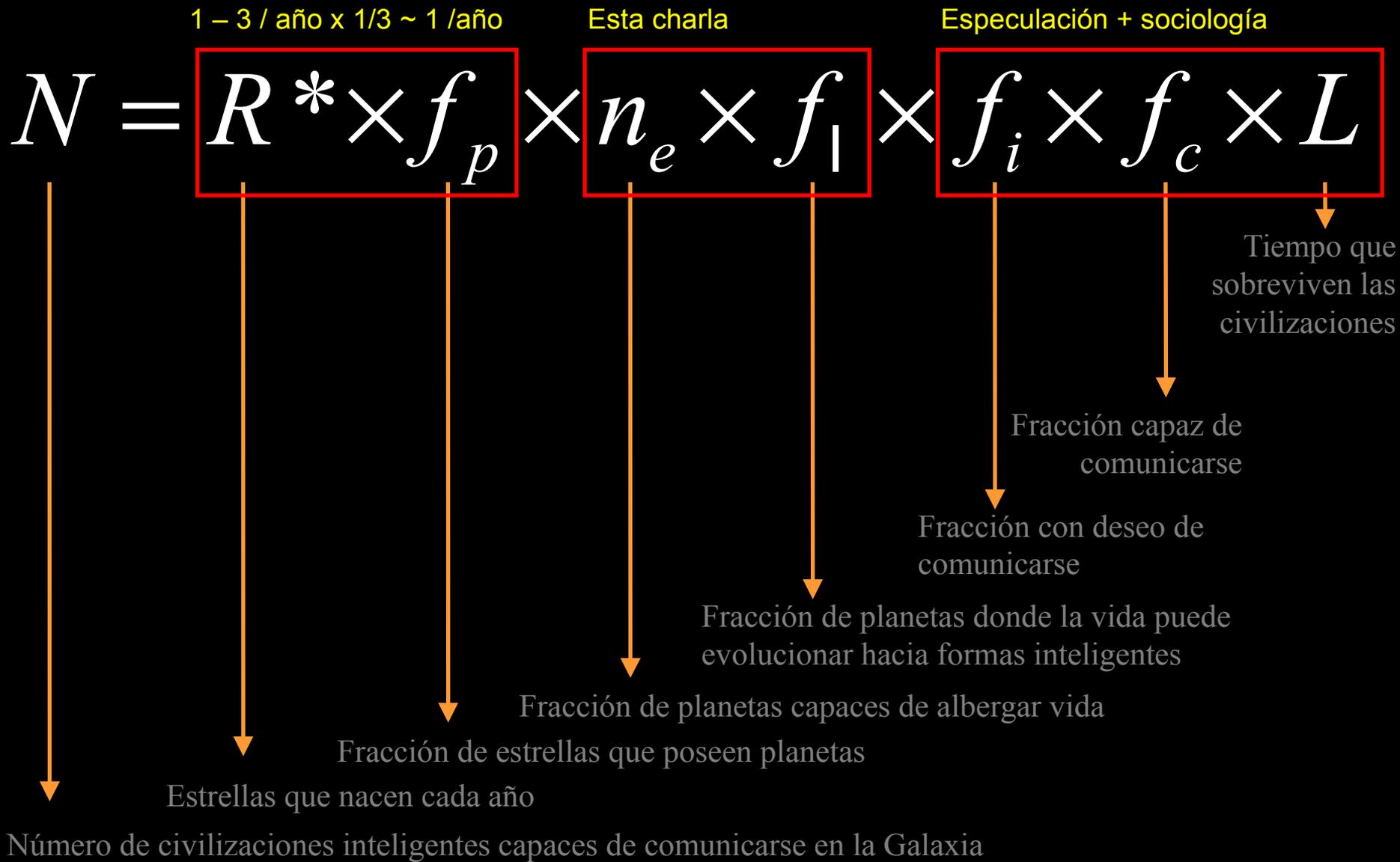


Más allá del Sistema Solar

- Actualmente hay detectados y confirmados más de **700 planetas extrasolares**. La mayoría de ellos no parecen reunir las condiciones adecuadas para la vida.
- Sin embargo, los sistemas planetarios en torno a **Gliese 581**, **Kepler 22** o **Kepler 62** poseen al menos un planeta dentro de la zona de habitabilidad.
- En el caso de algunos planetas, además, se ha podido caracterizar parcialmente su **atmósfera** y detectar la presencia de sodio, dióxido de carbono, vapor de agua y metano.
- Es posible detectar señales de presencia de vida en esas observaciones. El vapor de agua y el metano se añadirían por ejemplo al **ozono**.
- La búsqueda de los análogos terrestres continúa y aunque la misión Kepler ha puesto de manifiesto algunos **problemas intrínsecos** de esta búsqueda con los que no se había contado, se espera poder realizar grandes progresos en los próximos años.



La ecuación de Drake



La paradoja de Fermi

¿Por qué no nos hemos encontrado aún?

La creencia común de que el Universo posee numerosas civilizaciones avanzadas tecnológicamente, combinada con nuestras observaciones que sugieren todo lo contrario es paradójica sugiriendo que nuestro conocimiento o nuestras observaciones son defectuosas o incompletas.

- Dado que Fermi trabajaba en el **Proyecto Manhattan** cuando enunció su paradoja, su propia respuesta en términos de la ecuación de Drake fue $L \rightarrow 0$.

Otras explicaciones ofrecidas:

- La Tierra Rara.
- No hemos coincidido en el tiempo.
- Son poco comunicativos o no nos entendemos.
- Si viajan como nosotros, aún no hemos descubierto sus mini-sondas.
- Hay una gigantesca conspiración mundial para mantenerlos ocultos.



El Gran Filtro

1. Condiciones adecuadas

2. Moléculas auto-replicantes

3. Vida unicelular simple

4. Vida unicelular compleja

5. Reproducción sexual

6. Vida multicelular

7. Desarrollo cerebral

8. Civilización actual

9. Colonización del Universo

➤ Es una idea propuesta en los años 80 por el cosmólogo Brandon Carter y ampliada por el **economista** Robert Hanson a finales del siglo XX. La idea está discutida en detalle en el libro **Un silencio inquietante** del físico Paul Davies.

➤ Proponen que llegar a una civilización que pueda expandirse por toda la Galaxia supone atravesar una serie de **cuellos de botella**, cuya probabilidad de éxito es mucho menor que la transición intermedia.

➤ Planteado de otra manera, el **tiempo** necesario para pasar de un estadio al siguiente es mucho mayor que el tiempo requerido en cada uno de ellos.

➤ Dado que detectamos la Paradoja de Fermi, debe existir alguno de ellos sumamente improbable, o que requiere tiempos extremadamente elevados. A ese evento le llamamos **El Gran Filtro**.

➤ Esto tiene bastantes implicaciones, pero podemos detenernos en la siguiente pregunta: **¿está el Gran Filtro en el pasado o en el futuro?**

SETI

Ozma project, 1960



Allen Telescope Array
350 telescopes
En marcha desde octubre 2007



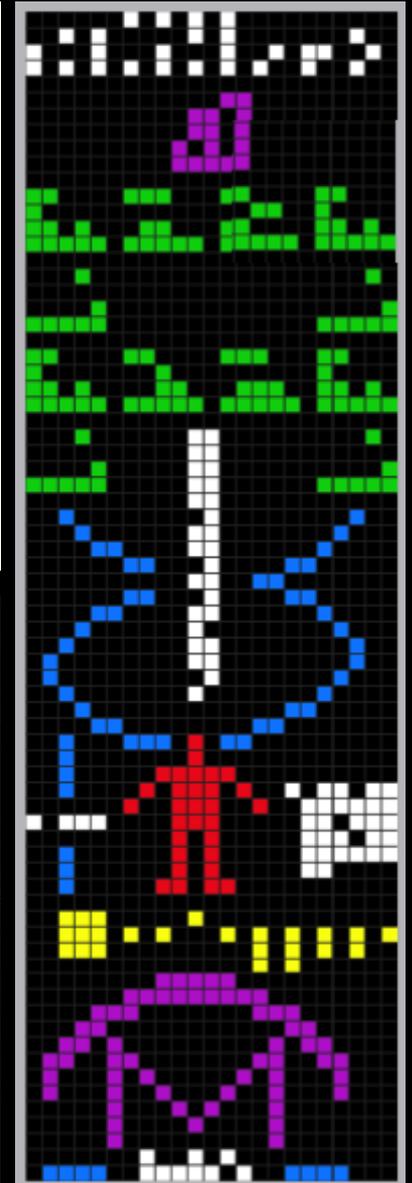
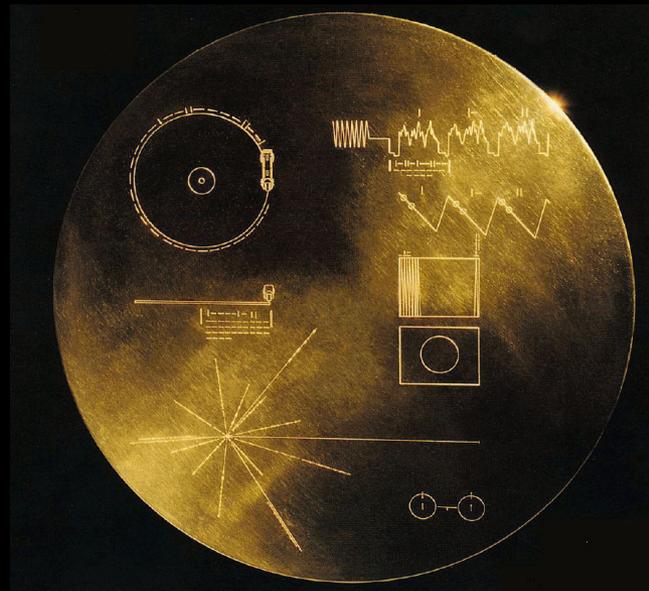
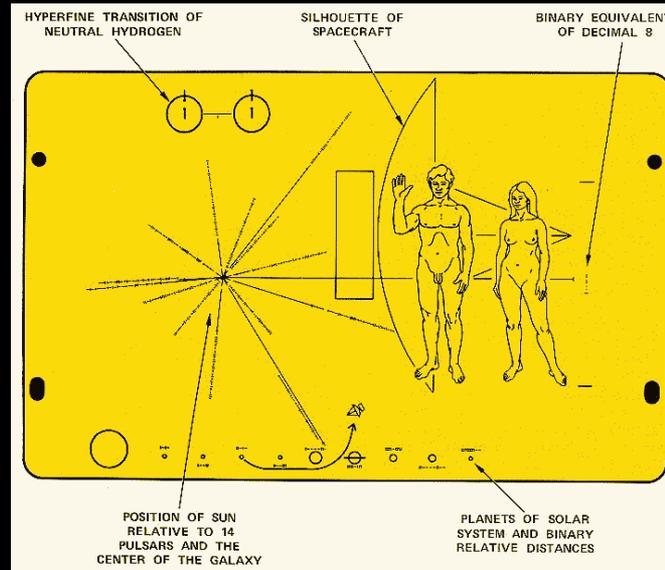
Arecibo desde los 70



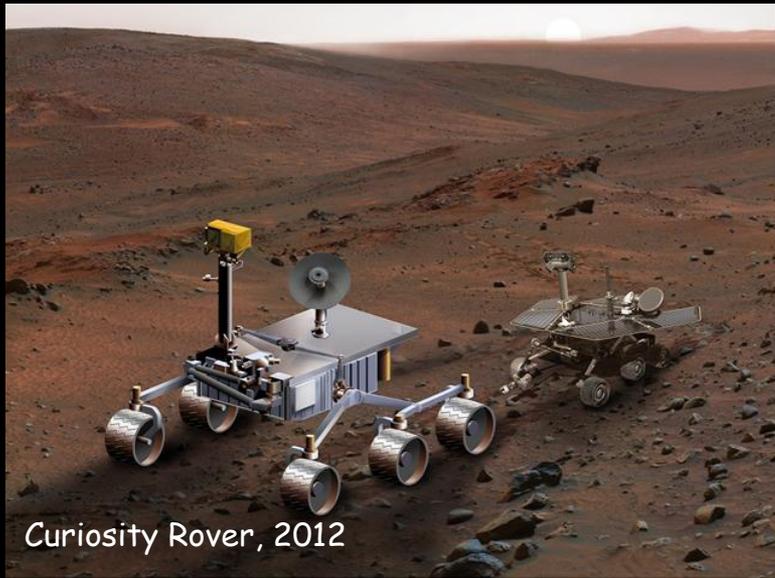
- Desde los **años 60** hay en marcha diversas iniciativas para detectar las señales que pueden provenir del espacio enviadas por alguna civilización avanzada.
- Se asume como canal de comunicación la **línea de 21 cm** del hidrógeno neutro, dado que es el elemento más común del universo.
- Hasta la fecha no se ha detectado ninguna señal sospechosa, a excepción de la llamada **señal Wow!** que se detectó en 1977 durante 72 segundos proveniente de Sagitario. La señal nunca se ha repetido.

Mensajes a las estrellas

- A comienzos de los 70, las sondas **Pioneer 10 y 11** se equiparon con una placa diseñadas por Carl Sagan y Frank Drake por si estas sondas llegaran cerca de alguna civilización extraterrestre.
- Algunos años después, además de un disco parecido, las **sondas Voyager** incluyeron el llamado disco de oro con los Sonidos de la Tierra. El contenido fue seleccionado por un comité de NASA.
- A día de hoy, las sondas Pioneer 10 y 11 y las Voyager 1 y 2 son los **objetos más lejanos** fabricados por el hombre, en las fronteras del Sistema Solar.
- En 1974 se emitió un mensaje desde **Arecibo** y en el período 1999 a 2003 se realizaron diversas **llamadas cósmicas**.
- En 2008 se envió el mensaje **AMFE** con dirección a Gliese 581, el planeta extrasolar más prometedor hasta la fecha.



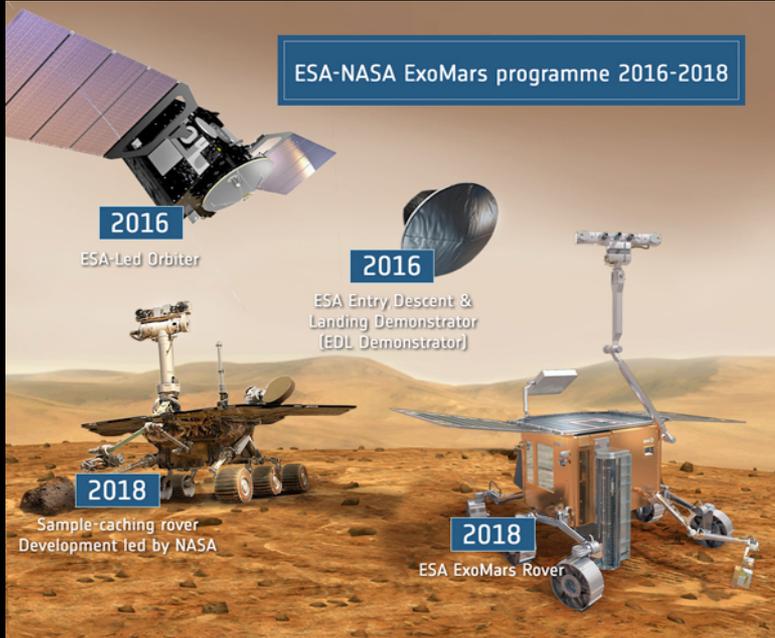
La búsqueda de vida y la conquista del Espacio



Curiosity Rover, 2012



Kepler, 2009



ESA-NASA ExoMars programme 2016-2018

2016

ESA-Led Orbiter

2016

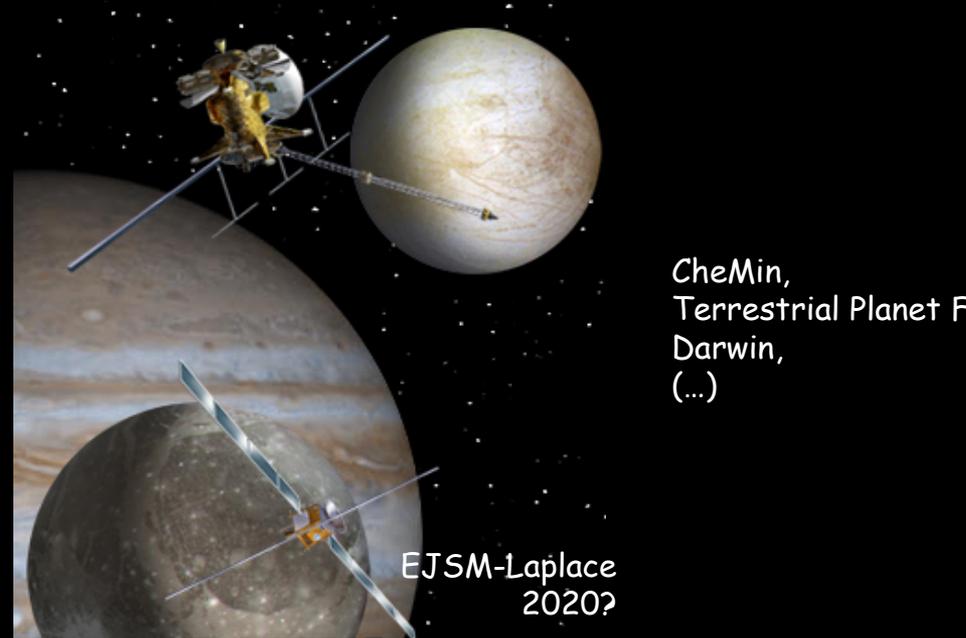
ESA Entry, Descent & Landing Demonstrator (EDL Demonstrator)

2018

Sample-caching rover Development led by NASA

2018

ESA ExoMars Rover



CheMin,
Terrestrial Planet Finder,
Darwin,
(...)

EJSM-Laplace
2020?

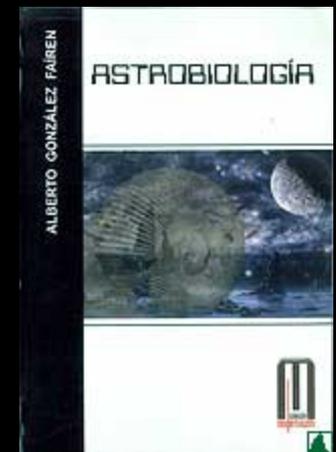
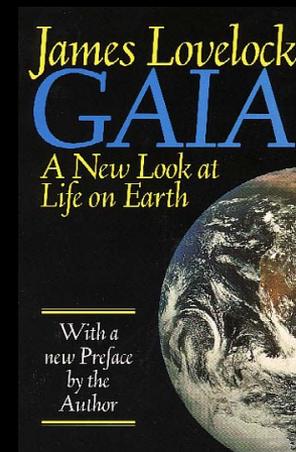
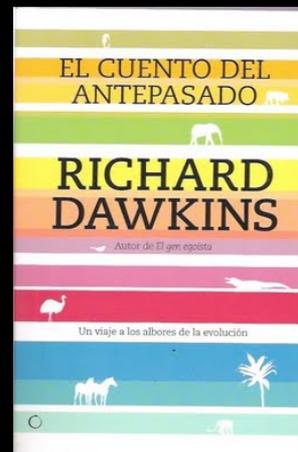
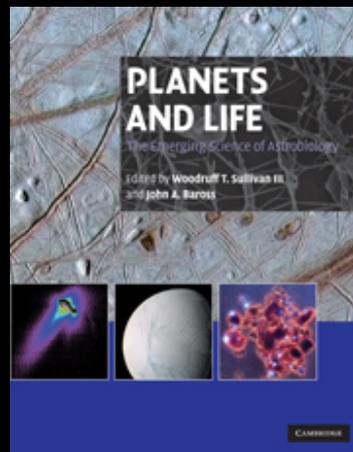
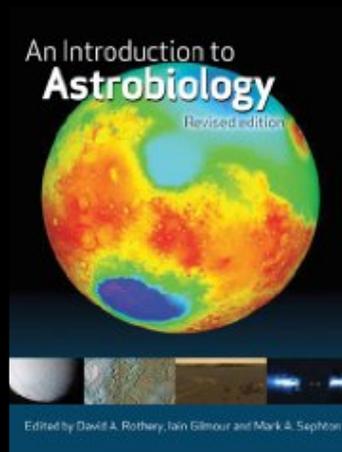
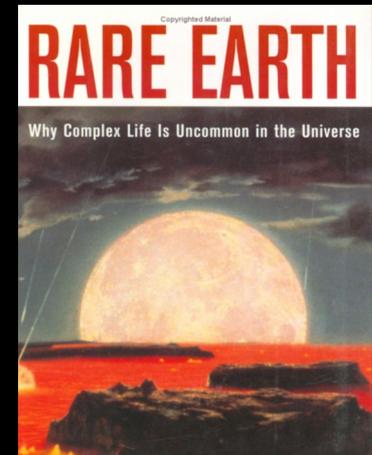
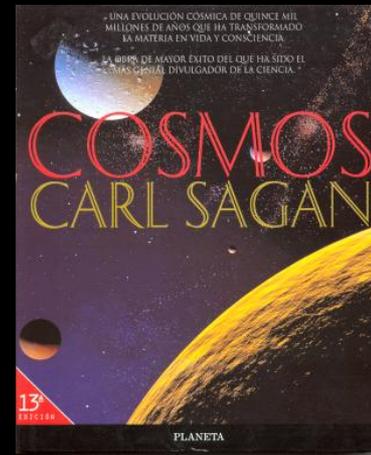
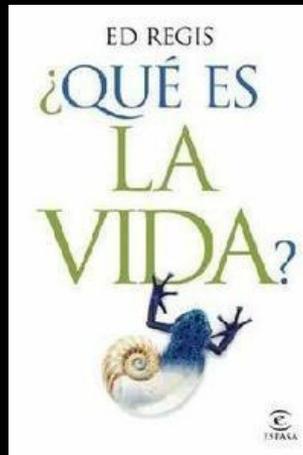
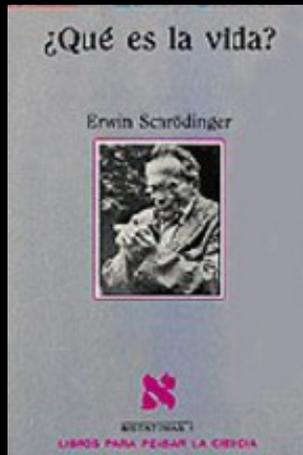
Algunas consideraciones finales

Una serie de **opiniones personales**:

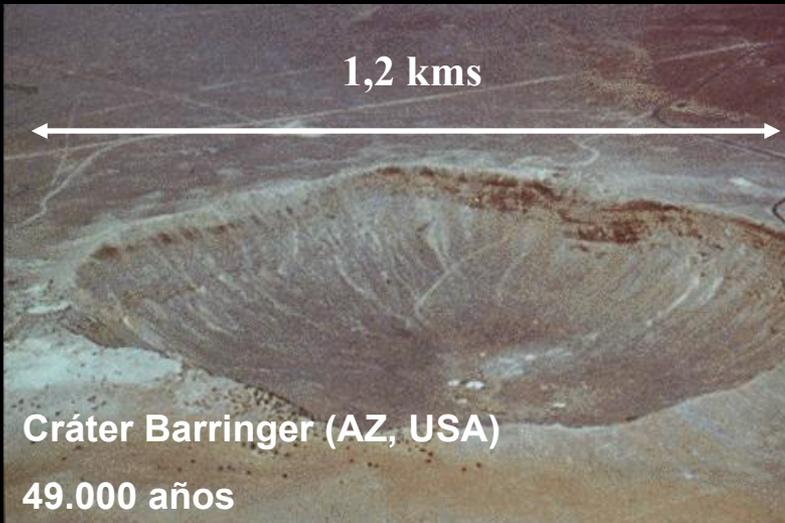
- A la luz de las actuales evidencias y teorías cosmológicas, astronómicas y biológicas, creo que **NO** es posible responder taxativamente a la pregunta “¿estamos solos en el Universo?”
- Con todo, de existir o haber existido vida en nuestro **Sistema Solar**, es muy probable que ésta sea de un nivel de complejidad relativamente bajo. A lo largo del siglo XXI es muy probable que seamos capaces de encontrar estos rastros pasados o presentes de vida en nuestro entorno.
- También en los próximos años seremos capaces de trazarnos un esquema mucho más concluyente sobre la presencia de vida alrededor de **otras estrellas**. Las probabilidades de encontrar resultados positivos aumentan con el número de casos, pero nuestra probabilidad de interactuar con ellos disminuye.
- Mientras tanto, el único planeta que conocemos que alberga vida está atravesando una de las extinciones masivas más intensas de la historia geológica. Estamos en lo que algunos han llamado **Antropoceno**, una era geológica marcada fundamentalmente por la interacción del hombre con el planeta.
- En nuestras manos está **preservar** el único ejemplo conocido de vida en el Universo.
- Finalmente, si algo caracteriza a la vida y su **adaptabilidad y capacidad de sorprender** al ser humano. Mantengamos los ojos bien abiertos para ser capaces de distinguirla allá donde se encuentre.

Temas de discusión

Un poco de lectura...

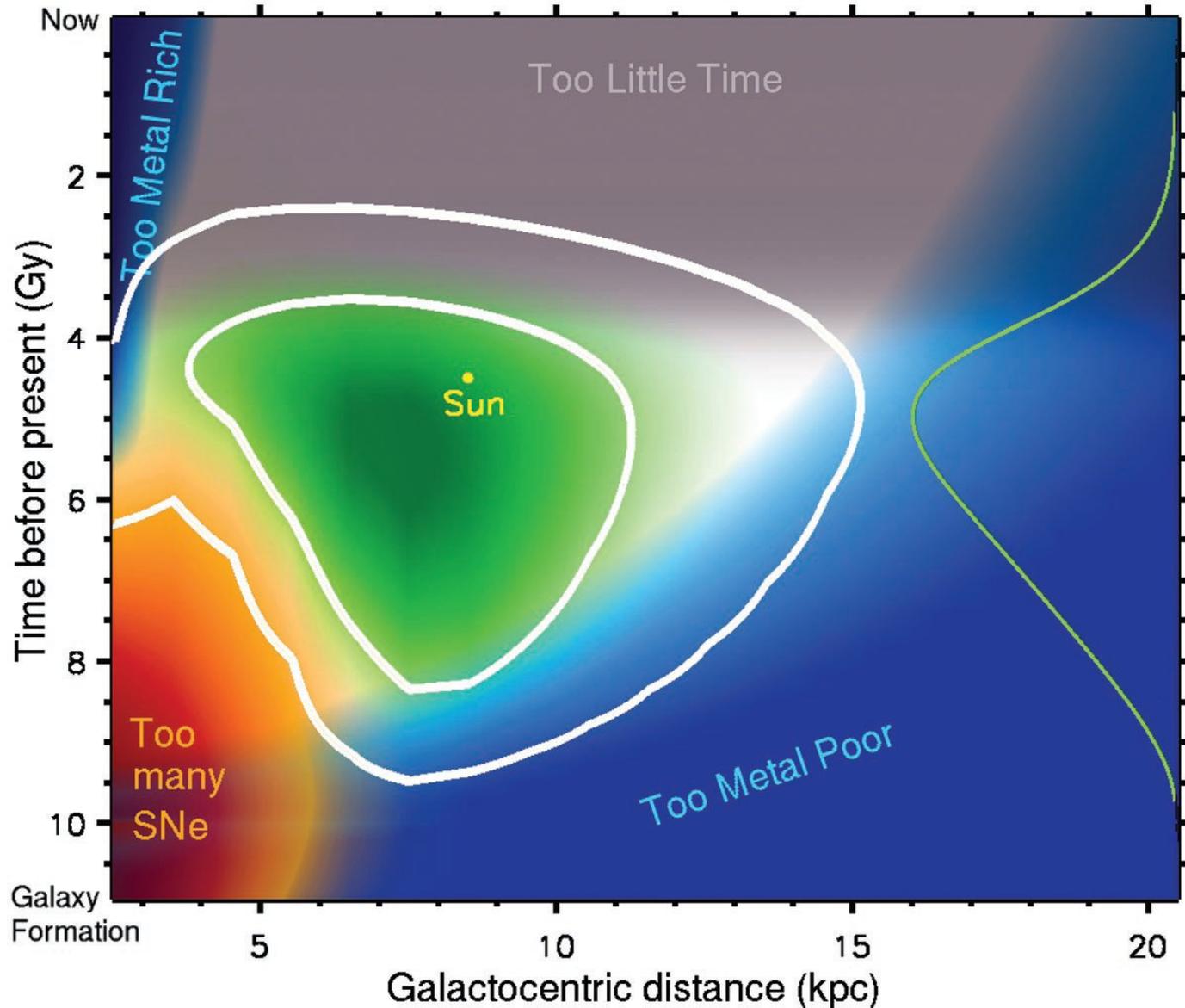


Riesgo y oportunidad



Tunguska, Siberia – 30 Junio 1908
500 veces la explosión de Hiroshima

Zona de Habitabilidad Galáctica

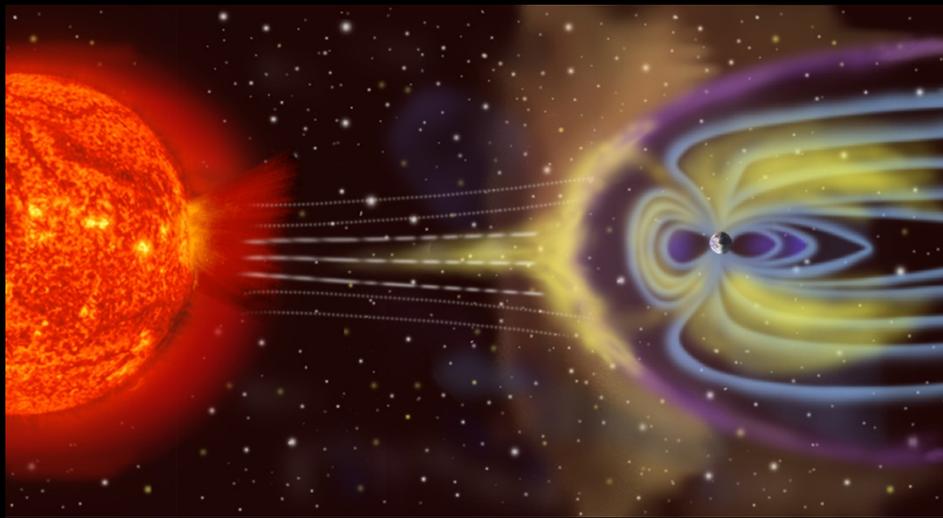


Lo que hay entre las estrellas

Number of Atoms										
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12+
H ₂	C ₂	c-C ₂ H	C ₃	C ₃ H	C ₃ H	CH ₂ C ₂ N	CH ₂ C ₂ H	CH ₂ C ₂ N?	HC ₃ N	C ₂ H ₆
AlF	C ₂ H	l-C ₂ H	C ₃ H	l-H ₂ C ₄	CH ₂ CHCN	HCOOCH ₃	CH ₂ CH ₂ CN	(CH ₂) ₂ CO		HC ₁₁ N
AlCl	C ₂ O	C ₃ N	C ₃ Si	C ₃ H ₄	CH ₂ C ₂ H	CH ₂ COOH?	(CH ₂) ₂ O	NH ₂ CH ₂ COOH?		PAHs
C ₂	C ₂ S	C ₂ O	l-C ₃ H ₂	CH ₂ CN	HC ₃ N	C ₂ H	CH ₂ CH ₂ OH			C ₆₀ ??
CH	CH ₂	C ₂ S	c-C ₃ H ₂	CH ₂ NC	HCOCH ₃	H ₂ C ₆	HC ₂ N			
CH ⁺	HCN	C ₂ H ₂	CH ₂ CN	CH ₂ OH	NH ₂ CH ₂	HOCH ₂ CHO	C ₆ H			
CN	HCO	CH ₂ D ⁺ ?	CH ₄	CH ₂ SH	c-C ₂ H ₂ O					
CO	HCO ⁺	HCCN	HC ₂ N	HC ₂ NH ⁺						
CO ⁺	HCS ⁺	HCNH ⁺	HC ₂ NC	HC ₂ CHO						
CP	HOC ⁺	HNCO	HCOOH	NH ₂ CHO						
CSi	H ₂ O	HNCS	H ₂ CHN	C ₃ N						
HCl	H ₂ S	HOCO ⁺	H ₂ C ₂ O							
KCl	HNC	H ₂ CO	H ₂ NCN							
NH	HNO	H ₂ CN	HNC ₂							
NO	MgCN	H ₂ CS	SiH ₄							
NS	MgNC	H ₂ O ⁺	H ₂ COH ⁺							
NaCl	N ₂ H ⁺	NH ₃								
OH	N ₂ O	SiC ₂								
PN	NaCN	CH ₃								
SO	OCS									
SO ⁺	SO ₂									
SiN	c-SiC ₂									
SiO	CO ₂									
SiS	NH ₂									
CS	H ₂ ⁺									
HF	H ₂ D ⁺									



Magnetismo y vida



➤ El Sol no sólo nos da la vida: también nos pone en **peligro** continuo por las radiaciones más energéticas que emite.

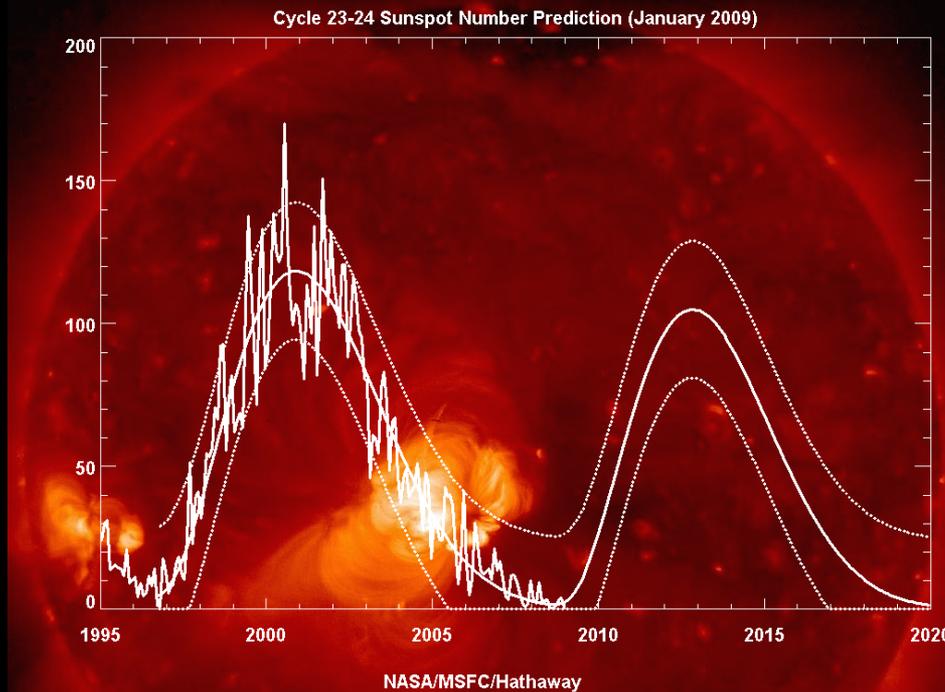
➤ Si bien la mayor parte de la energía se encuentra en forma de radiación visible (inocua para la vida), una fracción considerable se encuentra en forma de **radiación ultravioleta**, parcialmente bloqueada por nuestra **capa de ozono**, pero también muy peligrosa.

➤ La lluvia de partículas cargadas que constituye el llamado **viento solar** bombardea nuestro planeta continuamente, si bien sigue **ciclos de actividad** de unos 11 años.

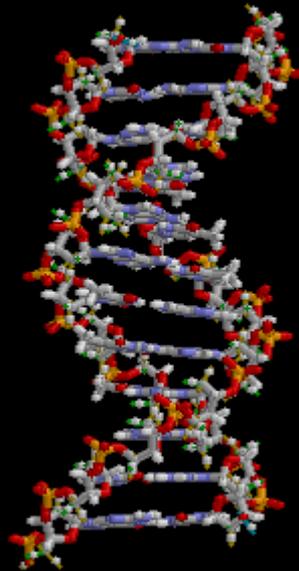
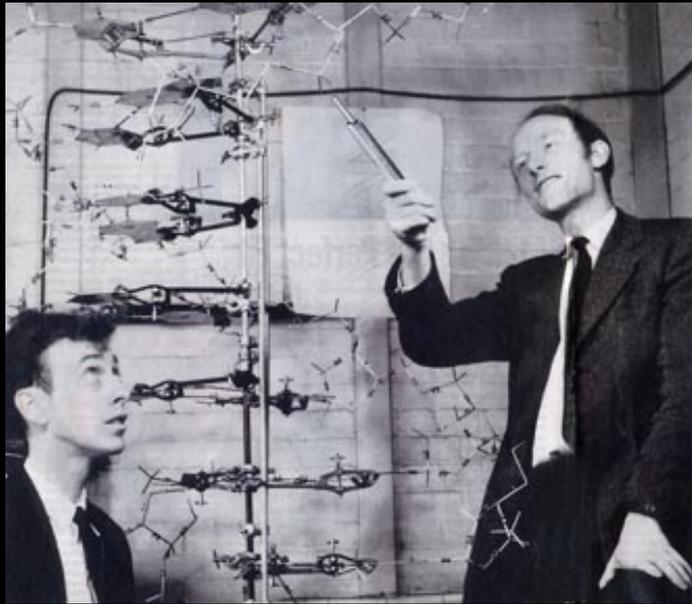
➤ Las partículas cargadas (provengan o no del Sol) son atrapadas por el campo magnético terrestre y conducidas hacia las zonas polares donde dan lugar a las llamadas **auroras** boreales o australes.

➤ Durante las **tormentas geomagnéticas**, el propio campo magnético terrestre se ve afectado por la actividad solar.

➤ Por tanto, un **campo magnético** bien desarrollado (lo que implica un núcleo fundido) y posiblemente de naturaleza dipolar parece una condición necesaria para el desarrollo de vida compleja en superficie.

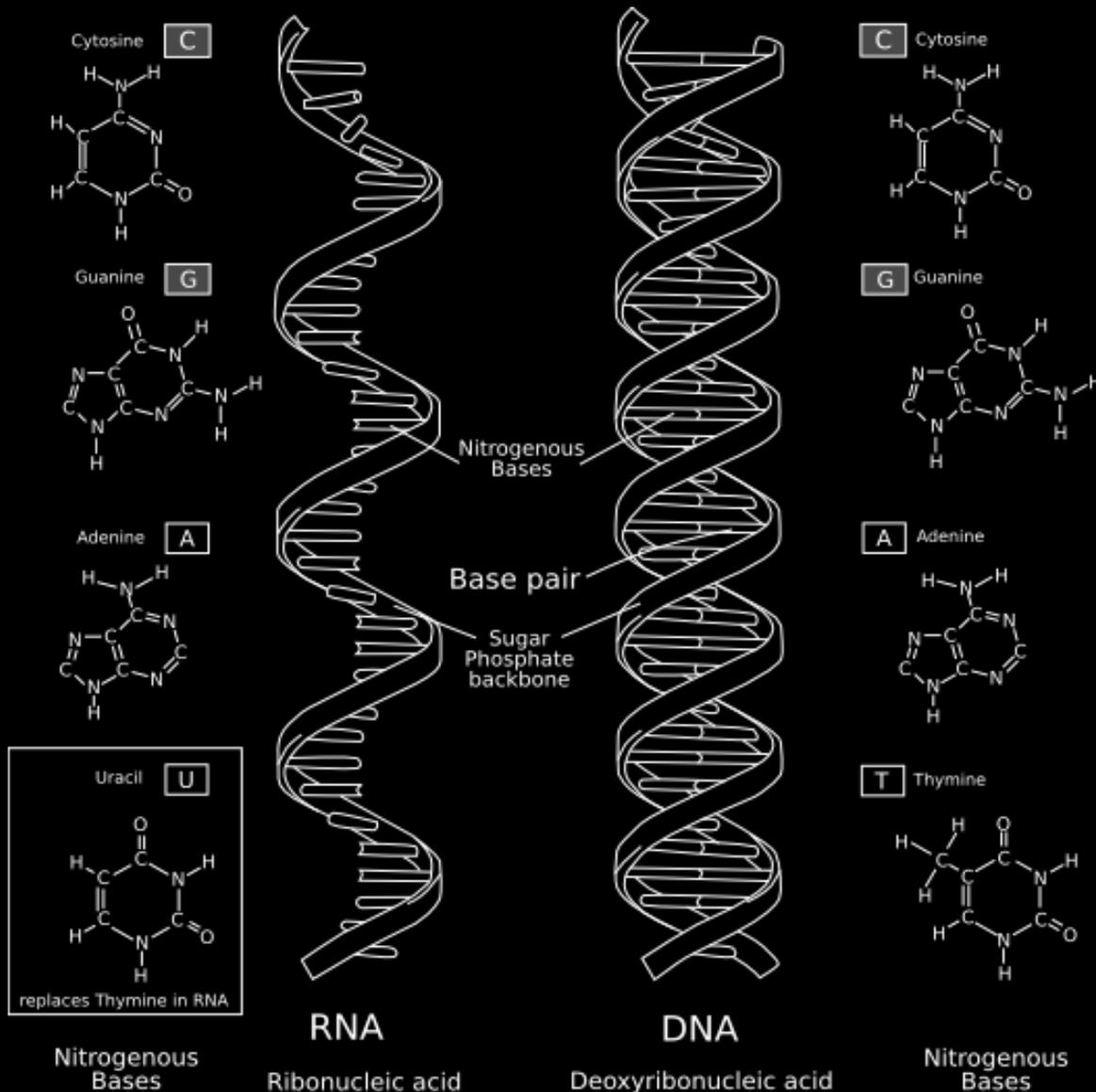


La doble hélice



- En 1953, Watson y Crick proponen la estructura de **doble hélice** para el ácido desoxirribonucleico o ADN, a partir de una sola imagen tomada mediante difracción de rayos X tomada un año antes por Franklin y Gosling.
- Esta molécula es capaz de sintetizar **toda la información** contenida en los seres vivos en cuatro bases complementarias. Además de la síntesis de proteínas, se encarga de la auto-replicación. Este es uno de los elementos básicos de lo que suele considerarse vida.
- El descubrimiento aportó la **base química** que uniendo la teoría de la evolución de Darwin y la genética de Mendel. Permite incluso la creación de relojes moleculares a lo largo de la evolución.
- El ADN establece un vínculo entre todos los seres vivos del planeta y abre una nueva pregunta: ¿usarán ADN los seres **extraterrestres** para codificar toda su información?

El mundo ARN



➤ El ADN, durante su proceso de duplicación, precisa de la participación de una molécula algo más sencilla e inestable: el ácido ribonucleico o **ARN** (mensajero).

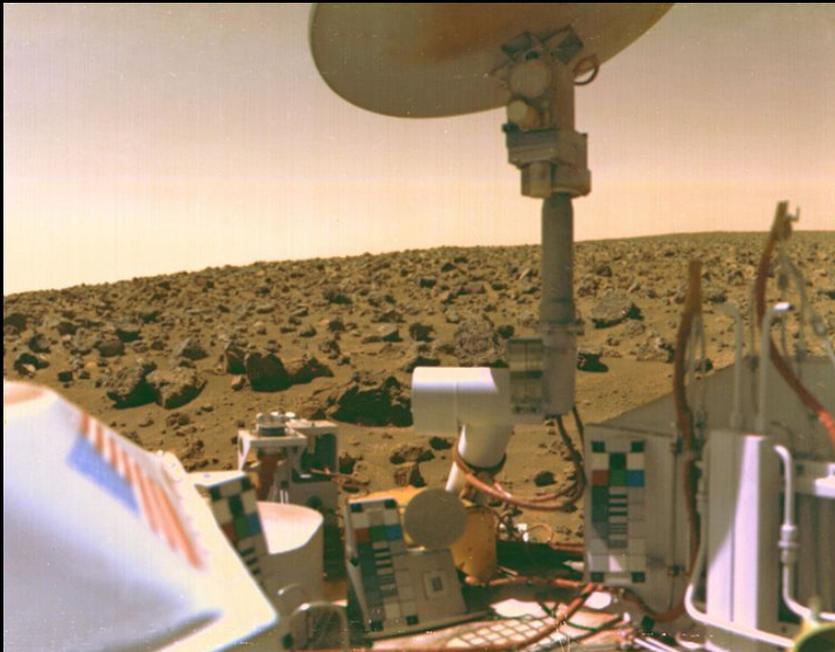
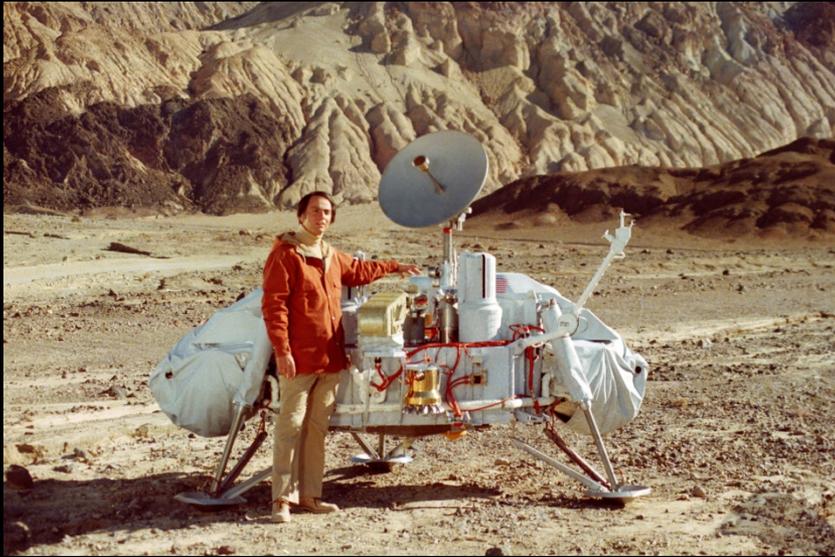
➤ El descubrimiento de la síntesis del ARN valió el premio Nobel a **Severo Ochoa** en 1959.

➤ En 1986, el premio Nobel Walter Gilbert propone la existencia de una **biología pre-ADN** basada en el ARN.

➤ El **mundo ARN** no está demostrado, es una especulación con cierto grado de verosimilitud.

➤ En todo caso, parece que el paso de una era de la química a una **era de la información** se dio en algún momento de la evolución del planeta, antes de la aparición de la protocélula.

El experimento de las Viking



- Cada una de las sondas dos **sondas Viking** que aterrizaron en Marte en 1976 portaba un módulo de experimentos biológicos.
- Los resultados que ofrecieron fueron **nada concluyentes** y dejaron abierta la puerta a la presencia o ausencia de vida en los lugares donde aterrizaron.
- A día de hoy se piensa que los experimentos **no estaban bien diseñados** ya que al calentar las muestras para analizarlas se acelerarían reacciones químicas que destruirían los posibles restos biológicos.

Los otros meteoritos



Alais, 1806

➤ Existen muchos otros meteoritos (normalmente **condritas carbonáceas** que son interesantes desde el punto de vista de la Astrobiología.

➤ Todos ellos poseen en mayor o menor medida abundancia de material orgánico (sobre todo **aminoácidos**) en la línea de todo lo expuesto hasta ahora.

➤ Algunos de ellos han sido reanalizados mediante microscopios de barrido electrónico y algunos autores afirman que existen estructuras que recuerdan a **cianobacterias** terrestres.

➤ Sin embargo, estas publicaciones han despertado un enorme **escepticismo** entre la comunidad científica que considera que las evidencias son débiles y la metodología defectuosa.



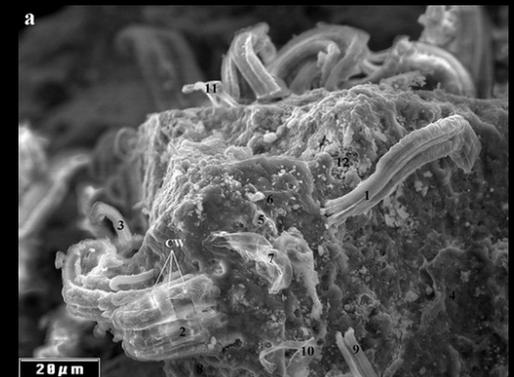
Orgueil, 1864



Murray, 1950



Ivuna, 1938



¿Vida en rincones ocultos?



- A lo largo de la historia reciente de la ciencia del Sistema Solar, se ha propuesto con cierta seriedad la presencia de vida en **entornos exóticos**: las nubes de Júpiter (ricas en compuestos orgánicos pero carentes de superficie), las nubes de ácido sulfúrico de Venus, etcétera.
- Para tratar de cuantificar las posibilidades de que haya vida en otros lugares, se han establecido un índice de similitud con la Tierra (**ESI**) y un índice de habitabilidad planetaria (**PHI**). Ambas listas están lideradas por Titán.
- También el **medio interplanetario** y objetos como asteroides o cometas pueden ser ricos en material orgánico. Sin embargo, su fuerte exposición a la radiación solar los convierte en objetos secundarios en esta búsqueda.

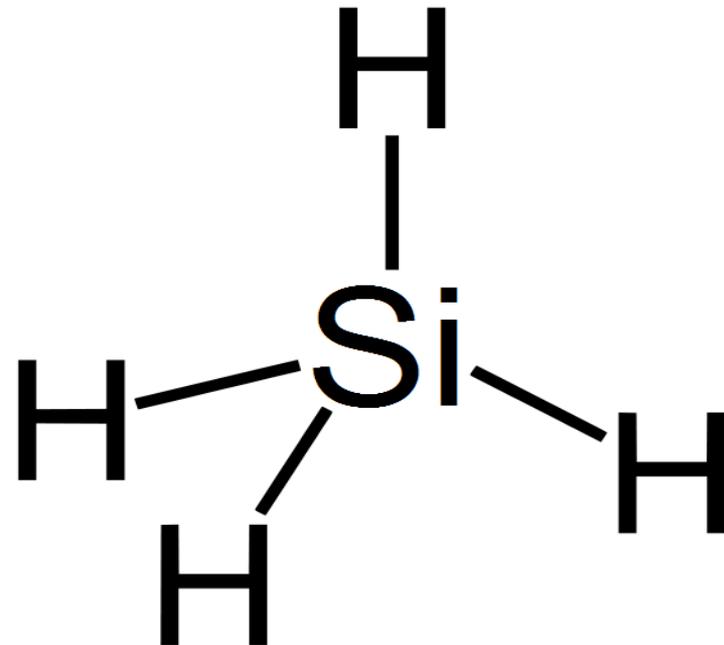
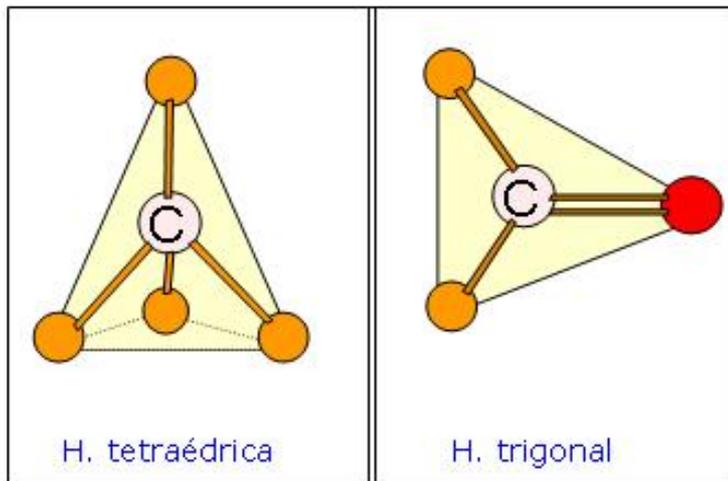


¿Vida de Silicio?

LA DISPOSICIÓN ESPACIAL DE LOS ENLACES EN EL CARBONO: HIBRIDACIONES:

Aunque representaremos los átomos en el plano, estos en realidad se encuentran orientados en el espacio. El carbono, dependiendo de los enlaces covalentes, puede tener tres tipos de disposición espacial o hibridaciones.

- **Hibridación tetraédrica:** Cuatro enlaces simples
- **Hibridación trigonal:** Uno doble y dos simples.
- **Hibridación digonal:** Dos dobles o uno simple y uno triple.

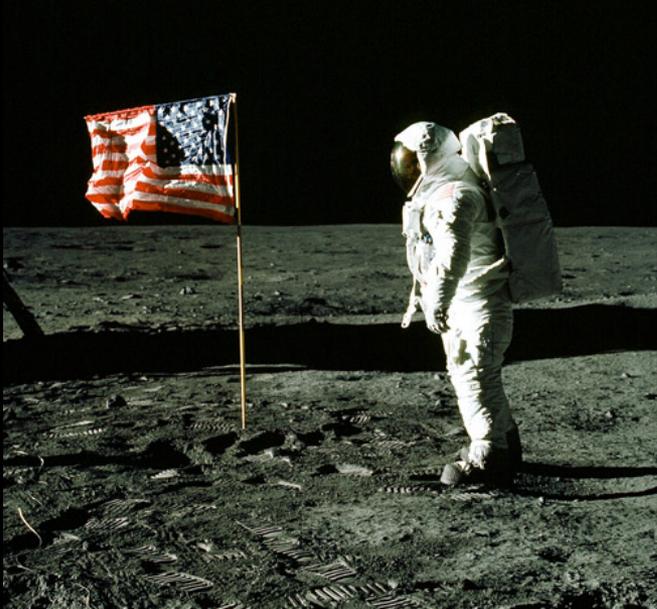


El fenómeno OVNI



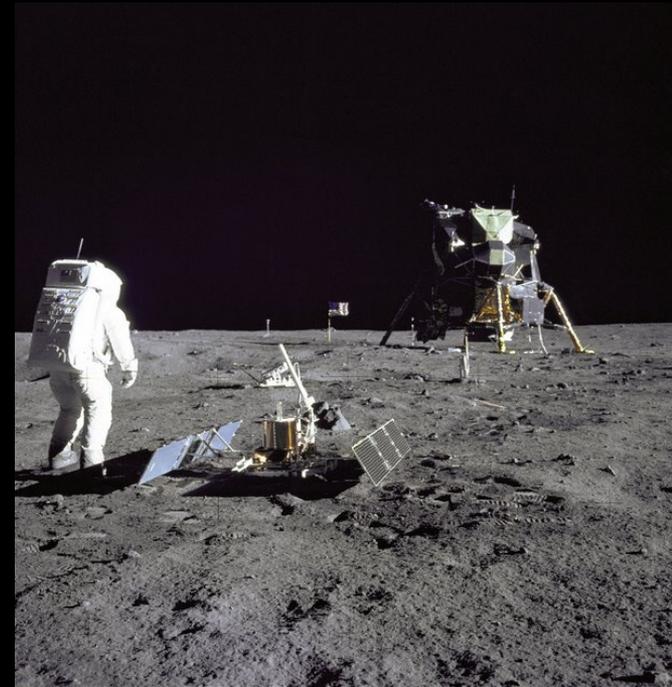
- El fenómeno OVNI nace en USA en los años 50 y 60, en plena **guerra fría**.
- El periodista Bill Bequette inventó los **platillos volantes** al equivocarse al transcribir una declaración de un testigo en 1947.
- La primera supuesta **abducción** tuvo lugar en 1961. Betty Hill, aficionada al tema de los platillos volantes, comienza a tener pesadillas y afirma que ella y su marido fueron secuestrado. Tras la emisión de un telefilme en 1976 los casos se multiplican.
- El **color verde** de los marcianos parece hundir sus raíces en el folklore celta. Hasta 1912 con un libro de Edgar Rice Burroughs nunca habían sido descritos así.
- La emisión radiofónica de La Guerra de los Mundos de **Orson Wells** en 1938 también dejó una profunda huella en el imaginario popular.

El hombre en la Luna



una foto a la luz del
Sol de mediodía es
terriblemente breve
→ no salen estrellas

reflector laser
(LLRE)

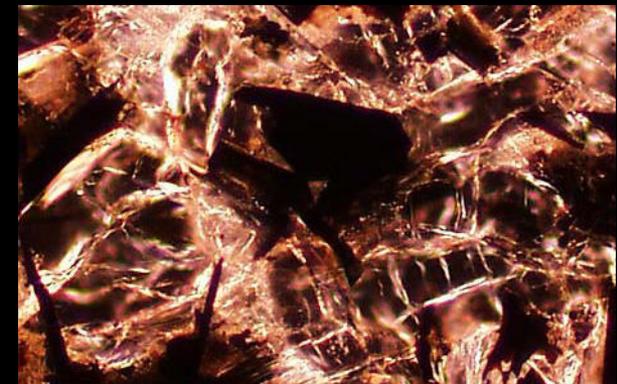


ROCAS LUNARES

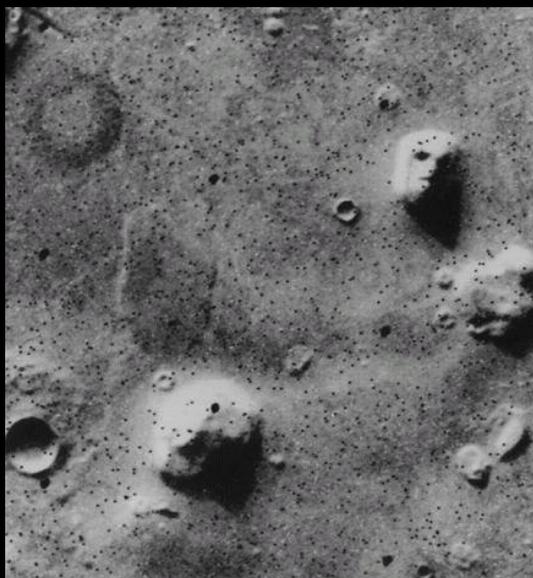
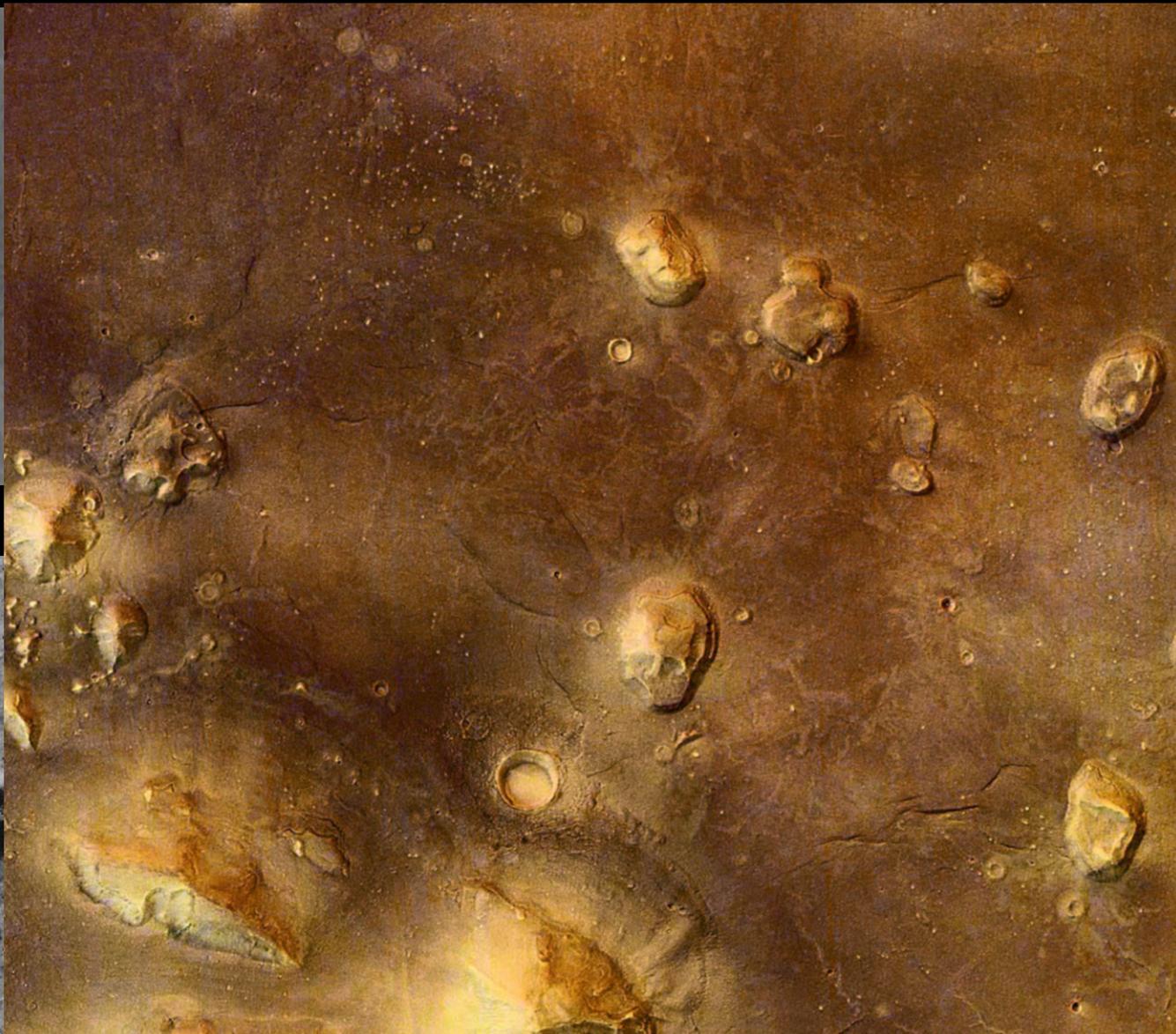
- 6 misiones Apollo
- entre 1969 y 1972
- 2200 muestras
- 382 kg de muestras

rusos (URSS)

- 3 misiones Luna (no tripuladas) 16, 20 y 24
- ✂ → 300 g de muestras



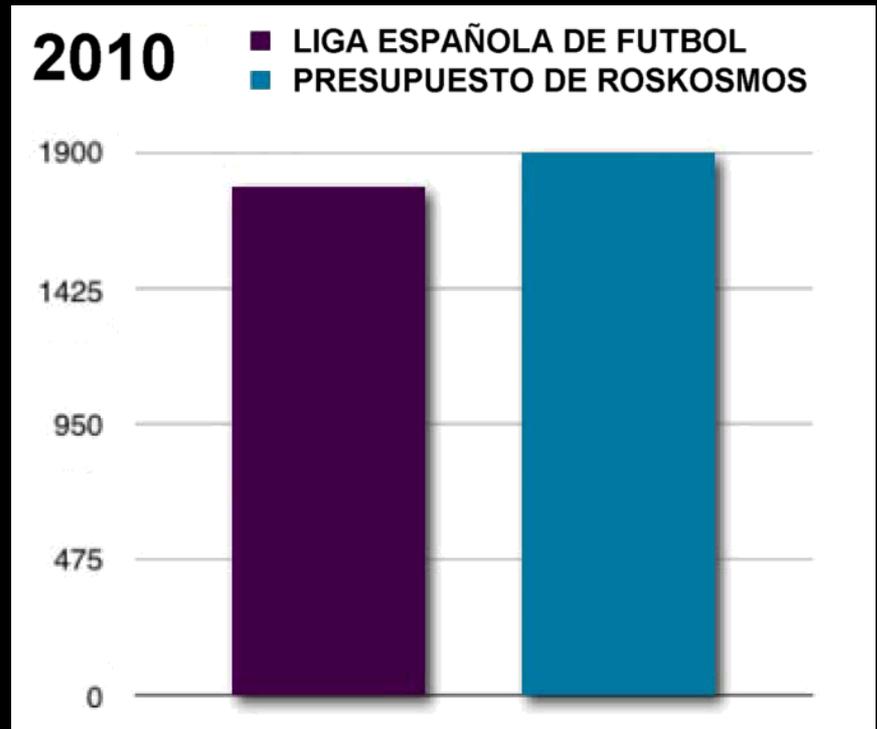
La cara de Marte



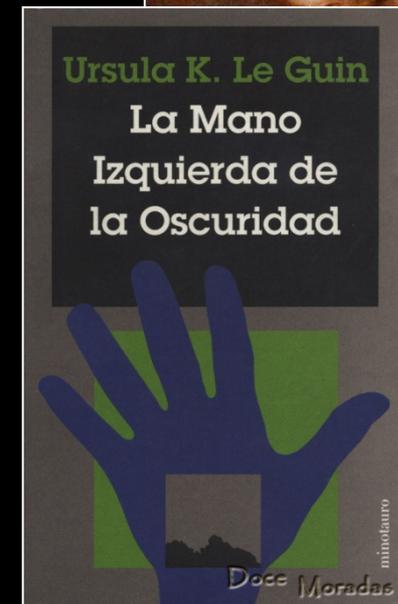
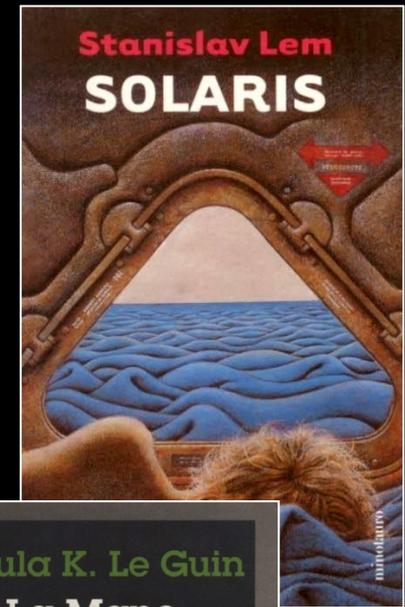
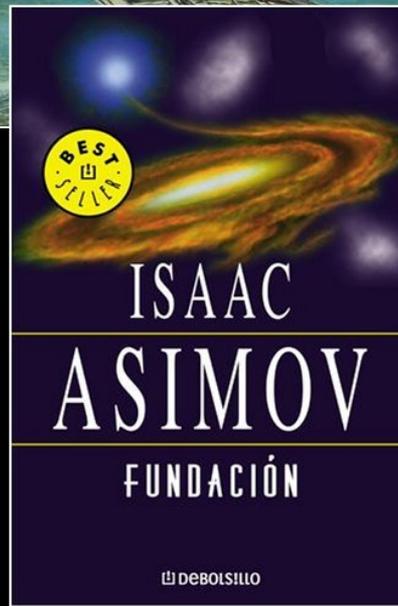
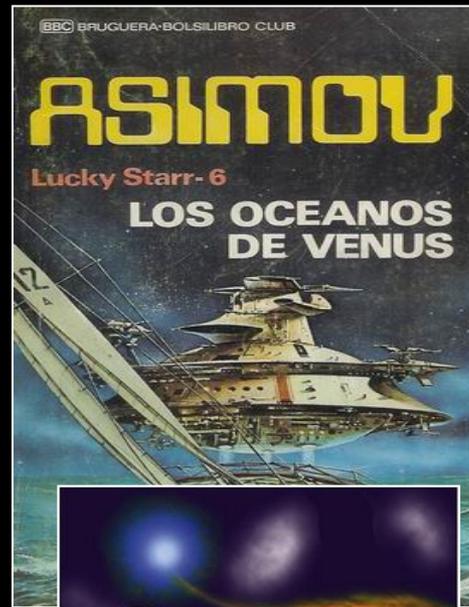
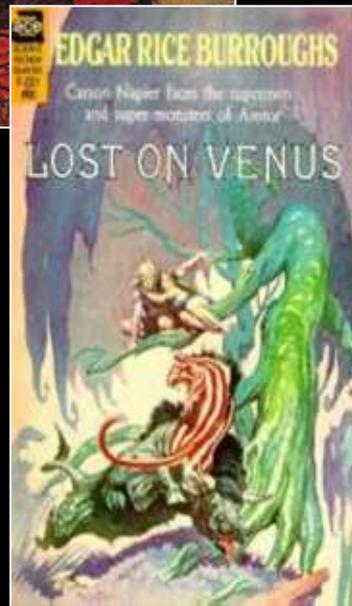
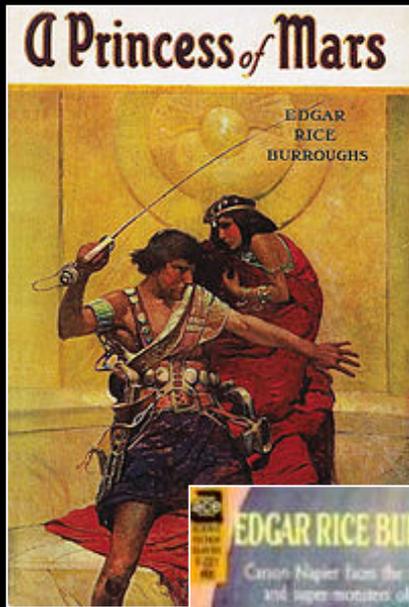
El gasto espacial

➤ *En salvar a los bancos, europeos y norteamericanos hemos comprometido dinero suficiente para hacer unas mil misiones tripuladas a Marte y mantener el CERN durante más de diez mil años: las dos cosas a la vez y pagadas a tocateja con un solo cheque.*

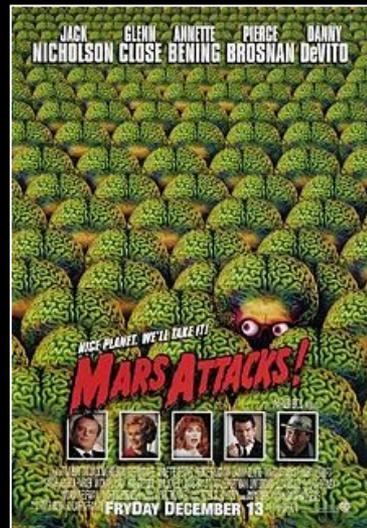
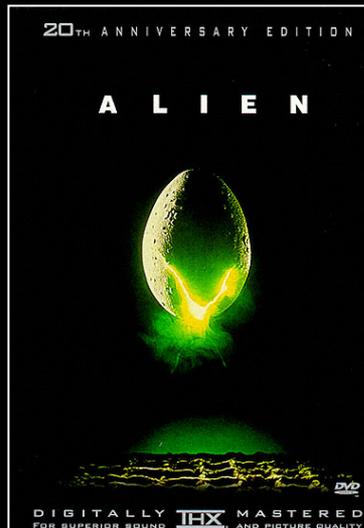
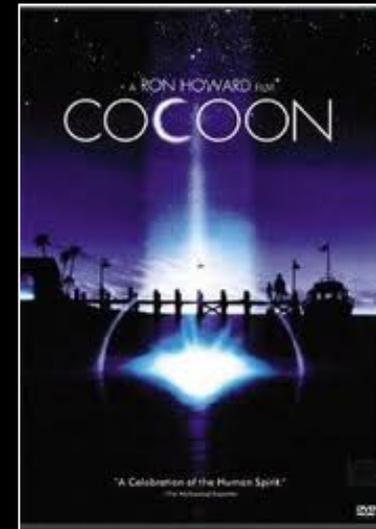
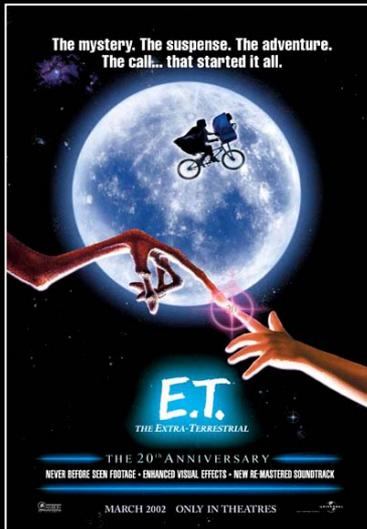
➤ *La ESA cuesta 10 euros al año por contribuyente europeo.*



Literatura y Astrobiología



Películas y... ¿Astrobiología?



Filosofía y Astrobiología

"Pues los hombres comienzan y comenzaron siempre a filosofar movidos por la admiración; al principio, admirados ante los fenómenos sorprendentes más comunes; luego, avanzando poco a poco planteándose problemas mayores, como los cambios de la luna y los relativos al sol y a las estrellas, y la generación del universo. Pero el que se plantea un problema o se admira, reconoce su ignorancia."

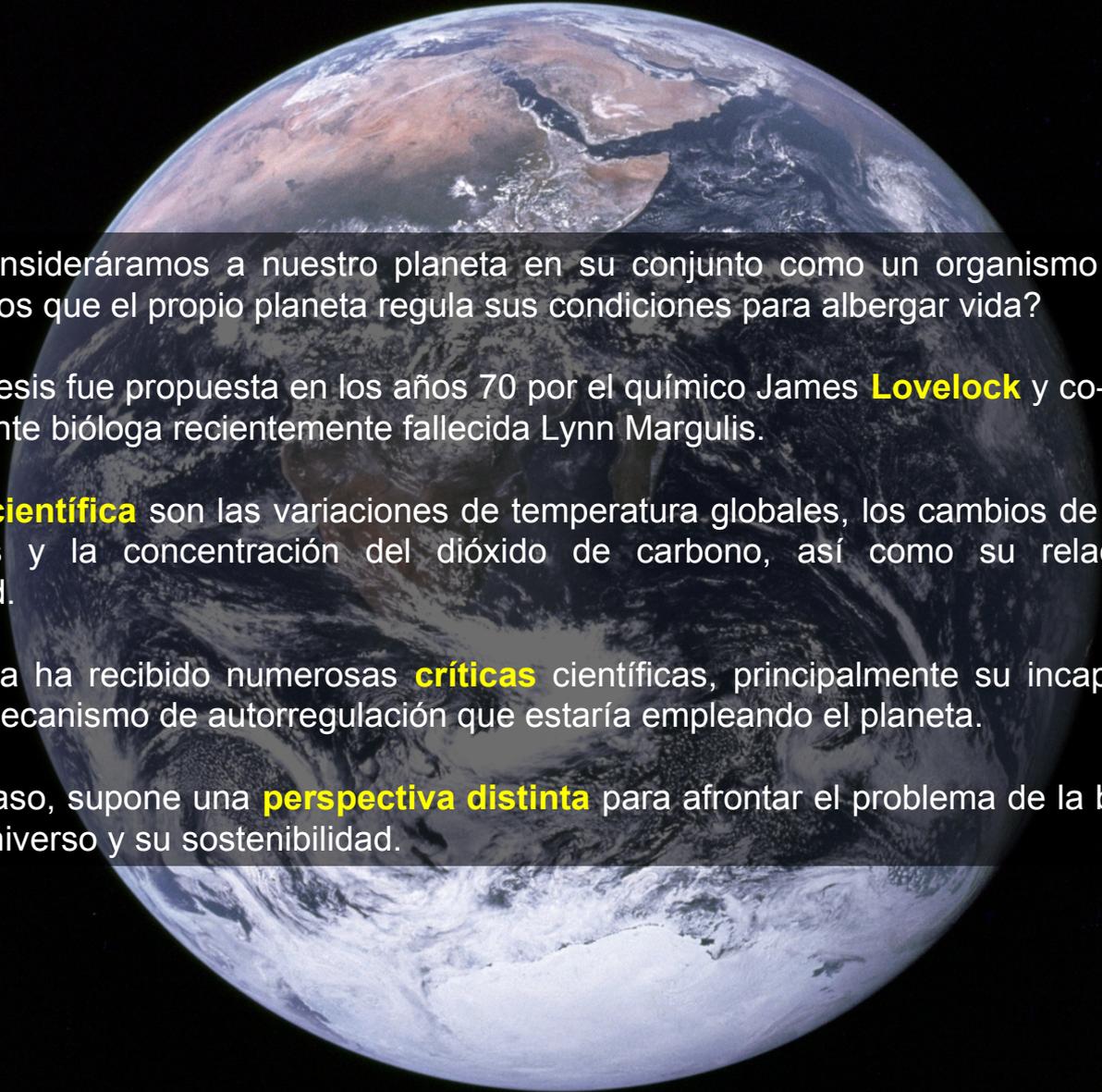
ARISTÓTELES (filósofo griego del s. IV a. C.): Metafísica I, 982b12-24.

"Por lo cual, una vez más, fuerza es reconocer que hay en otras partes otras combinaciones de materia semejantes a este mundo que el éter ciñe con ávido abrazo. Además, cuando hay materia disponible en abundancia, espacio a discreción y no hay obstáculo ni razón que se oponga, deben, no hay duda, iniciarse procesos y formarse cosas. Pues bien, si tan grande es el caudal de átomos que no alcanzaría a contarlos la vida entera de los seres vivientes, y persiste en ellos la misma propiedad natural de juntar en cualquier sitio los elementos, del mismo modo que los agregó en nuestro mundo, necesario es reconocer que en otras partes deben existir otros orbes de tierras, con diversas razas humanas y especies salvajes."

LUCRECIO (poeta y filósofo romano, del s. I a. C.), De Rerum Natura, Libro II. De la Naturaleza. Barcelona: Planeta, 1987, pp. 67-68).

- La Astrobiología es una **ciencia multidisciplinar**: físicos (geofísicos, astrofísicos, climatólogos, cosmólogos, etc), biólogos (biólogos evolutivos, genetistas, ecólogos, bioquímicos, etc), geólogos, químicos, matemáticos, ingenieros, sociólogos, teólogos, filósofos y otros muchos profesionales trabajan en este campo.
- Sin haber descubierto realmente el objetivo de estudio, ha servido como **catalizador** científico y filosófico acerca de los orígenes de la vida, la conciencia y el ser humano.
- El descubrimiento de otras formas de vida supondría un **gran cambio** en nuestra visión del Universo.

La hipótesis Gaia

- 
- ¿Y si consideráramos a nuestro planeta en su conjunto como un organismo vivo? ¿Y si encontraríamos que el propio planeta regula sus condiciones para albergar vida?
 - Esta hipótesis fue propuesta en los años 70 por el químico James **Lovelock** y co-desarrollada por la eminente bióloga recientemente fallecida Lynn Margulis.
 - Su **base científica** son las variaciones de temperatura globales, los cambios de salinidad de los océanos y la concentración del dióxido de carbono, así como su relación con la biodiversidad.
 - Esta teoría ha recibido numerosas **críticas** científicas, principalmente su incapacidad para articular el mecanismo de autorregulación que estaría empleando el planeta.
 - En todo caso, supone una **perspectiva distinta** para afrontar el problema de la búsqueda de vida en el Universo y su sostenibilidad.