



# 11

## La Tierra y la vida

11.1 Formación del Sistema Solar

11.2 Evolución de la Tierra

11.3 Vida extraterrestre

*Elementos y estrellas, planetas y tiempo, aire y agua: ¿qué sería todo eso sin vida inteligente que lo iluminase con la percepción y la comprensión?*

*Nosotros que poseemos el fugaz don de la vida y la conciencia nos preocupamos más, sin embargo, por pasar nuestros días agradablemente que por definir qué significa estar vivo o ser inteligente, aunque en todos los tiempos los hombres y mujeres han deseado comprender qué sentido podían tener sus propias vidas. Algunos hasta han buscado significados más universales. Los que han proseguido esa búsqueda científicamente han llegado hasta las fronteras mismas de la vida y no han encontrado ningún límite claro entre lo vivo lo no vivo.*

Preston Cloud, *El cosmos, la Tierra y el hombre*

En el tema anterior hemos resumido nuestros conocimientos sobre los objetos del sistema planetario: temperaturas, tamaños, composición y atmósferas y relieves detectados. Pretendemos, ahora, comprender cómo se ha llegado a la situación actual, por qué hay esos dos grandes grupos tan distintos de planetas, los rocosos y los líquidos, cómo aparecen los satélites, por qué la Tierra tiene esa atmósfera tan distinta, cuál es la causa de las montañas en los cuerpos sólidos y de los vientos en las atmósferas de los gigantes. Para esta comprensión del Sistema Solar, de cómo se han formado y evolucionado sus objetos, es preciso relacionar todos los datos disponibles y encajarlos en una teoría conjunta y coherente. A través de numerosas investigaciones, se ha ido perfilando la evolución de nuestro sistema planetario, aunque con muchas lagunas y cuestiones todavía mal comprendidas. Los nuevos datos aportados por las misiones espaciales a menudo, más que resolver nuestras muchas dudas, lo que hacen es plantearnos nuevos interrogantes. Y los que aportarán las futuras seguramente cambiarán nuestras ideas al respecto en un plazo muy breve. Por el momento un esbozo de nuestros orígenes es el que sigue.

## 11.1 FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR

### *Nebulosa*

La nebulosa protosolar debía formar parte de una mucho mayor de la que se originó un enjambre de estrellas (unas 2.000). Esto explica su contaminación con otros materiales (provenientes de los residuos de estrellas cercanas y masivas, de vida corta) y pequeño tamaño (restringido por las demás protoestrellas). La conocida gran nebulosa de Orión (M 42) podría ser semejante; en ella están naciendo estrellas y se han observado abundantes discos protoestelares.



Así, nuestra porción de nebulosa era de las llamadas de “segunda generación” puesto que contenía ya otros materiales además de la composición primordial de todo el universo (H y He). Los nuevos elementos eran, fundamentalmente, O, C, Ne, Fe, N, Si, Mg y S procedentes de las reacciones nucleares en estrellas masivas y llevados al medio interestelar por vientos o explosiones estelares.

Estos nuevos elementos fueron reaccionando entre sí y con el H existente (el He es un gas noble, con ninguna tendencia a unirse con la plebe), de modo que al comienzo de la formación del sistema solar la nebulosa contenía:

- Un 98% de gases: hidrógeno molecular  $H_2$ , helio He y trazas de nitrógeno  $N_2$  y de oxígeno.
- Volátiles, también llamados “hielos” de forma genérica: sustancias que no necesitan temperaturas muy altas para pasar al estado gaseoso, como el agua ( $H_2O$ ), metano ( $CH_4$ ), amoníaco ( $NH_3$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ).
- Sólidos: rocas (silicatos), metales, grafito.

Dadas las frías temperaturas reinantes (50 K), el agua, el metano y el amoníaco estaban congelados, formando pequeñas partículas sólidas con tendencia a unirse a las rocas y los metales en unos granos de polvo cuyo tamaño típico es de algunas micras, suspendidos en el gas de la nebulosa (al igual que vemos motas de polvo flotando en el aire de nuestra habitación en la zona iluminada por la luz que entra por las rendijas de una persiana).

O sea que había gases ( $H_2$  y He), y granos de polvo (partículas sólidas de hielos con incrustaciones de rocas y metales).

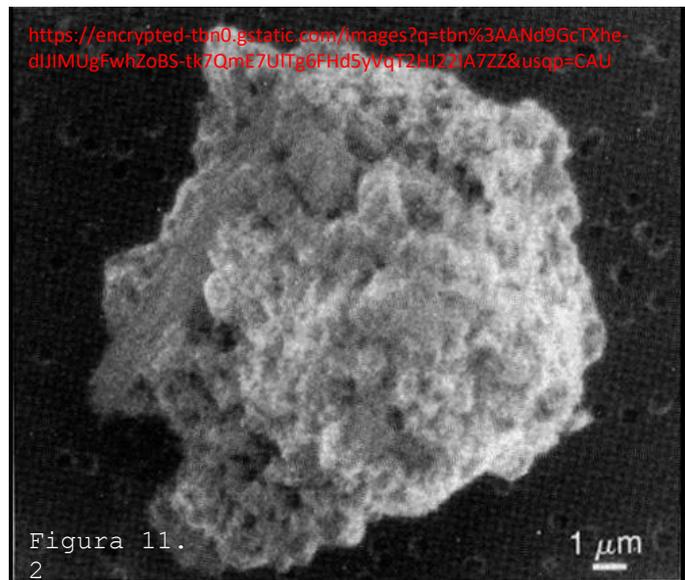
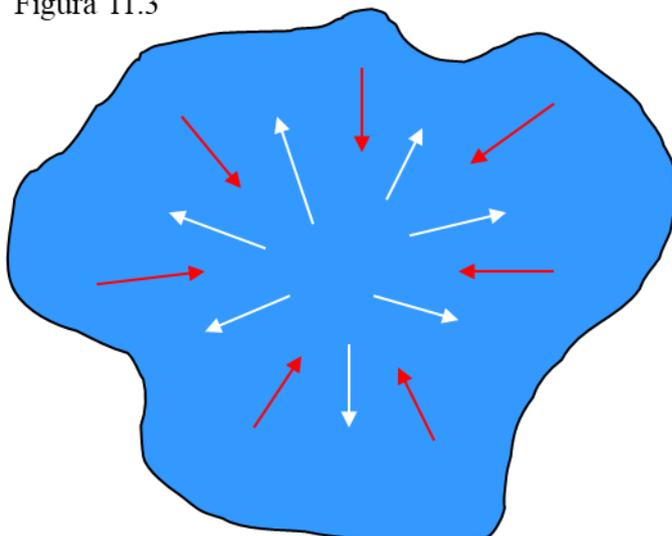


Figura 11.2

Figura 11.3



De momento estaba perfectamente tranquila, equilibrando su gravedad (flechas rojas, que tendería a contraerla) con su presión (flechas blancas) ejercida como en cualquier gas por el movimiento de sus partículas.

## Colapso y Disco

Hace unos 4.600 millones de años la nebulosa fue desestabilizada de alguna manera, posiblemente por la explosión de una supernova cercana. Los vientos de esa supernova aplastaron la nebulosa aumentando su densidad lo suficiente como para que perdiera su equilibrio a favor de la gravedad de forma que comenzó a contraerse poco a poco, pero de forma irparable.

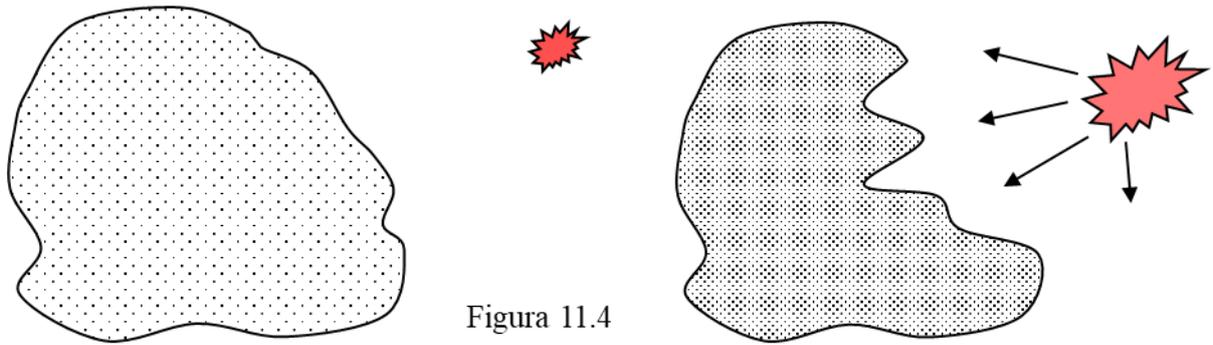


Figura 11.4

Ese empuje también provocó otro efecto: comenzó a rotar muy lentamente alrededor de un eje. Ambos combinados se fueron alimentando mutuamente y cambiaron radicalmente la forma inicial. Como consecuencia de la contracción, al hacerse más pequeña la nebulosa aumentó su velocidad de rotación, según la ley de la conservación del momento angular. Siempre se ejemplifica este hecho con una persona patinando; para aumentar la velocidad de giro el truco es recoger los brazos, encogerse.

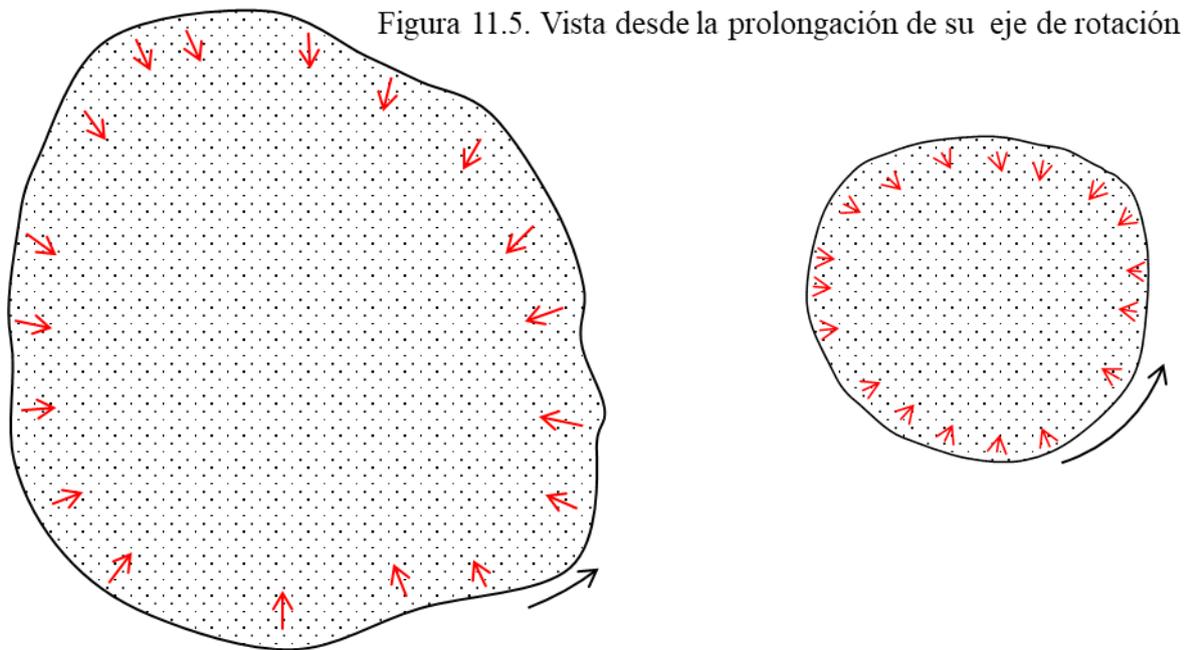


Figura 11.5. Vista desde la prolongación de su eje de rotación

Pero también se fue aplanando adoptando la forma de un platillo volante. Las partículas con poca velocidad caerían hacia el centro, pero las que habían conseguido mayor velocidad conseguirían mantenerse en órbita más o menos circular, cayendo hacia el plano “ecuatorial” y

formarían el disco.

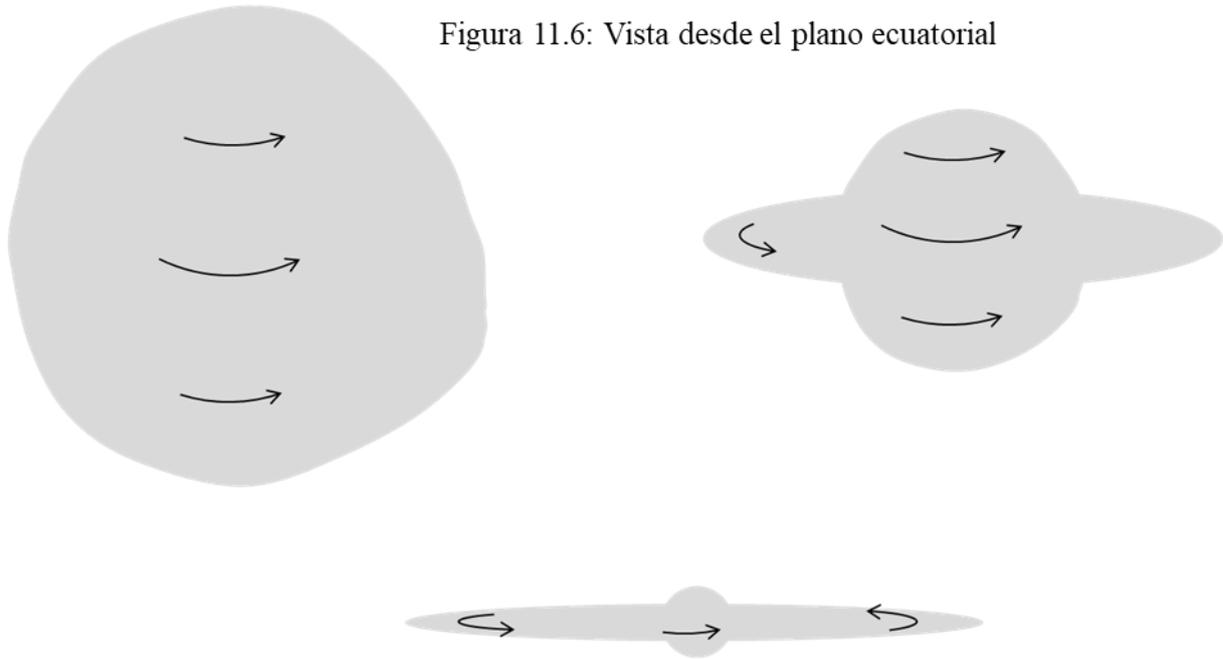


Figura 11.6: Vista desde el plano ecuatorial

En el centro se fue formando la gran concentración esférica que daría lugar al Sol; en el plano central del disco se acumularon los materiales más densos (metales, silicatos, hielos) pero también quedaba mucho gas que no había caído hacia el centro. La contracción termina cuando las velocidades de las partículas en el disco equilibran la fuerza de atracción central.

Debido a inestabilidades varias del sistema (campos magnéticos) se expulsa algo de material en forma de chorros en la dirección del eje de rotación y se transmite parte del momento angular de la protoestrella al disco de forma que la condensación central esférica gira más despacio y en cambio el disco lo hace más deprisa y ya separado e independiente. Se llega así a una estructura estable. El tamaño del disco sería una fracción del tamaño inicial de la nebulosa y contendría sólo un pequeño porcentaje del material inicial.



## Formación del Sol

La condensación central (protosol) sigue su proceso de colapso debido a la gravedad. La temperatura y la presión van en continuo aumento.

Cuando en el núcleo se alcanzan las temperaturas requeridas (unos  $10^7$  K) comienzan las reacciones de fusión del H en He de forma repentina, la emisión de radiación desde el centro hacia el exterior detiene el colapso gravitatorio y la estrella va entrando en equilibrio y llega a su posición natural en la secuencia principal del diagrama H-R (ver tema 15). El viento solar barre la parte más interna (unos 10 radios solares) del disco expulsando hacia fuera los restos de material. El tamaño del protosol es varias veces el del actual.

En ese momento se alcanza un máximo térmico en el disco, con una temperatura quizá de unos 2.000 K a la altura de la órbita terrestre. Prácticamente toda la materia estaba en forma de gas. Ahora comienza a enfriarse y la materia se va condensando. El momento en el que los primeros materiales se condensan es 4.570 Ma.

En la zona interior del disco la temperatura se mantiene alta y los volátiles siguen como gases. Hasta la actual órbita de Marte (unas 2 UA) sólo quedaron como sólidos los materiales refractarios (rocas, metales). Hay una frontera (línea de nieve planetaria, señalada por una temperatura de unos 170 K) que separa la zona interior, en la que agua, metano y amoníaco son gases, de la exterior, en la que están helados.

UA	0,5	1	2	5	10	20	40
K	1.000	500	300	150	100	50	30

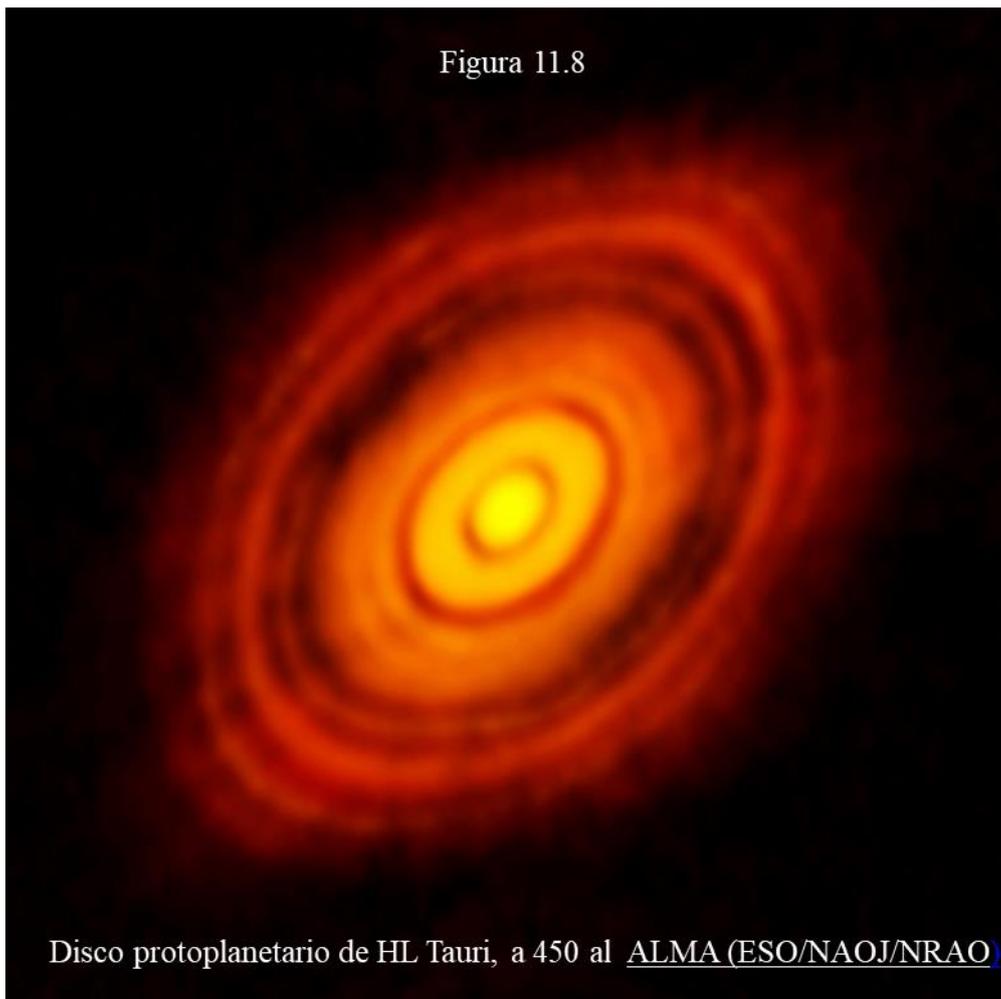
## Formación planetaria

Se produce muy rápidamente, especialmente en la zona exterior; en sólo unos 5 Ma desaparece todo resto de gas del disco. Las partículas sólidas (rocas y metales) tienden a unirse, formando grumos en constante crecimiento. Este proceso, denominado **acreción**, dio lugar a distintos tamaños de sólidos: partículas de polvo (10  $\mu$ m), cóndrulos (1mm), grumos, planetésimos (1km), asteroides (100 km) y protoplanetas del tamaño de la Luna. Los gases existentes (H, He, volátiles H<sub>2</sub>O, C H<sub>4</sub>, N H<sub>3</sub>, C O<sub>2</sub>), por ser gases y moverse libremente y a buena velocidad, no son materiales de la acreción.

- **En el interior.** El disco comienza a enfriarse y las partículas vaporizadas se van condensando (pasando a estado sólido): es el momento que se toma como nacimiento del sistema solar, hace unos 4.600 Ma. Los primeros materiales que se condensan son los CAI (Inclusiones de Calcio y Aluminio, 4.568 Ma, 1.350 K) y los famosos cóndrulos (esferas milimétricas, 4.565 Ma). Existen como sólidos los metales y las rocas (algunas de estas últimas pueden haberse volatilizado en las zonas más interiores). Se forman planetésimos, casi exclusivamente rocosos. Ejemplos de material típico de esta zona interior, e intacto desde entonces, son los meteoritos llamados condritas.

La acreción prosigue inexorable. Una vez formados los protoplanetas, debieron recibir frecuentes impactos de la multitud de planetésimos que aún quedaban y que fueron desapareciendo engullidos por aquellos. Las superficies de los protoplanetas debieron quedar fundidas por el calor generado en esos impactos.

Figura 11.8



- **En el exterior**, la acreción puede servirse de los hielos, con lo que su crecimiento es mucho mayor al disponer de nuevos y abundantes materiales con los que engordar. Los granos de polvo cubiertos de hielos se van agregando y formarán los núcleos de los planetas gigantes.

Alcanzado cierto tamaño y cierta atracción gravitatoria, los protoplanetas formados son capaces de retener los gases (H, He) que tanto abundan y que circulan a muy escasa velocidad dadas las bajas temperaturas en estas zonas. Su crecimiento se acelera.

Los grandes núcleos formados (con 10 o 20 veces la masa de la Tierra) adquieren una atracción gravitatoria progresivamente creciente. Son capaces de atrapar todos los gases (H, He) y todo el material que aún queda cerca de ellos. Se forman pequeñas nebulosas en torno al protoplaneta. Estas nebulosas repiten, a una escala mucho menor, el proceso del sol: rotan, como el propio protoplaneta; y tienden a formar un disco ecuatorial con los materiales más densos que aún queden (rocas, hielos). En este disco surgirán los satélites.

El disco protoplanetario es más delgado conforme nos alejamos del sol y también va adelgazando a medida que pasa el tiempo. Los planetas que crecen más deprisa y más cerca del Sol (Júpiter y Saturno) son los más grandes. Urano y Neptuno que, ocupan la zona más lejana, debido a la menor abundancia de materiales crecen más lentamente. Para cuando alcanzan masa suficiente para retener H y He, ya no quedan grandes masas de estos gases en el disco protoplanetario. De ahí que Urano y Neptuno sean grandes, pero sig-

nificativamente menores que Júpiter y Saturno, y que su proporción de H y He sea mucho menor. Casi con toda certeza Urano y Neptuno se formaron en una zona más cercana al Sol que donde se encuentran actualmente.

Una vez casi formados, la gran masa de estos planetas (en especial Júpiter) impuso su ley gravitatoria: atrapa a los planetésimos que se les aproximan en exceso, impide la formación de otro planeta en lo que es ahora el cinturón de asteroides, dispersa (hacia el interior o hacia el exterior) multitud de planetésimos, forma discos de acreción en su ecuador (que darán como resultado los sistemas de satélites de Júpiter, Saturno y Urano) y algunos satélites son destruidos para formar anillos. Los cometas parecen ser restos del material original típico de esta zona exterior. Más lejos aún, los hielos (los copos de nieve) estaban tan dispersos que no se pudieron formar cuerpos de tamaño considerable. Es el cinturón de Kuiper.

### *Océanos de magma*

Los protoplanetas terrestres, ya de tamaño considerable, sufren abundantes colisiones con otros planetésimos o con restos más pequeños y continúan creciendo. En las fases finales de la formación del planeta Tierra, sigue habiendo una alta tasa de choques con los aún abundantes escombros. Este bombardeo eleva la temperatura de la superficie y del manto terrestre; buena parte del planeta está fundido (océanos de magma) lo que permite la **desgasificación** (la liberación de los volátiles que hubiera atrapados en el interior) y la **diferenciación** (las sustancias más densas - Fe, Ni - se hundieron y las más ligeras - rocas - subieron hacia la superficie). Se forma la primitiva atmósfera terrestre, esencialmente con CO<sub>2</sub>. El H y el He, que pudieran haberse liberado en la desgasificación, escapan pues la gravedad terrestre no puede retenerlos.

Al disminuir el ritmo del bombardeo, la temperatura desciende; la corteza se solidifica (se forman las primeras rocas); el CO<sub>2</sub> existente en la atmósfera provoca un importante efecto invernadero que mantiene una temperatura suficiente para que no se congele el agua (el sol, por entonces, emitía el 70% de lo que emite ahora).

Prosigue la decantación de los metales hacia el núcleo que debió terminar de formarse en unos 30 Ma.

En esta etapa hay que situar algunos posibles Grandes Impactos (choques entre protoplanetas de gran tamaño) como el que dio origen a la Luna y quizá los que voltearon los ejes de rotación de Venus y de Urano.

### *Cometas y asteroides*

Los asteroides son los restos de los planetésimos situados a unas 3 UA que no consiguieron formar otro planeta; parece que por culpa de la presencia gravitatoria de Júpiter; su composición es, esencialmente, como la de los planetas terrestres.

Los cometas podrían ser fragmentos de planetésimos iniciales de la zona exterior (de hielos y rocas) expulsados del sistema solar también por la fuerza gravitatoria de Júpiter.

Todas estas fases debieron ser muy rápidas, del orden de 10 millones de años.

## *Últimos ajustes*

Unos 10 Ma después de comenzar a formarse, el sistema solar consta de los cuatro planetas terrestres, el cinturón de asteroides, los cuatro planetas gigantes y un disco de residuos exterior (planetesimales del cinturón de Kuyper y cometas).

Esta situación permanece estable durante bastante tiempo. No obstante, debido a resonancias gravitatorias, se producen alteraciones significativas: Júpiter se acerca al centro, mientras que Urano y Neptuno se alejan, permutando sus posiciones. El disco de residuos es dispersado, de forma que las órbitas de estos objetos se despliegan por todo el sistema provocando una oleada de impactos sobre los cuerpos planetarios (Bombardeo Tardío Intenso, entre 4.000 y 3.850 Ma). Este BTI es el causante de la formación de las cuencas de impacto (en Mercurio y Marte) y de los *maria* en la Luna. La Tierra (dado su mayor tamaño y masa) tuvo que sufrir, al igual que Venus, estos impactos con más intensidad, aunque fueran borrados posteriormente por su actividad geológica. Justo en ese momento es cuando aparece la vida en ella. Quizá es en este momento cuando se hace el aporte de agua más significativo a la Tierra (traída por cometas, que también la suministrarían a Venus y a Marte).

El cinturón principal de Kuiper, formado en las afueras de Neptuno, se desplaza junto con el planeta hasta su posición actual. Muchos de sus cuerpos son expulsados hacia el exterior, hacia los confines del sistema solar donde se alojan en la zona dispersa del cinturón de Kuiper y en la nube de Oort.

El Sol entra en su fase T Tauri, alcanza una potencia de emisión 30 veces la actual y genera un viento de gran intensidad que limpia el sistema de fragmentos menores. Se reducen por tanto los impactos y las órbitas planetarias se estabilizan en sus posiciones actuales.

## 11.2 EVOLUCIÓN DE LA TIERRA

Hace unos 4.540 Ma puede darse por terminada la formación de la Tierra. No obstante, quedaba otro protoplaneta (Theia, del tamaño de Marte) casi en la misma órbita: una situación insostenible. En poco tiempo Theia se precipitó en un impacto enorme, aunque no destructivo. Las masas eyectadas fueron retenidas por la gravedad terrestre y acabaron uniéndose para formar nuestro satélite natural, la Luna. En pocos millones de años la situación se consolidó, esta vez, definitivamente: la corteza terrestre se solidificó (las rocas más antiguas tienen 4.400 Ma) y la atmósfera, que ya existía antes del Gran Impacto, se estabilizó.

Presumiblemente hubo  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ . La atmósfera sin  $O_2$ , completamente irrespirable, pudo ser adecuada para los comienzos de la vida. Como no había capa de ozono, los rayos ultravioletas (UV), muy energéticos, llegaban a esas nubes y provocaban reacciones químicas (que se han reproducido en laboratorios) en las que se formaron espontáneamente algunos compuestos orgánicos como formaldehído (HCOH), cianuro de hidrógeno (HCN) y cianoacetileno ( $HC_3N$ ). La aparición de estos compuestos no es tan infrecuente ya que se han detectado en nebulosas y en el espacio interestelar.

Al terminar los impactos el planeta comienza a enfriarse y el agua de la atmósfera se condensó, llovió torrencialmente y se formó la **hidrosfera**, con extensos océanos bastante calientes, quizá a unos  $40^\circ C$ . El  $CO_2$  de la atmósfera se fue disolviendo en el agua y se precipitó en forma de carbonatos.



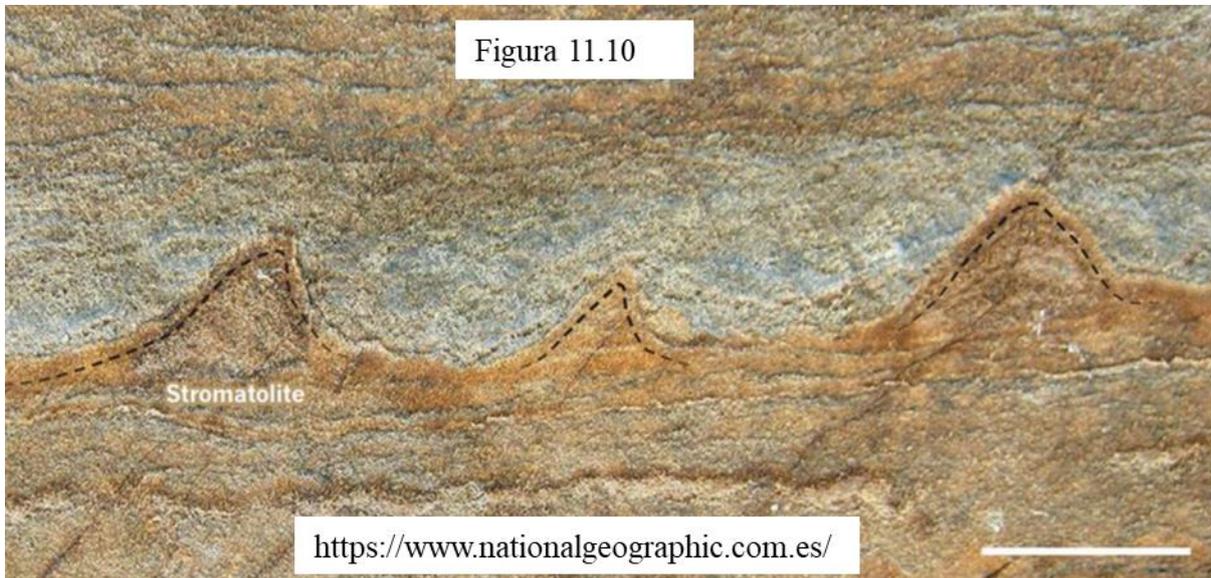
### Ejercicio 11.1

*La cantidad total de agua que hay actualmente en la superficie terrestre es de 1.360 millones de  $km^3$ . Si la Tierra fuera una esfera perfecta rodeada por una capa de agua, ¿qué espesor tendría esa capa?*

Haz clic [aquí](#) para ver la solución

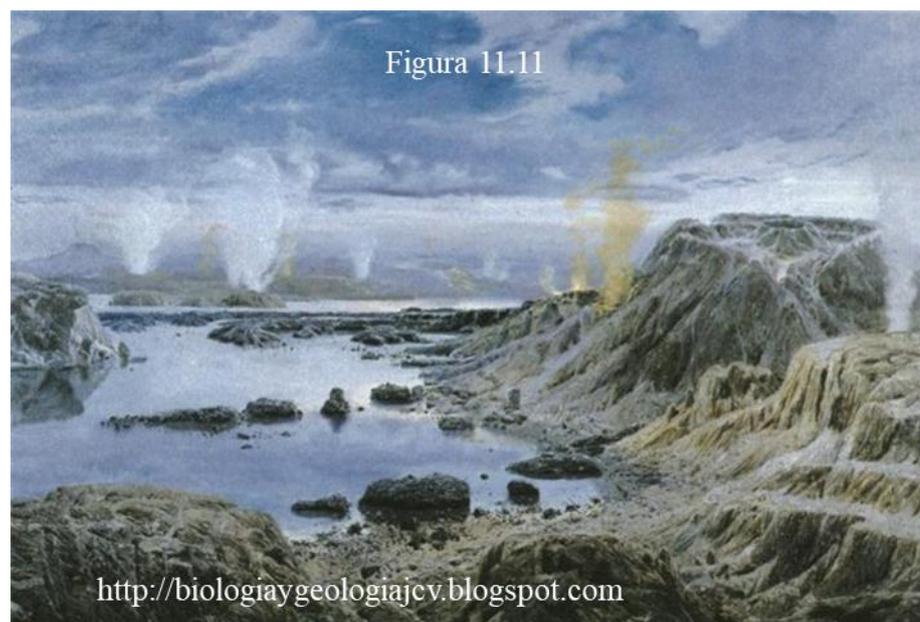
## Aparición de la vida

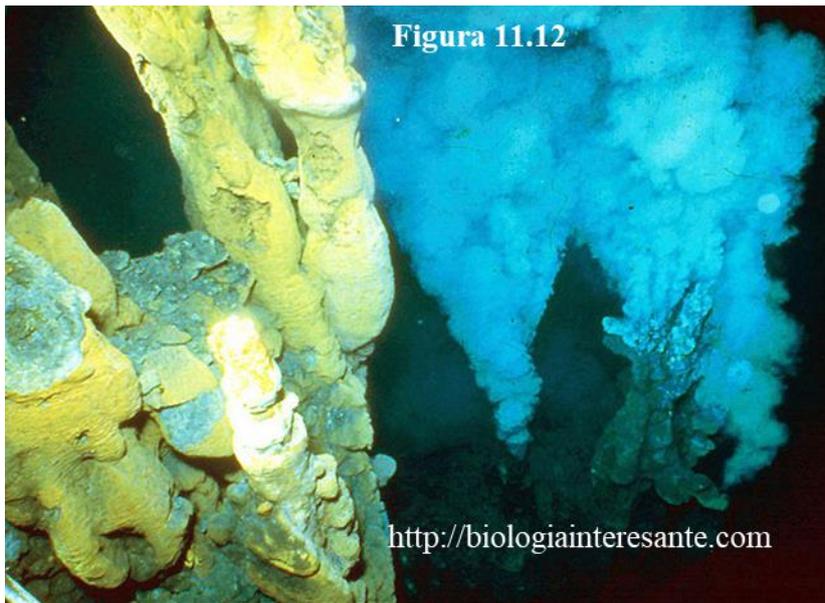
Los primeros fósiles confirmados, estromatolitos en Isua (Groenlandia), son el resultado de la fosilización de cianobacterias, datan de hace 3.700 Ma. La vida surgió en nuestro planeta antes de esa fecha. ¿Cómo comenzó?



La primera hipótesis verosímil fue esbozada por Darwin: en masas de agua poco profundas se disolvieron y acumularon los compuestos orgánicos formados en las nubes, originando el llamado **caldo prebiótico**, en el que aparecieron sustancias orgánicas más complejas y más próximas a las vitales: aminoácidos y azúcares (como la glucosa). De alguna manera, en ese caldo prebiótico espeso, las moléculas orgánicas sencillas fueron agrupándose y aumentando en complejidad, concentrándose y dando lugar a las primeras células, los primeros organismos vivos, dotados de una química e identidad propia.

Esta hipótesis se vio apoyada en 1953 por los experimentos de Miller-Urey. En ellos se consiguió obtener sustancias orgánicas mediante descargas eléctricas sobre una mezcla de gases como los que entonces se pensaba que estaban presentes en la atmósfera primitiva. Pero quedan demasiados detalles desconocidos.

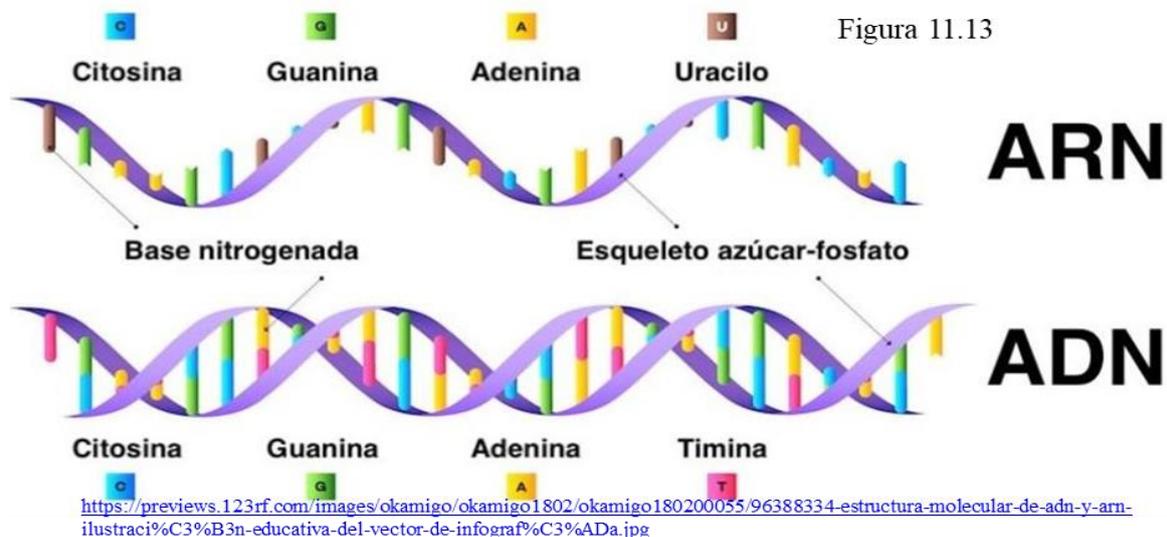




Recientemente se ha abierto paso otro posible escenario, las **chimeneas hidrotermales** submarinas. Son grietas del fondo marino por las que surge un caudal de agua muy caliente al estar en zonas de actividad geológica. Alejadas de la luz solar estas primeras células obtendrían su energía mediante reacciones químicas sobre sustancias inorgánicas y sus nutrientes de las sustancias disueltas en el flujo de agua caliente. Las altas temperaturas no parecen ser ningún

obstáculo. En la actualidad se han detectado seres vivos microscópicos de los denominados “extremófilos” en géiseres, en chimeneas en las dorsales centrooceánicas o en otros ambientes con agua y altas temperaturas.

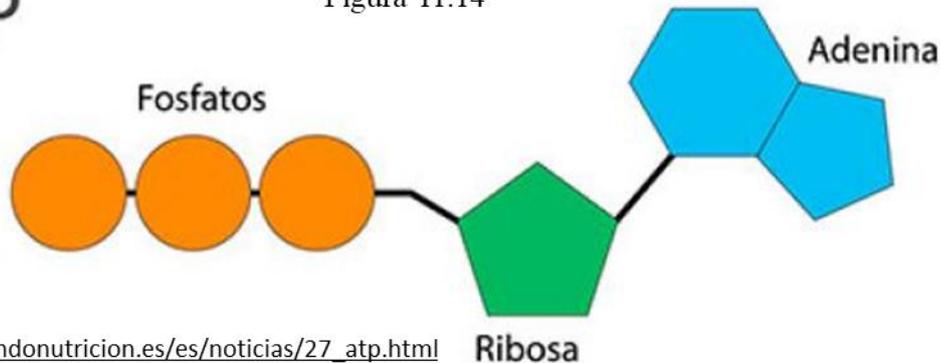
Todo ser vivo, para poder ejercer sus funciones (crecer, moverse, reproducirse) necesita nutrientes, es decir, una fuente de carbono (para fabricar las moléculas que le hagan falta), una fuente de energía que le permita desarrollar las complejas reacciones químicas correspondientes y un sistema que gobierne todos estos procesos con precisión. Además, debe contar con una envoltura que le aíslate del medio y haga de él un organismo independiente. Todos tienen algunas características básicas y fundamentales idénticas. Desde luego, la inmensa mayoría de sus moléculas tienen al carbono como elemento clave; ningún otro tiene la versatilidad de enlaces y la capacidad para configurar largas y complejas cadenas; por eso la química del carbono se llama orgánica. Utilizan las mismas moléculas (el ADN y el ARN) como sistema gobernante que dirige la confección de nuevas moléculas y que contiene la información genética que permite crear descendientes iguales o similares. Y también en todos, la molécula central en los procesos energéticos, es la misma: el ATP. De esta universalidad de elementos clave se deduce que todos procedemos de un mismo tronco común, es decir, hubo un “último ascendente común” (LUCA, *Last Universal Common Ancestor*).



Presumiblemente las primeras etapas consistieron en una lenta pero constante evolución química con la aparición de nuevas moléculas y nuevas cadenas de reacciones cada vez más eficientes para desarrollar las funciones vitales hasta que se consolidaron definitivamente el ADN y el ARN para el control general de la maquinaria orgánica y el ATP como la pieza base en los procesos energéticos que posibilitan el metabolismo (figura 11.14).

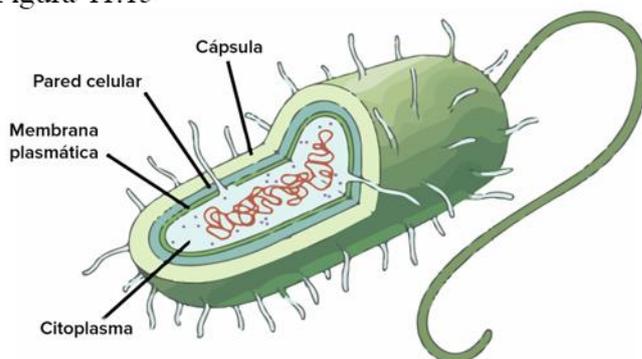
# ATP

Figura 11.14



[https://mundonutricion.es/es/noticias/27\\_atp.html](https://mundonutricion.es/es/noticias/27_atp.html)

Figura 11.15

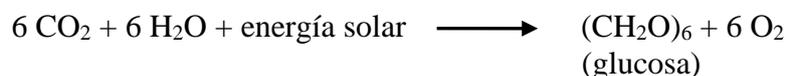


<https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/c1c593f76311648675c9dd85eefc95a34e6cf643.png>

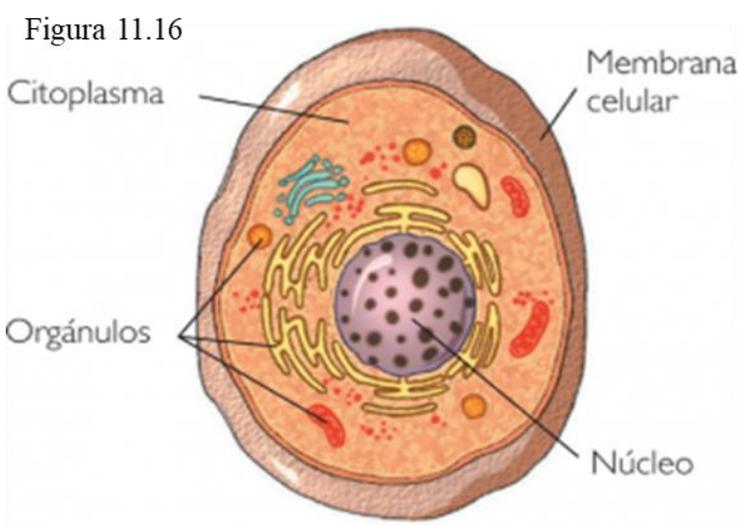
Los primitivos organismos eran seres microscópicos, unicelulares y procariotas (sin núcleo diferenciado), del estilo de las actuales bacterias, que se alimentaban de las sustancias orgánicas que encontraran en su entorno y eran capaces de utilizar la energía encerrada en ciertas moléculas inorgánicas para mantener su metabolismo.

Hace 3.500 millones de años, aparecieron los primeros organismos capaces de realizar la **fotosíntesis**.

Una innovación importante, quizá debida al agotamiento de las moléculas (orgánicas o inorgánicas) que habían sido las suministradoras de energía hasta entonces. El entorno va presionando y los organismos se ven obligados a adaptarse o desaparecer. Así funciona la evolución. Similares a las actuales cianobacterias, seguían siendo unicelulares y procariotas, pero eran capaces de aprovechar la energía solar como motor para sus reacciones metabólicas:



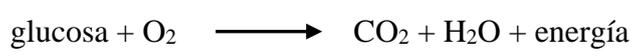
El O<sub>2</sub> liberado no llegó a la atmósfera pues, al ser químicamente muy activo, se combinó rápidamente con otros materiales, especialmente con el hierro que había disuelto en los océanos. Se formaron compuestos insolubles que se depositaron y dieron lugar a rocas ricas en este metal. Cuando el hierro se agotó el oxígeno producido en la fotosíntesis se disolvió, en su mayor parte, en los océanos o fue absorbido en las rocas superficiales. Una pequeña fracción comenzó a hacerse presente en la atmósfera provocando una grave crisis hace unos 2.450 Ma puesto que el O<sub>2</sub> es muy reactivo y constituye un eficaz veneno. Sólo mucho más adelante, cuando todos estos procesos quedaron saturados (hace 850 Ma) el O<sub>2</sub> comenzó a acumularse ya significativamente en la atmósfera.



<https://kevestevezunah.files.wordpress.com/2015/05/celula-eucariota-animal.png>

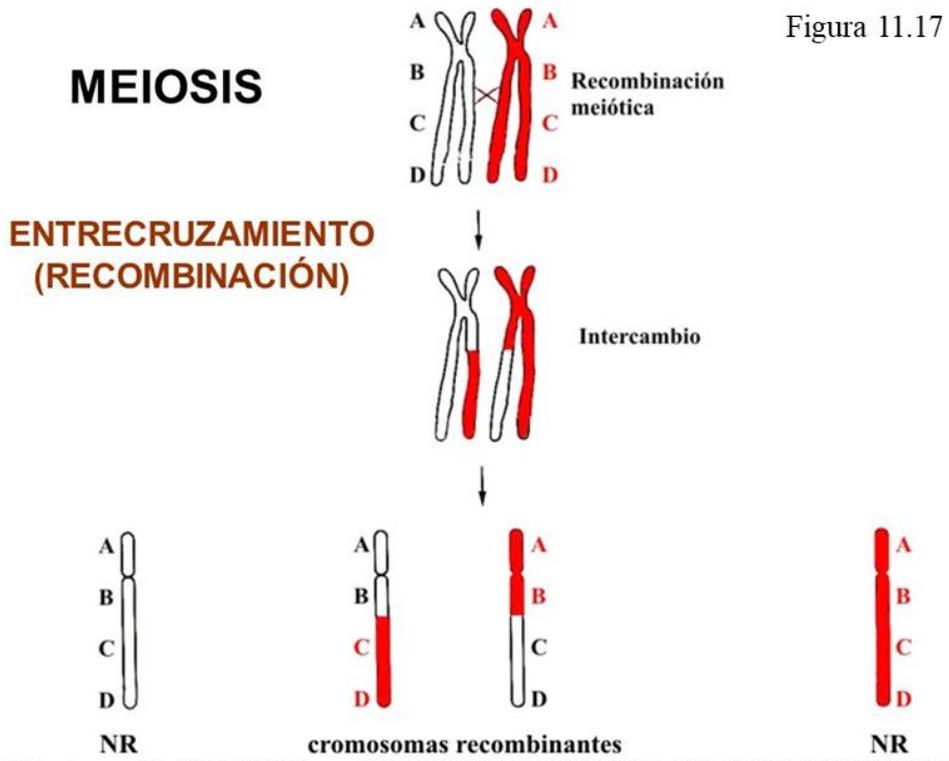
De nuevo como resultado de la selección natural y de la adaptación al nuevo ambiente, surgieron, hace 1.850 millones de años, las células **eucariotas** (figura 11.16), que tienen un núcleo interior protegido de los agentes externos en el que se sitúan los cromosomas con toda la información genética.

Además, aparecieron unos compuestos especiales, capaces de obtener energía de la oxidación de sus moléculas. Las células empezaron a **respirar**:



La energía así obtenida se almacena en las moléculas de ATP, que son capaces de liberarla para producir las reacciones químicas necesarias para mantener la vida.

1.500 millones de años atrás surgió otra importante adaptación: **la sexualidad** y la división celular por meiosis (figura 11.17), con intercambio de material genético con lo que se producen nuevos individuos no exactamente iguales a los progenitores. Esto puede ser una ventaja evolutiva en general y, especialmente, en momentos de cambios ambientales.



<https://slideplayer.es/slide/4613661/14/images/17/MEIOSIS+ENTRECRUZAMIENTO+%28RECOMBINACION%29.jpg>

Hace 800 millones de años surgieron las células **heterótrofas** que obtienen los nutrientes de moléculas orgánicas sintetizadas previamente por los organismos fotosintéticos. A partir de entonces, heterótrofos y fotosintéticos (autótrofos) han evolucionado conjuntamente, reciclando en beneficio mutuo los productos de su metabolismo.



Ya casi en nuestros días, hace sólo 680 millones de años, aparecen por primera vez los **meta-zoos** (animales pluricelulares), las plantas llegan a los continentes (que ya habían sido colonizados por bacterias) y aumenta el contenido de  $O_2$  en la atmósfera. Hace unos 550 Ma se produjo un gran aumento repentino en la masa global de organismos vivos y en su diversidad (explosión de la biosfera del Cámbrico): surgen los primeros animales con simetría bilateral (con cabeza, cola, vientre y espalda) y la mayoría de los grandes *filos* conocidos en la

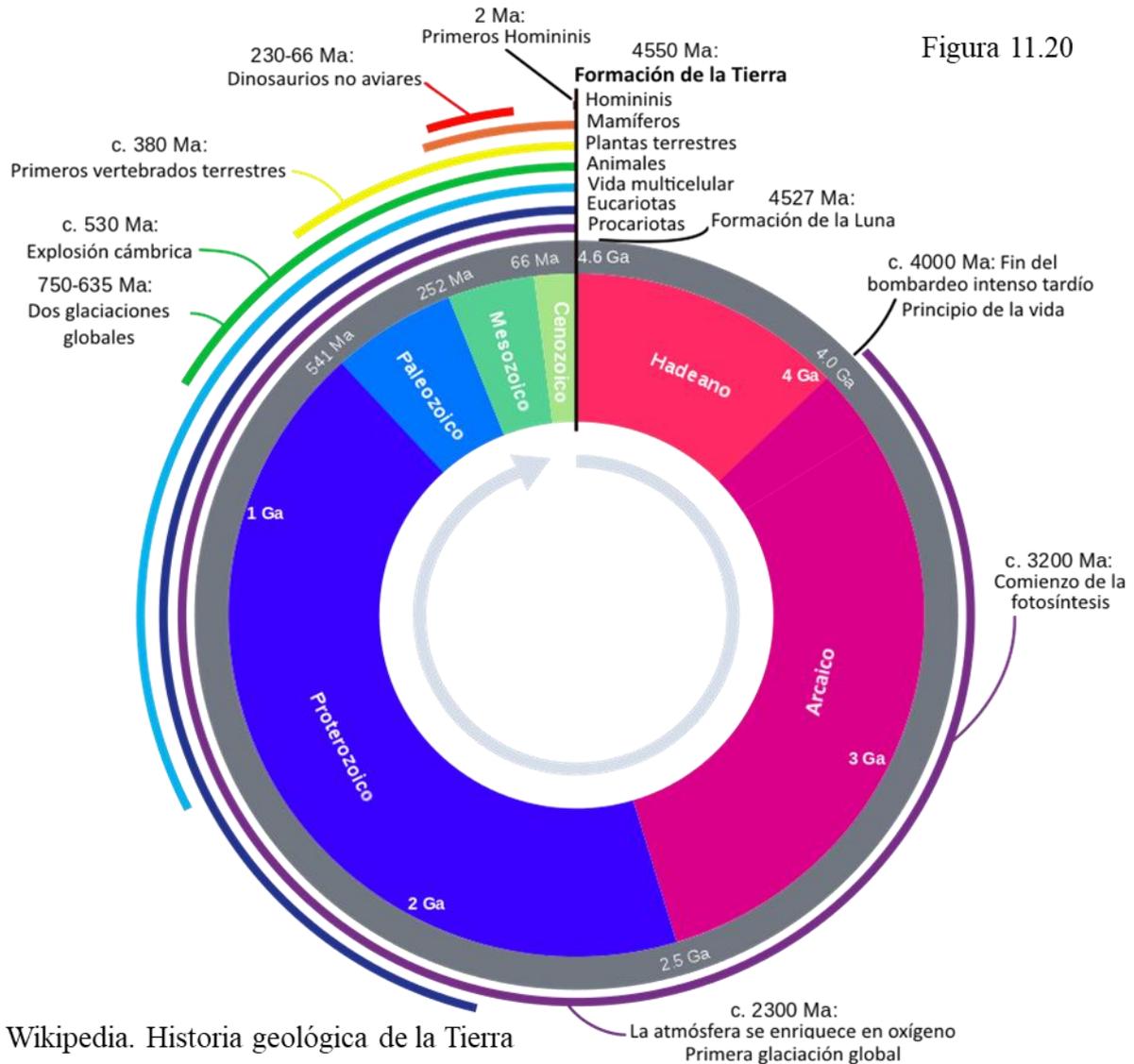
actualidad (artrópodos, equinodermos, moluscos, cordados). Ver figura 11.18

A partir de este momento la historia es mucho mejor conocida. Entramos en las eras Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica de las que conservamos abundantes fósiles que han permitido a los especialistas hacerse una idea bastante clara de los animales y plantas dominantes como los trilobites figura (11.19), los grandes helechos o los dinosaurios que nos resultan mucho más familiares que las ingentes cantidades de vida microscópica que fue la única durante unos 3.000 millones de años y que todavía sigue siendo la más abundante en la actualidad.

Figura 11.19. IFTUL7DPZZHAFEBUOZWOSLN4NI.jpg



Al poco, 400 millones de años antes de nuestros días, aparecen los primeros animales terrestres; los mamíferos lo hicieron hace 250 millones de años y los primates hace 65. En una de sus ramas evolutivas se sitúa la familia *Homo* desde hace un millón y medio de años. Nuestra especie *Homo sapiens* solo lleva aquí 150.000 años.



### Calendario terrestre

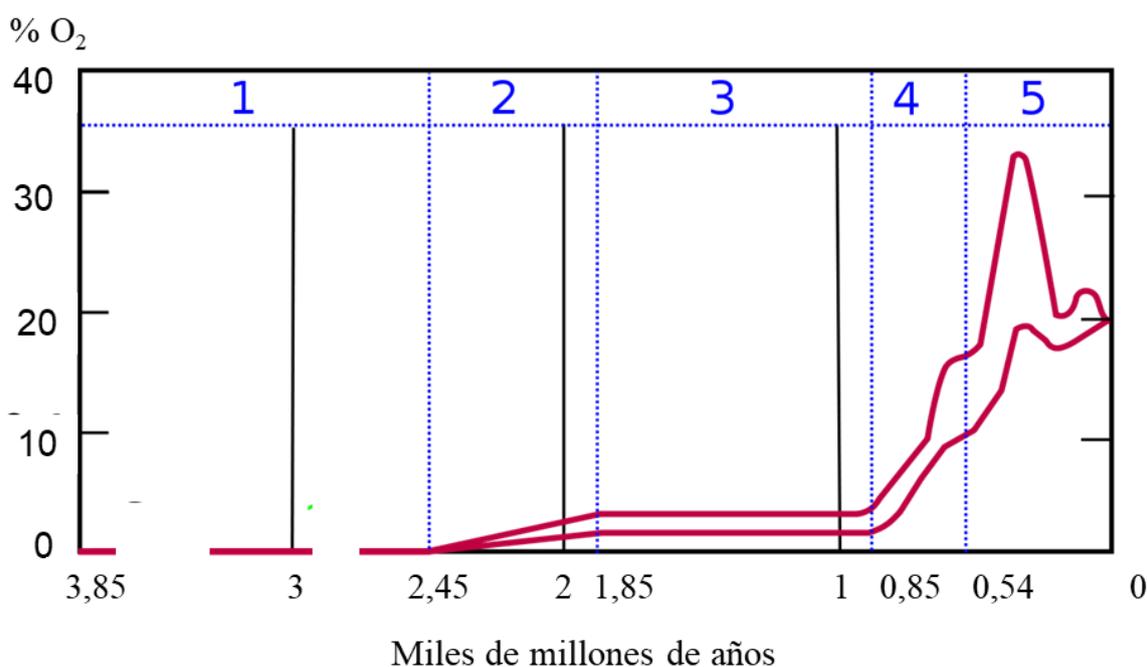
Como estas dimensiones temporales son totalmente ajenas a nuestras percepciones se han ideado diversos modelos para que seamos capaces de captar, de hacernos algo de idea de esta inmensidad de tiempo. Uno de los más conocidos consiste en reducir toda la historia de la Tierra a un año, tomando como punto de partida el momento en el que nuestro planeta puede darse por formado (1 de enero a las 0 horas) y el 31 de diciembre a las 24 horas correspondería al presente, al momento actual. La secuencia de hechos destacados quedaría así:

MES	DÍA	ACONTECIMIENTO
ENERO	3	Formación de la Luna
	12	Formación corteza terrestre y aparición de los océanos
FEBRERO	13 al 25	Bombardeo Tardío Intenso
MARZO	1	Aparición de la vida
	25	Fotosíntesis
JUNIO	18	Primera crisis de oxígeno
AGOSTO	5	Aparición células eucariotas
OCTUBRE	2	Reproducción sexual
	28	Seres heterótrofos
NOVIEMBRE	7	Metazoos (seres pluricelulares)
	17	Explosión del Cámbrico
	29	Aparición de los animales terrestres
DICIEMBRE	2	Aparición de los mamíferos
	26	Aparición de los primates
	31	Aparición de la familia Homo (21 horas)
	31	Aparece la especie <i>Homo sapiens</i> (23 horas, 41 minutos)

### Ejercicio 11.2

En el siguiente gráfico la línea roja más alta da el % de  $O_2$  que, según se cree, había en la atmósfera en diferentes épocas geológicas. Completa la tabla adjunta. Sitúa en la gráfica los acontecimientos más importantes de la evolución biológica de la Tierra (los escritos en **negrita** en este apartado).

Tiempo	4.000	2.450	1.850	850	540	350	ahora
% $O_2$							



Haz clic [aquí](#) para ver la solución

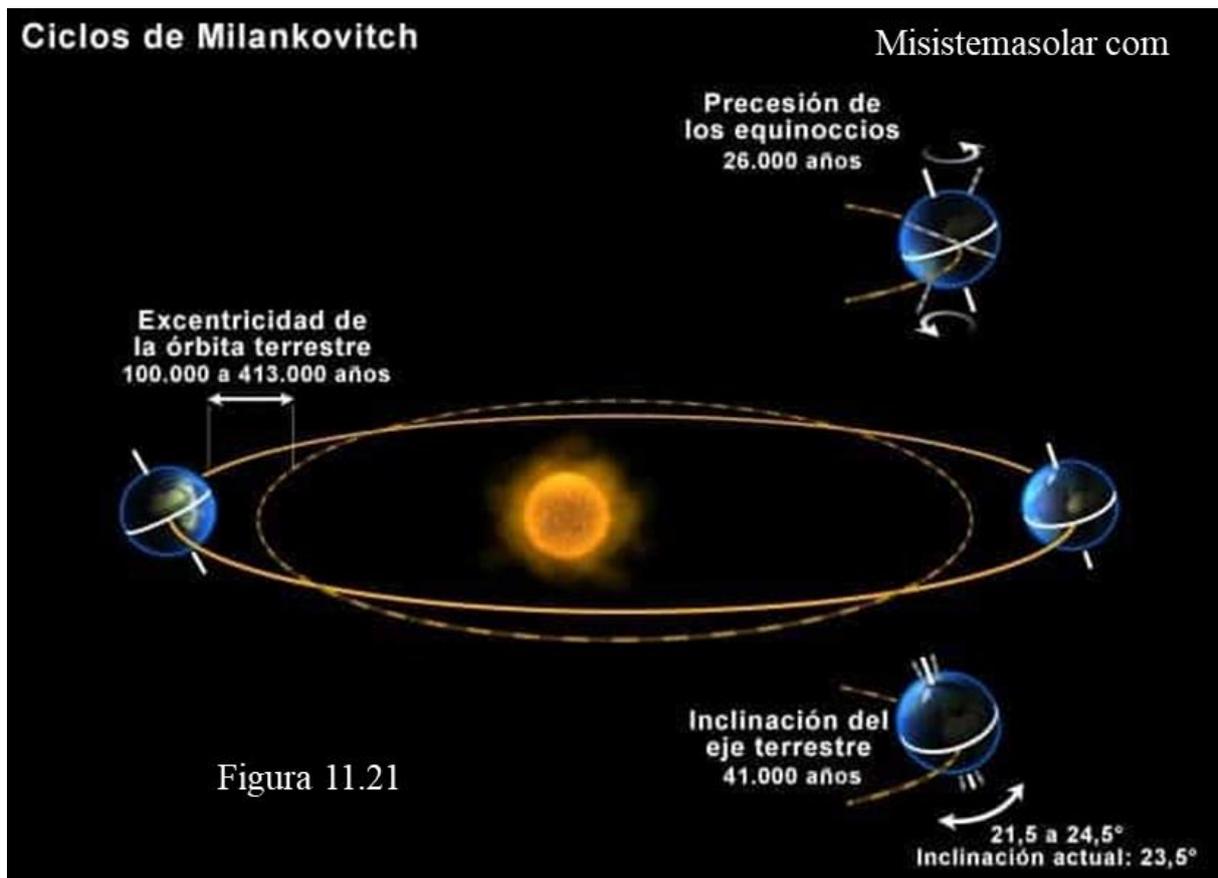
## Los peligros de la Tierra

Se han encontrado, en el registro fósil, varios momentos en los que se produjeron extinciones masivas y globales, en los que el número de especies de seres vivos se redujo drásticamente. También se sabe que en algún momento nuestro planeta se enfrió, hasta tal punto que estuvo totalmente cubierto de hielos. Las condiciones de la superficie terrestre (cantidad de agua helada, altura del nivel del mar) y de su atmósfera (cantidad de CO<sub>2</sub>, de vapor de agua, de oxígeno) no son absolutamente estables, sino que varían, a veces sustancialmente, por diversas causas: la biosfera es un ámbito frágil, expuesto a diversos avatares que pueden dificultar la expansión de la vida, que pueden hacer desaparecer el hábitat que sustentaba a determinadas especies.

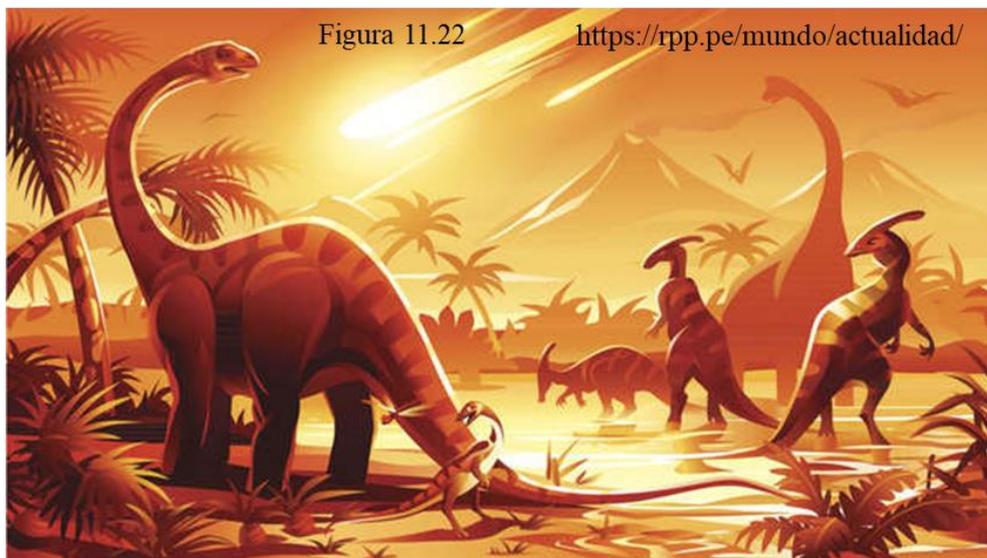
¿A qué peligros puede enfrentarse nuestro planeta?

Algunos provienen del exterior, entran dentro del ámbito de la Astronomía.

- Los parámetros de la órbita terrestre tienen unas pequeñas oscilaciones periódicas: la excentricidad de la órbita y la inclinación del eje de rotación varían un poco aumentando y disminuyendo cíclicamente debido a las influencias gravitatorias de los planetas, especialmente de Júpiter. Son los llamados ciclos de Milankovic (figura 11.21). Provocan ligeros cambios en la distribución del calor solar y por tanto afectan al clima global: las glaciaciones recientes (del último millón de años) pudieron ser causadas por ellos.



- En el sistema solar aún quedan multitud de asteroides, cometas y otros restos de cierto tamaño. De vez en cuando alguno de ellos llega a caer sobre la Tierra. En función del tamaño del impactor los efectos pueden ser escasos y locales (como el cráter Barringer, en Arizona) o muy importantes a escala planetaria, con tal desprendimiento de materiales hacia la atmósfera que ésta queda cubierta y oscurecida, impidiendo la entrada de la radiación solar y provocando la desaparición de muchas especies que necesitan la luz para realizar la fotosíntesis, y forzando la extinción de los animales que se nutrían de ellas: es lo que pasó hace 65 millones de años cuando los dinosaurios desaparecieron.



- En el Universo ocurren multitud de fenómenos violentos: explosiones de supernovas, galaxias activas, choques de galaxias. La mayoría están demasiado lejos como para que nos afecten, pero algunos, como los brotes de rayos gamma (producto de galaxias muy activas) sí se cree que pudieron hacerlo: son chorros de altísima energía que al impactar con la biosfera provocan reacciones químicas destruyendo las moléculas orgánicas.



Archivo:GRB080319B\_illustration\_NASA.jpg

Otros provienen del propio planeta

- La Tierra acumuló una importante cantidad de energía interna derivada de su formación a base de impactos. Ese calor mantiene fundidas las rocas del manto en un estado semifluido, pastoso. De vez en cuando ese magma escapa al exterior en procesos de vulcanismo que ocasionalmente son muy violentos desparrramando por la atmósfera grandes cantidades de gases y polvo que pueden oscurecerla totalmente. O hacer que aumente notablemente la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en ella incrementando el efecto invernadero y la temperatura global.



- El calor interno también es el responsable de la Tectónica de placas: los continentes se unen y se separan (como lo están haciendo ahora África y América del Sur) sin cesar creando barreras imposibles de franquear para las especies vivas que se aíslan y evolucionan de modo independiente. Cuando todas las masas emergidas se unen en un único supercontinente (figura 11.25) la longitud de las líneas de costa es mucho menor que si hubiera varios continentes repartidos; el clima en el interior de ese supercontinente se hace extremo y ello afecta a las condiciones globales de temperatura de todo el planeta.



- La actividad de los mismos seres vivos está continuamente afectando a la composición de la atmósfera. Ya hemos visto cómo la fotosíntesis es la responsable del nivel de oxígeno. El éxito desmesurado de alguna especie de planta fotosintética puede hacer que se consuma el CO<sub>2</sub> a un ritmo demasiado rápido como para que sea repuesto por otras vías; al bajar su nivel el efecto invernadero será menor y puede sobrevenir un enfriamiento generalizado.

Como vemos hay una interacción constante entre muy diversos aspectos, todos ellos interrelacionados de una manera compleja, de forma que la estabilidad de las condiciones ambientales está siempre en un equilibrio precario.

## *El Hombre y la Tierra*

La especie *Homo Sapiens* no ocupa ningún lugar privilegiado en el árbol de la evolución. Es una especie más, resultado de sucesivas adaptaciones y especializaciones provocadas por diferentes mutaciones que se iban produciendo al azar. Los paleoantropólogos han rastreado nuestros antepasados fósiles y han formado esta secuencia: Australopithecus, Homo habilis, homo erectus, homo sapiens neanderthalensis y homo sapiens (nosotros). Esta secuencia nos permite vernos como un producto más de la evolución.

Sin embargo, el homo sapiens tiene algunas características un tanto peculiares. Posiblemente no sea la única especie inteligente: los delfines tienen un cerebro similar al humano. Ni es la única cuyos miembros pueden comunicarse entre sí: las aves, las abejas, las ballenas también lo hacen; otras muchas especies tienen un comportamiento social, como las hormigas o los lobos.

Pero sí es la única especie que ha desarrollado una **cultura** propia: que ha construido máquinas y artefactos, que ha elaborado un lenguaje que le permite intercambiar gran cantidad de información con sus semejantes, que es consciente de su propia existencia, que ha creado las manifestaciones artísticas, la ciencia y la tecnología, que tiene la sensibilidad de enterrar a sus muertos. Todos los seres vivientes tienen su herencia biológica, almacenada y transmitida por el ADN de los cromosomas, pero la especie humana, además, destaca por su capacidad para transmitir su herencia cultural.

La especie humana es la única que se plantea cuál es su papel en el Universo, que siente curiosidad por conocer y entender el mundo que la rodea, que, por encima de sus posibilidades de adaptación al medio ambiente, prefiere manipular su entorno natural y adaptarlo a su antojo, no siempre con el cuidado y acierto que sería deseable.

Es muy difícil calcular numéricamente el efecto de las actividades humanas sobre la Tierra y predecir sus consecuencias a escala global. A largo plazo (hablamos de millones de años) la influencia humana es insignificante, pero no lo es si consideramos intervalos de tiempo relativamente cortos (siglos).

El aumento de la **población** es insostenible. Al ritmo actual muy pronto será imposible satisfacer las demandas alimenticias de la humanidad. La tala de bosques para su explotación agrícola o industrial y la destrucción de otros hábitats naturales por el hombre provocan la **extinción** de numerosas especies, con la consiguiente pérdida de diversidad en la biosfera.

Los efectos **contaminantes** de la sociedad industrial provocan un aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, lo que intensifica el efecto invernadero, cuyas consecuencias empiezan a ser muy graves: cambio climático, aumento de fenómenos meteorológicos extremos, disminución de los casquetes polares, aumento del nivel del mar e inundaciones en zonas costeras. El otro gran problema es el **agujero de ozono** detectado sobre la Antártida y causado por ciertos compuestos químicos (los clorofluorocarbonados) habitualmente usados en los “sprays” y en los refrigerantes.

Figura 11.26 . <https://contaminacionambiental.net/contaminacion-industrial/>



### *Ejercicio 11.3*

*Busca en libros de texto de Geografía (Sociales) datos sobre la población de la Tierra desde el año 1500 (o desde antes) hasta nuestros días. Confecciona una tabla y una gráfica (eje x = años, eje y = población). ¿Puedes hacer alguna predicción?*

*Haz clic [aquí](#) para ver la solución*

## 11.3 VIDA EXTRATERRESTRE

Las características diferenciadoras de los seres vivos son: gran complejidad fisiológica, capacidad para la reproducción, para evolucionar por selección natural y para almacenar una enorme cantidad de información.

La vida terrestre, la única que conocemos, tiene como base la química orgánica, que utiliza unos pocos elementos (C, N, O, H) cuyos compuestos tienen algunas propiedades químicas notables (enlaces adaptables y muy energéticos) que los hacen especialmente apropiados para sustentar la vida. Otra característica es la necesidad del agua para formar en ella disoluciones o suspensiones coloidales. Tanto las reacciones bioquímicas como el agua necesitan una temperatura adecuada.

¿Es posible pensar en otras bioquímicas, quizá basadas en el silicio (Si), en planetas muy calientes como Mercurio, o en el hidrógeno, si se trata de los más fríos? En algunos meteoritos, llamados “condritas carbonáceas”, caídos en la Tierra se han encontrado compuestos orgánicos avanzados (aminoácidos como los terrestres y otros distintos). Esto quiere decir que, en la nebulosa solar, en la primera fase de la acreción y sobre algún planetésimo, pudieron darse reacciones similares a las que ocurrieron en la atmósfera primordial de la Tierra. Además, se han detectado moléculas orgánicas simples y no tan simples ( $H_2O$ ,  $NH_3$ , ácido fórmico  $HCOOH$ ,  $HCN$ ,  $HC_3N$ ,  $HCOH$ ) en muchas de las nebulosas cercanas. Puesto que estos materiales básicos son frecuentes en el Universo, parece que la probabilidad de que la vida se organice a su alrededor es alta.

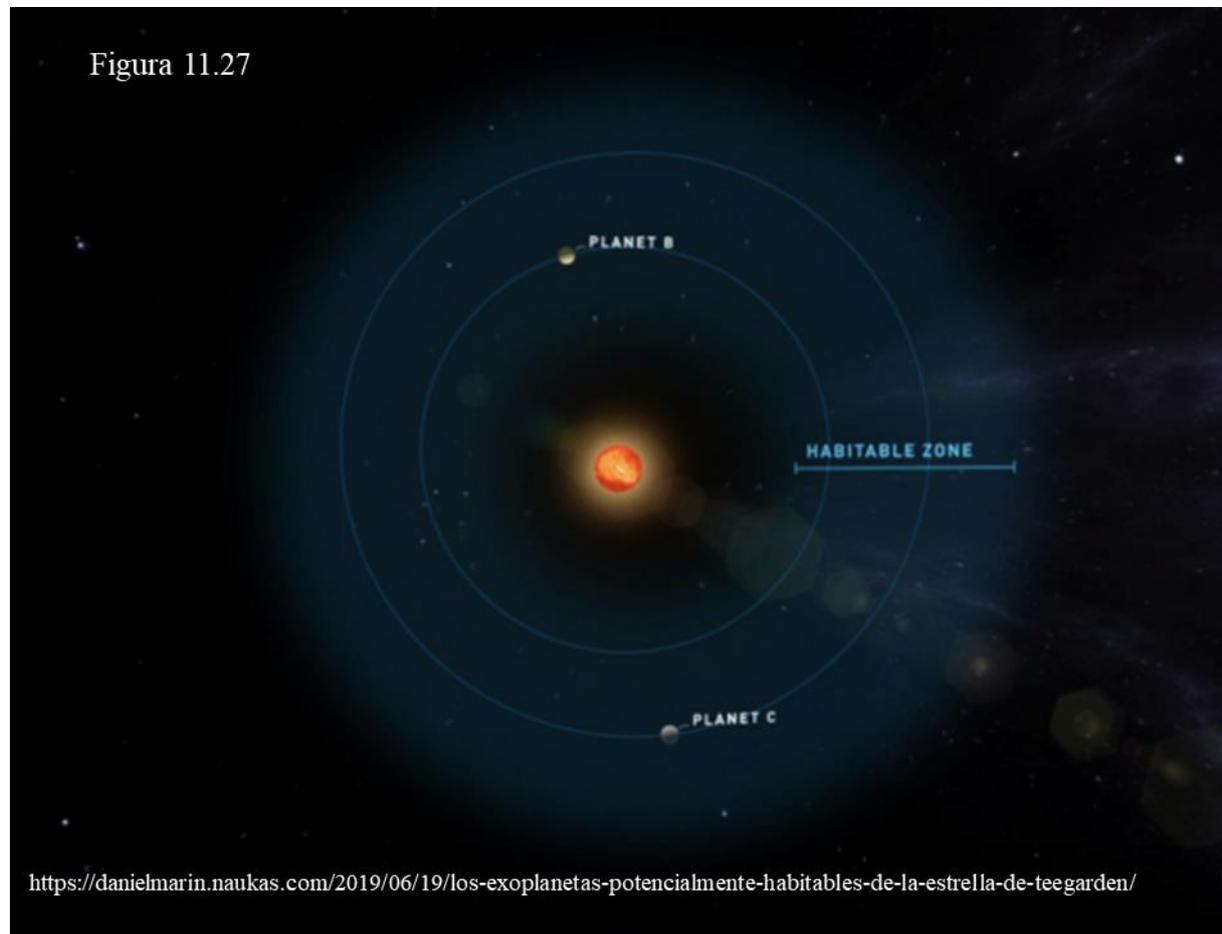
En cambio, la probabilidad de que se haya seguido un camino evolutivo similar al nuestro parece extremadamente pequeña. Adaptaciones tan específicas como las originadas por la fotosíntesis y el oxígeno, que permitieron un desarrollo de organismos superiores son difícilmente imaginables. Y el salto cultural parece algo absolutamente excepcional. Los extraterrestres, si los hay, estarán adaptados a su ambiente particular y serán muy diferentes.

Dentro del sistema solar cabe la posibilidad de que en Venus, Júpiter y Saturno exista alguna capa de nubes con temperatura adecuada para el surgimiento de la vida. Allí pudieron darse algunos primeros pasos, aunque la ausencia de una superficie sólida o líquida es un obstáculo para la existencia de agregados biológicos.

Marte es el planeta que más ha atraído a los autores de ciencia-ficción. A finales del siglo pasado se creyó ver en él ingentes obras de ingeniería, así como cambios estacionales con crecimiento y descenso de la vegetación. Nada de ello es cierto. Pero en Marte hay agua, en forma de hielo, tanto en los polos como bajo la superficie y es casi seguro que hace mucho tiempo hubo enormes cantidades de agua líquida que formaron algunos valles por erosión fluvial. Así que pudieron darse las condiciones para que surgiera la vida. Si fue así, seguramente sólo habrán podido sobrevivir, en las actuales condiciones de Marte, organismos muy primitivos, del tipo de las bacterias.

Por último, unos cuantos de los satélites presentan algunas posibilidades: Ío tiene un intenso vulcanismo y temperaturas altas; en Europa hay continuos manantiales de agua líquida que aflora a la superficie y se congela; Titán es el único satélite con una espesa atmósfera de nitrógeno y quizá con un océano de metano; y Tritón mantiene actividad geológica con géiseres de nitrógeno líquido. Aún sabemos muy poco de ellos para adelantar algo más.

¿Y más allá, en otros sistemas solares? ¿Todas las estrellas tienen planetas? Ya se han detectado miles de exoplanetas. Hay datos como para creer que alrededor de estrellas del mismo tipo que el Sol pudieron darse con relativa facilidad los mismos procesos iniciales, y quizá un 10% de las estrellas son similares al Sol.



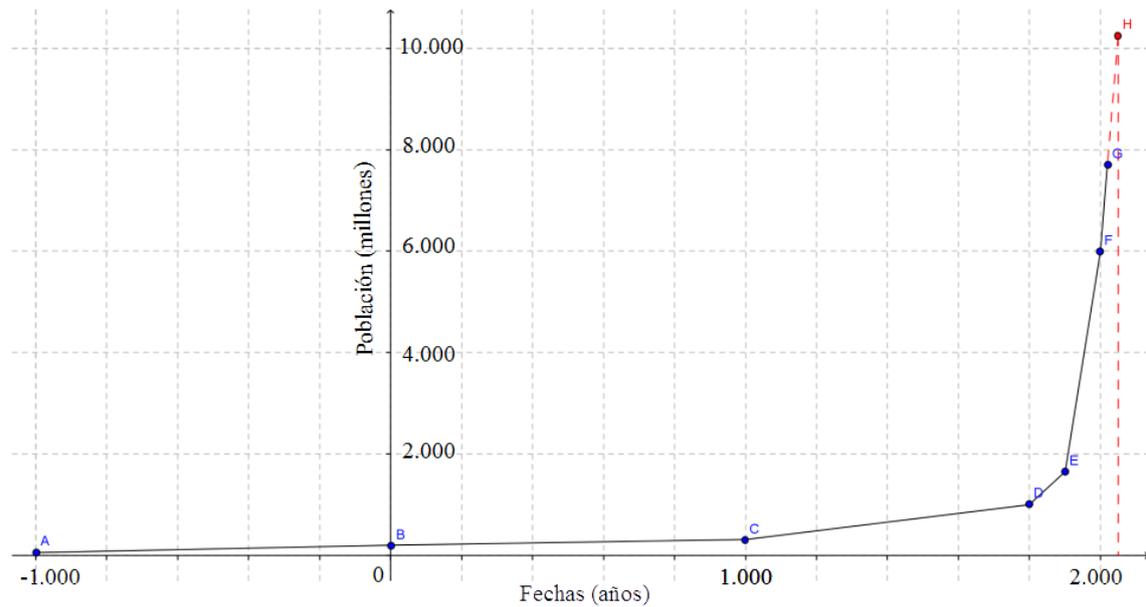
Posiblemente habrá, en todo el Cosmos, un buen número de planetas en los que se han dado condiciones semejantes a las terrestres y en los que, posiblemente, haya surgido la vida. Sin embargo, los procesos evolutivos nos dicen claramente que ninguna especie aparece dos veces. Si nos preguntaran por la posibilidad de que, en algún planeta remoto, haya osos panda, nuestra respuesta sería rápida: seguro que no. Lo mismo cabe decir de la especie humana. Pero esta respuesta no nos deja satisfechos; la especie humana desea encontrar seres parecidos con los que comunicarse. Por el momento la ciencia no nos alienta mucho en este deseo: la Biología indica que sería extraordinariamente difícil que se hubiera producido un proceso evolutivo similar al humano cuyo resultado fuera otro ser vivo con nuestras mismas características (inteligencia, tecnología, cultura) aunque fuera de otra forma y otro tamaño.

Ciertamente hay alguna probabilidad de que existan otros seres inteligentes en nuestra galaxia, pero si existieran, ¿nos podríamos comunicar con ellos? Las distancias son enormes y, con nuestra actual tecnología cualquier viaje interestelar es imposible. Lo único que podemos hacer es “gritar” en el espacio, enviando mensajes codificados con una información que cualquier ser inteligente debería entender, y escuchar atentamente cualquier señal externa con nuestros radiotelescopios.



### Ejercicio 11.3

Año	-1000	1	1000	1800	1900	2000	2020
Población	50	200	310	1.000	1.650	6.000	7.700



De seguir el mismo ritmo de crecimiento que en los últimos 20 años (2000-2020) en el año 2050 la población habrá superado los 10.000 millones de seres humanos.