

Línea Cosmológica del Tiempo

Rosa M. Ros, Beatriz García, Ricardo Moreno, Pilar Orozco, Juan Antonio Prieto, Ivo Jokin

International Astronomical Union, Technical University of Catalonia, Spain, ITeDA and National Technological University, Argentina, Colegio Retamar, Spain, Diverciencia, Spain, Municipal Center for Extracurricular Activities, Dolna Mitropolia Municipality, Bulgaria.

Resumen

La historia del Universo abarca 13800 millones de años. En ese período de tiempo, el Universo transformó energía en átomos de elementos primordiales en un tiempo récord. Los átomos formaron estrellas y éstas, a su vez, transformaron el material para producir los, aproximadamente, 100 elementos que constituyen la Tabla Periódica. Los elementos químicos se organizaron, pero para conseguir el material prebiótico que luego desembocó en las diversas formas de vida que conocemos en la Tierra, el proceso fue largo y complejo. Podemos decir que la vida es consecuencia de una serie de factores que la produjeron y le permitieron evolucionar. Conocer momentos que fueron hitos fundamentales para la aparición de la vida a lo largo de la historia del Universo, aproximarnos a las herramientas que los astrónomos idearon, construyeron e instalaron, inclusive fuera de la Tierra, para estudiar la posibilidad de la existencia de vida más allá de único lugar en el Universo en donde fue detectada, y descubrir las teorías que intentan explicar cómo, cuándo y dónde se originó la vida, es la misión de este Taller.

Objetivos

- Visualizar la historia del Universo a través de una línea temporal
- Comprender la importancia del proceso que fue necesario para llegar a la formación de la vida
- Comprender la adaptación de la vida a muy variados condiciones

Introducción cosmológica

El Universo es el único sistema aislado de la naturaleza: no intercambia ni energía ni materia con el medio, porque él es el medio.

Se estima que el universo surgió hace 13800 millones de años, como consecuencia de una liberación de energía. El proceso de nacimiento y evolución del universo, como así también los escenarios posibles para su destino final, fueron abordados en el Taller de Evolución del Universo.

Más allá del estudio del Universo como un todo, es interesante ampliar la propuesta relacionada con los modelos en escala que permitan vislumbrar lo que significa la edad del Cosmos, pero y

a la vez, introducir un concepto fundamental para la especie humana: el de vida, una de las características o propiedades singulares del Universo.

La cuestión del origen de la vida, y su corolario, la existencia de vida inteligente, es el enfoque principal de la exo y astrobiología; constituye un evento inusual, que se puede estudiar desde un punto de vista científico, con el objetivo de comprender cómo ha ocurrido en la Tierra y cómo podría ocurrir en otros lugares.

La búsqueda de vida es un objetivo común en la Astronomía y la Astrofísica y de allí que, poner el tema en escala cosmológica nos permite comprender el largo intervalo de tiempo que separa el origen del Universo con la aparición de las formas más primitivas de vida.

Para la búsqueda de la vida, disponemos de algunas herramientas que son la base del trabajo en Astrobiología y Astroquímica.

En el proceso de formación y nacimiento de una estrella a partir del colapso gravitatorio de una nube de gas y de polvo interestelar, puede constituirse, a la vez, un sistema planetario con los restos de material de dicha nube.

De la misma forma que podemos conocer la composición de la estrella considerada estudiando su espectro, es posible conocer la existencia y composición química de la una atmósfera planetaria, en el caso del Sistema Solar, o de los exoplanetas, en el caso de Sistemas Exoplanetarios o Extrasolares. Cada elemento químico, cada molécula, presenta un espectro determinado y único.

Si un planeta o un exoplaneta presenta una atmósfera, y si se conoce el espectro de la estrella, cuando la luz de dicha estrella atraviesa la atmosfera del exoplaneta, será en parte absorbida por los elementos químicos existentes en dicha atmósfera. De esta manera, podremos determinar la composición química de cualquier atmósfera.

Un ejemplo de esto lo constituyen los recientes descubrimientos del Telescopio James Web, en lo que hace a diversos sistemas exoplanetarios.

Un ejemplo: de cómo es posible aproximarnos a la búsqueda de la vida, sería el siguiente.-en el modelado detallado del exoplaneta WASP-39b, realizado gracias a las observaciones del Telescopio Web, reveló que el SO_2 en su atmósfera es producido por fotoquímica, lo que resulta sumamente importante porque la fotoquímica es fundamental para que la vida en la Tierra prospere, ya que está vinculada con la producción de O_3 (ozono), con la fotosíntesis y con la producción de vitamina D fundamental para el organismo humano.

Desde el momento cero en la línea de tiempo que propondremos, solo transcurrieron unos 100 segundos hasta la transformación de lo que era todo energía en átomos. Para la aparición de la vida, debieron surgir primeramente las galaxias, luego las estrellas, estas debieron transformar los elementos químicos, enriquecer el medio intergaláctico e interestelar y se debieron dar las condiciones para que moléculas desordenadas, se ordenaran para formar estructuras complejas que pudieran replicarse a sí mismas y dieran, finalmente, paso a la vida.

En las próximas secciones se verá este largo proceso que, no es milagroso, es consecuencia de la evolución del Cosmos.

Actividad 1: Línea del Tiempo

Se trata de visualizar la línea temporal de la historia del Universo en una cinta. usando como unidad de medida un metro igual a mil millones de años ($1\text{m} = 10^9$ años, es decir $10\text{ cm} = 10^6$ años).

A medida que la ciencia avanza y se cuenta con instrumentos más precisos, la determinación de magnitudes tan importantes para la historia del Universo, como tiempo y distancia, puede llevar a ciertos cambios en lo que hace a los períodos en que se producen los eventos más significativos en el Cosmos. Recordemos que lo que sabemos del Universo es estadística, más y mejores observaciones pueden obligarnos a revisar todos nuestros resultados.

El Bing Bang, la gran explosión, tuvo lugar hace 13800 millones de años ($13,8 \cdot 10^9$ años), después, durante un corto periodo de tiempo de, 10^{-45} segundos, no se sabe muy bien explicar que sucedió pues no se puede ni siquiera aplicar la teoría de la relatividad de Einstein, este es la llamada Era de Planck.



Fig. 1: Simple presentación de la línea de tiempo en una cinta de 13,8 m de longitud. Aparecen cosidos algunos objetos que facilitan la relación y comparación de valores y permiten fijar la escala.

Después de 10^{-35} del Big Bang, comienza la INFLACIÓN, que responde a una expansión exponencial del Universo. Un microsegundo (10^{-6} segundos) después del Big Bang se inicia la formación de la sopa primordial (constituida por diversas partículas elementales).

Después de 3 minutos del Big Bang, se inicia la Nucleosíntesis Primordial del “H”. Toda esta primera parte realmente no se puede representar en la línea del tiempo por un problema de escala ya que estamos considerando 1 milímetro equivalente a un millón de años, los segundos o minutos son invisibles. Por ese motivo no se visualiza en la línea del tiempo, si no que se ve presentar por separado.

Después de 100 millones de años (transcurridos 10 cm), es decir, hace 13700 millones de años, se formaron los primeros elementos primordiales. Después de otros 100 millones de años, o sea otros 10 cm, hace $13,6 \cdot 10^9$ años se formaron las primeras moléculas, y entre estas, las primeras moléculas de agua.

Aproximadamente, también en este lapsus de tiempo, hace 13600 millones de años se formaron las primeras estrellas y algo después, hace 13100 millones de años las primeras galaxias. Después de un centenar de millones de años, se formó la Vía Láctea primitiva ($13,0 \cdot 10^9$ años) (figura 1).

Durante unos 8400 millones de años (8,4 metros: en nuestra escala, 10^9 años equivalen a un metro) tienen lugar una serie de fenómenos simultáneos. Las primeras estrellas van evolucionando, dando lugar a diferentes explosiones que expulsan diferentes tipos de átomos y va apareciendo la diversidad de elementos primordiales de la tabla periódica. A la vez, se siguen formando estrellas nuevas, que también evolucionan, y surgen diversos tipos de objetos, en diferentes etapas de evolución.



Fig. 2: Hace 4600 millones de años, se forma el Sol y con él van apareciendo los diferentes cuerpos del sistema solar, en particular se formó la Tierra y los planetas rocosos hace 4560 millones de años. Unos 20 millones de años después surgió el campo magnético terrestre, que nos sirve de protección frente a diversas radiaciones peligrosas para la vida tal como la conocemos.

Después de los mencionados 8,4 millones de años, esto es, hace $4,6 \cdot 10^9$ años, tiene lugar la formación de nuestro Sol, así como la formación de los primeros alcoholes. Los grupos OH son necesarios posteriormente porque aparecen en la formación de muchas moléculas que tendrán importancia para conseguir la constitución del ADN.

Unos 3 cm más tarde, hace 4570 millones de años, nació el sistema solar, 4mm después, hace 4566 millones de años, se formaron los planetas gaseosos y 6mm después, hace 4560 millones de años se formó la Tierra y los demás planetas rocosos (figura 2).

Unos 2 cm más tarde, surgió el campo magnético terrestre, de esto hace 4540 millones de años, con lo que ello representó de protección frente a diversos tipos de radiaciones perjudiciales para la vida en nuestro planeta.

Posteriormente, a 6 cm, se inició la formación de la Luna, hace unos 4480 millones de años, constituyendo el sistema Tierra-Luna dentro de nuestro sistema planetario.

Sólo 3 cm después, hace 4450 millones de años, se constituye la Primitiva Atmósfera Terrestre.

Hace $4,1 \cdot 10^9$ años, esto es después de 45 cm, tuvo lugar el Bombardeo Intenso Tardío, que afectó a los cuerpos del sistema solar, así como a la Tierra y la Luna.

Hace 4000 millones de años ($4,0 \cdot 10^9$ años), o sea 10 cm después, aparecen las Primeras Células Procariotas (sin núcleo) y aparece la molécula de ADN.

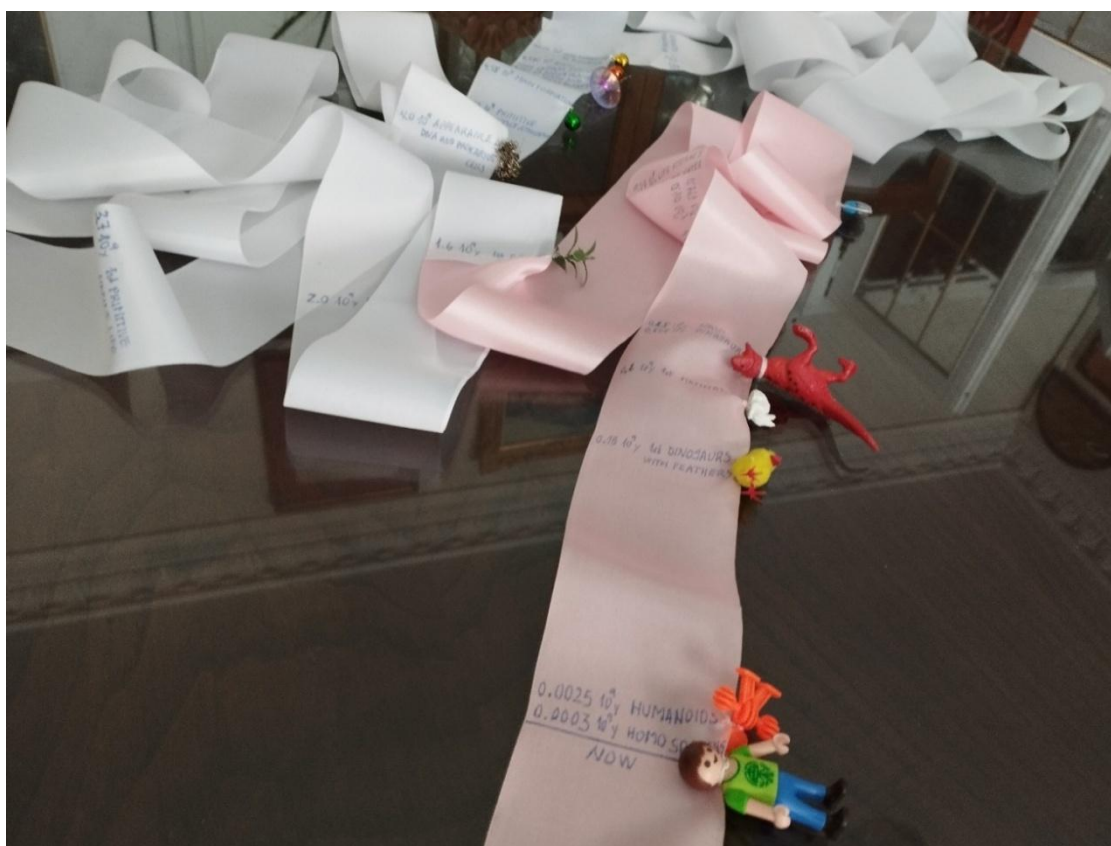


Fig. 3: En blanco la Línea desde sus inicios hasta la aparición de las primeras plantas verdes. En rosa desde este punto hasta la actualidad.

Después de 2 metros, esto es hace 2000 millones de años, comienza la vida que respira el Oxígeno O₂.

Después de 40 cm, hace $1,6 \cdot 10^9$ años, comienza la aparición de plantas verdes en nuestro planeta, esto es, la función clorofílica entra en juego (figura 3).

Más allá de 90 cm o 90 millones de años, es decir, hace 700 millones de años, ($0,7 \cdot 10^9$ años), comienzan a aparecer los primeros tejidos y órganos especializados.

Después de 18 cm, desde hace $0,52 \cdot 10^9$ años aparecen los de Trilobites, fósiles bien conocidos por todos nosotros.

Después de 5 millones de años, o sea 5 cm después, desde hace 470 millones de años tiene lugar la primera salida de animales del agua a la zona terrestre.

Transcurridos solo 7 cm, hace 400 millones de años, aparecen los Ammonites (conocidos fósiles).

3 mm después, hace 397 millones de años, aparecen los primeros vertebrados sobre la Tierra.

Si nos desplazamos 14,7 cm, hace unos 250 millones de años, aparecen los Nautilus, animales que todavía se pueden encontrar en nuestro planeta.

Solo 5 millones después, esto es 5 mm después, hace 245 millones de años, aparecen los primeros dinosaurios.

Después de 4,5 cm, hace 200 millones de años, surgen los primeros mamíferos, inicialmente eran pequeños, aunque después aparecen los de mayor tamaño.

5 cm más tarde, de esto hace 150 millones de años, aparecen los primeros dinosaurios con plumas, los antecesores de nuestras aves. De hecho, una de las menos evolucionadas y de las más próximas a los antiguos dinosaurios alados son las simples gallinas que tenemos en nuestros corrales (figura 3).

Más allá de 14,75 cm, esto es, transcurridos 14,75 millones de años, hace $0,0025 \cdot 10^9$ años = 2,5 millones de años = 2 500 000 años, aparecen los primeros Humanoides.

Tras sólo 2,2 mm, esto es, hace solamente $0,0003 \cdot 10^9$ años = $0,3 \cdot 10^6$ años = 300 000 años, aparece el Homo Sapiens.

Galaxias Caníbales

Las galaxias son grupos de estrellas unidas por gravedad que rotan sobre sí mismas. Los diversos grupos de galaxias forman filamentos donde la actividad de formación de nuevas galaxias es muy activa.

Todos los cúmulos de galaxias están incluidos en un gran ballet cósmico donde se encuentran, colisionan y el canibalismo de las más grandes sobre las más pequeñas hace que las jóvenes galaxias compitan para conseguir adquirir el gas libre que queda para promover la formación de nuevas estrellas (figura 4).

Así es como las zonas más ricas de formación de estrellas se corresponden con zonas de grandes colisiones, donde las grandes ganadoras son siempre las galaxias mayores. Toda esta actividad

tiene lugar en las zonas filamentosas del universo, quedando grandes espacios más libres de materia (figura 5).

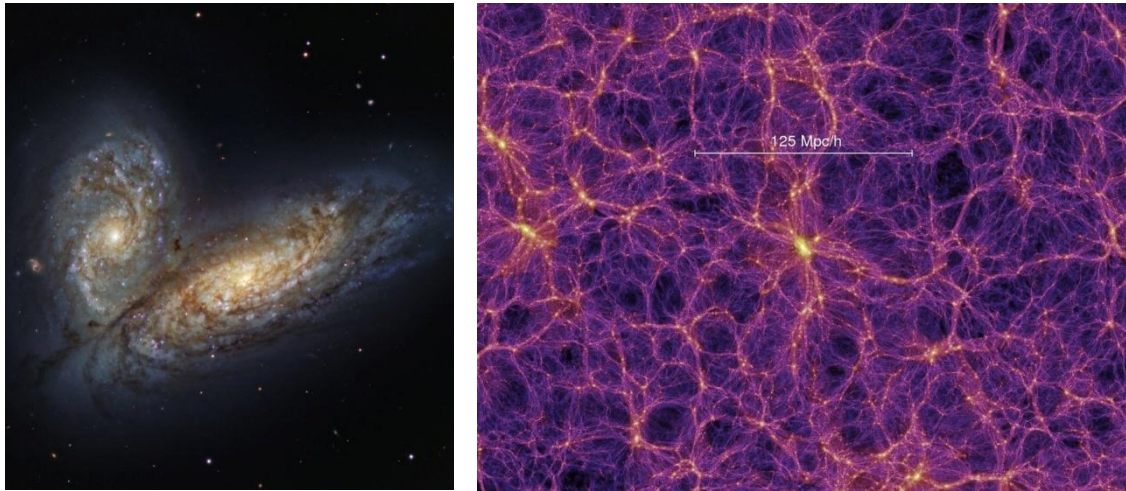


Fig. 4: Colisión de galaxias Caníbales (Crédito: ESO). Fig. 5: Modelización de la estructura filamentosa del universo (Crédito: Springel et al.)

Actividad 2: Modelo Filamentoso

La estructura filamentosa del universo se puede simular con una bandeja o un plato donde situar agua con detergente. Introduciendo un par de pajitas para sorber refrescos, se actúa de forma inversa, soplando aire por las mismas y consiguiendo así un buen número de burbujas en muy poco tiempo.

Como se puede ver en el modelo con grandes pompas de jabón, la mayoría del líquido jabonoso se dispone en las zonas de intersección entre burbujas, dando lugar a zonas de aspecto más o menos filamentosas.

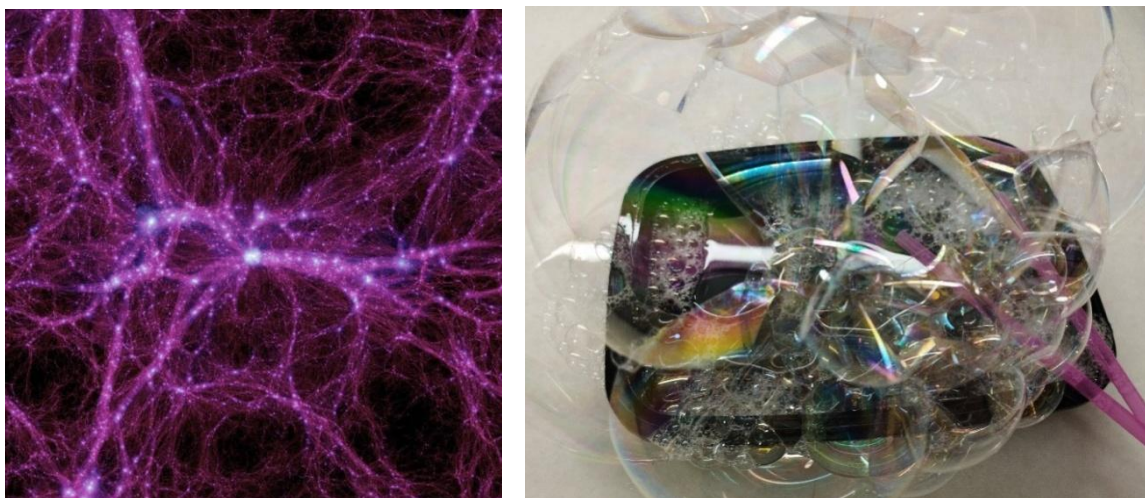


Fig. 6: Modelando la estructura filamentosa del universo (Crédito: Illustris Project). Fig. 7: Modelando la mencionada estructura en filamentos usando agua y detergente.

Clasificación de Galaxias

Hay galaxias espirales, barradas, elípticas, esféricas e irregulares, que usualmente suelen clasificarse de acuerdo con su morfología en la bien conocida secuencia de Hubble. Como se ha mencionado antes, esta clasificación atiende sola a su forma y no se corresponde con la evolución de las mismas.

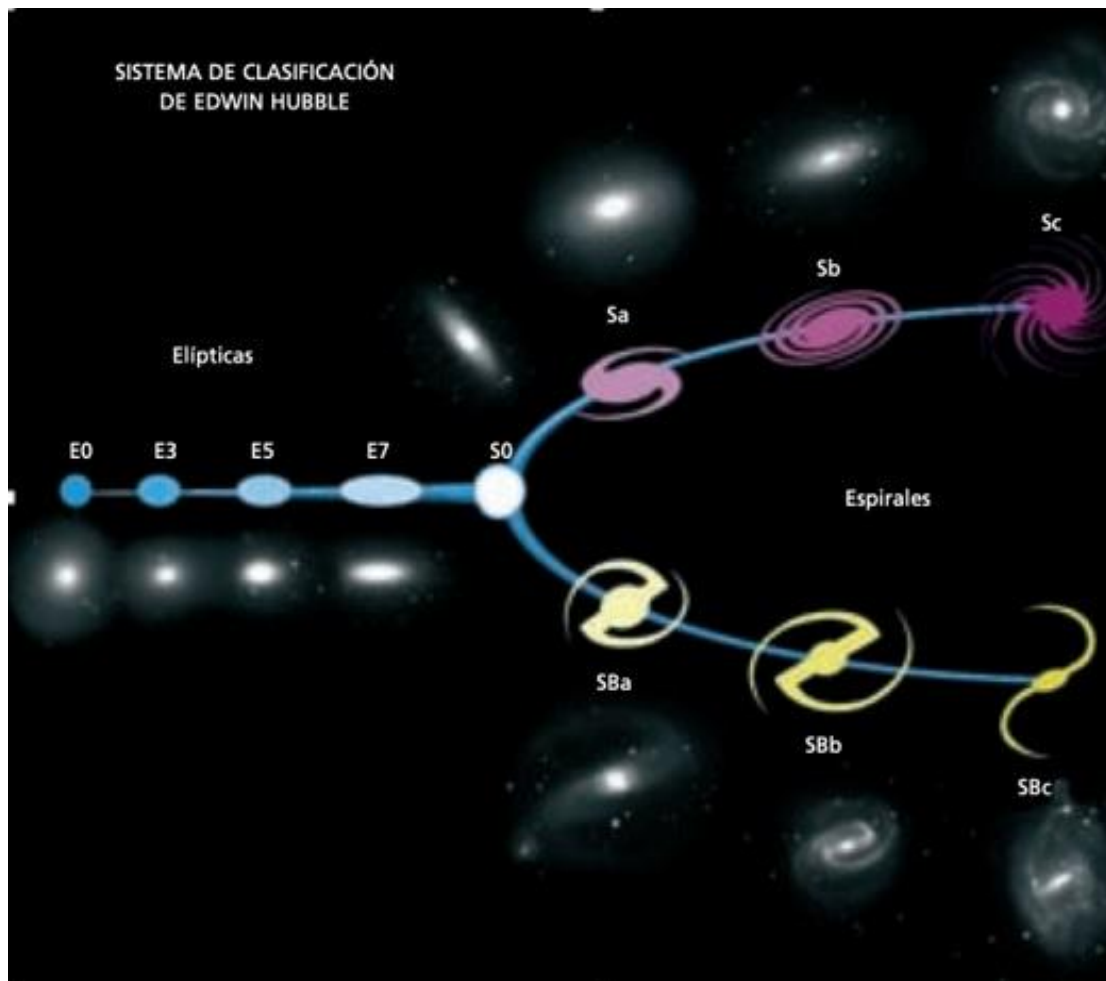


Fig. 8: Sistema de clasificación de Edwin Hubble (Crédito NASA-ESO)

Actividad 3: Simulación de la formación de Galaxias espirales

Un modelo de las galaxias espirales (Fig 9a) se puede hacer con un vaso lleno de agua y un producto que tenga granos muy finos, por ejemplo, bicarbonato sódico (Fig 9b), sal de mesa (NaCl), aunque se disuelve más fácilmente en agua, y arena (Fig 9c), con tal de que sea muy fina, pasada incluso por un tamiz.



Fig. 9a. Galaxia NGC 5457(ESA/Hubble)



Fig. 9b. Galaxia con bicarbonato.



Fig. 9c. Galaxia con arena.

Se remueve el agua del vaso con una cucharilla y con energía, dejas de remover, echas una cucharada del producto y esperas que los granos se posen. Se consigue un montoncito central y unos brazos espirales, muy similares a los que presentan las galaxias.

Mirando el vaso por el lado, el modelo también simula la forma de las galaxias vistas de canto, con el bulbo central (Fig. 10 a, b y c).

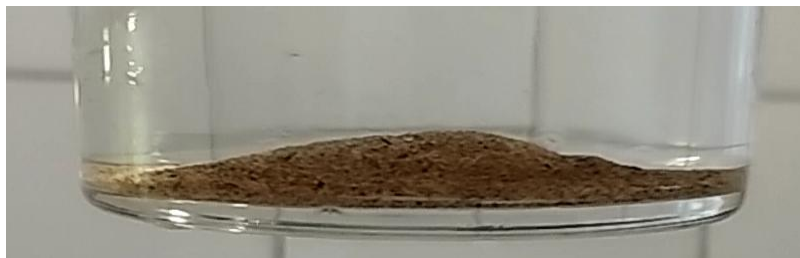


Fig. 10a, Modelo de galaxia de arena, visto de lado.

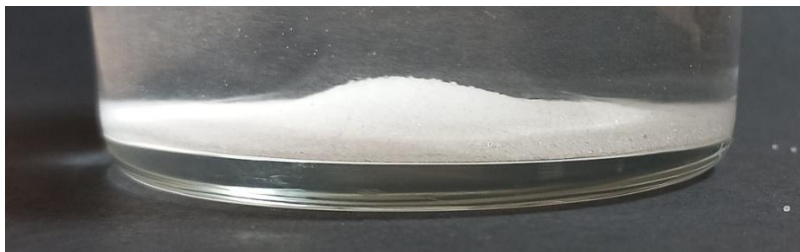


Fig. 10b. Modelo de bicarbonato, también visto de lado.

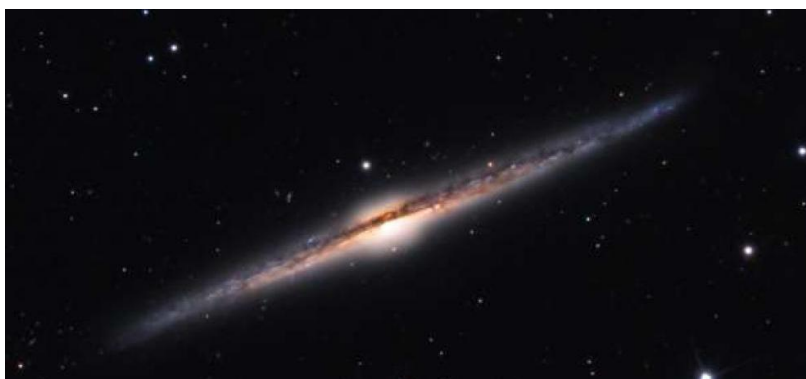


Fig. 10c. Galaxia NGC 4565, con el bulbo central (Crédito ESO/NASA)

Si sigues removiendo espacio, puedes ir modelando los brazos espirales, y llegar a conseguir algo parecido a las galaxias elípticas, otro de los tipos de galaxias de la secuencia de Hubble (Fig. 8). Nuestro modelo sólo no consigue reproducir las galaxias barradas.

Zona habitable en las Galaxias

En la zona central de las galaxias hay un alto nivel de energía, hay explosiones masivas de rayos gamma y enormes eventos muy energéticos y violentos, que hacen la vida imposible. Por otro lado, en la zona del borde de la galaxia faltan átomos más pesados que el Hidrógeno y el Helio, que son necesarios para la vida, así que la zona de habitabilidad se corresponde con una zona circular como la cámara de un neumático de coche y corresponde a la zona donde se mueve el Sol. La zona de habitabilidad en las galaxias se sitúa normalmente en un radio de entre 23000 a.l. y 30000 a.l. desde el centro de la galaxia (el Sol está a 27000 a.l.).

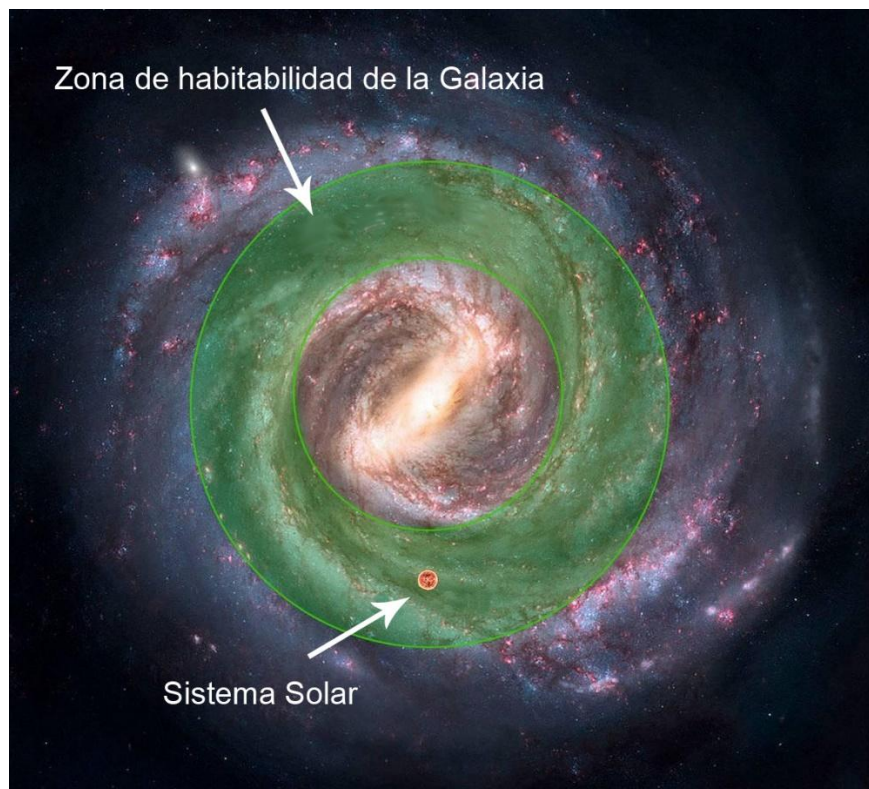


Fig. 11: Zona de habitabilidad de la galaxia (Crédito: NASA)

Plasma y Campo Magnético

En el medio intergaláctico, en el medio interestelar y en las propias estrellas, la materia suele estar en estado de plasma. Este plasma está formado por electrones, protones, partículas de alta energía y gas ionizado.



Fig. 12a: Nebulosa del velo, (Crédito Hubble), Fig. 12b: Cometa C/2002 E3 (Crédito Rykis Babianskas y Carlos Viscasillas)

En la Tierra hay materia en este estado como son los relámpagos, el interior de los tubos fluorescentes o lámparas de bajo consumo, monitores y pantallas de televisores, bolas de plasma o la llama de una vela.



Fig. 13a, 13b y 13c: Hay materia en estado de plasma en la bola de plasma, en una llama y en un tubo fluorescente

También es plasma el viento solar, una corriente de partículas cargadas que se liberan desde la corona del Sol hacia todo el sistema solar, en todas direcciones. El flujo de estas partículas es variable, muy influido por la actividad solar, que produce las manchas y las fulguraciones solares. El viento solar puede deformar el plasma de las colas de los cometas, que siempre apuntan en contra del Sol.

En la Tierra puede generar tormentas geomagnéticas, y da lugar a las auroras (luces en el norte y el sur). Las partículas del viento solar viajan a gran velocidad y con mucha energía, tienen un gran poder penetrante y pueden dañar el ADN de las células. El campo magnético terrestre forma la magnetosfera, que actúa como un escudo protector, como un paraguas, desviando las partículas con carga que resultan tan peligrosas para la vida, evitando que lleguen a la superficie terrestre.

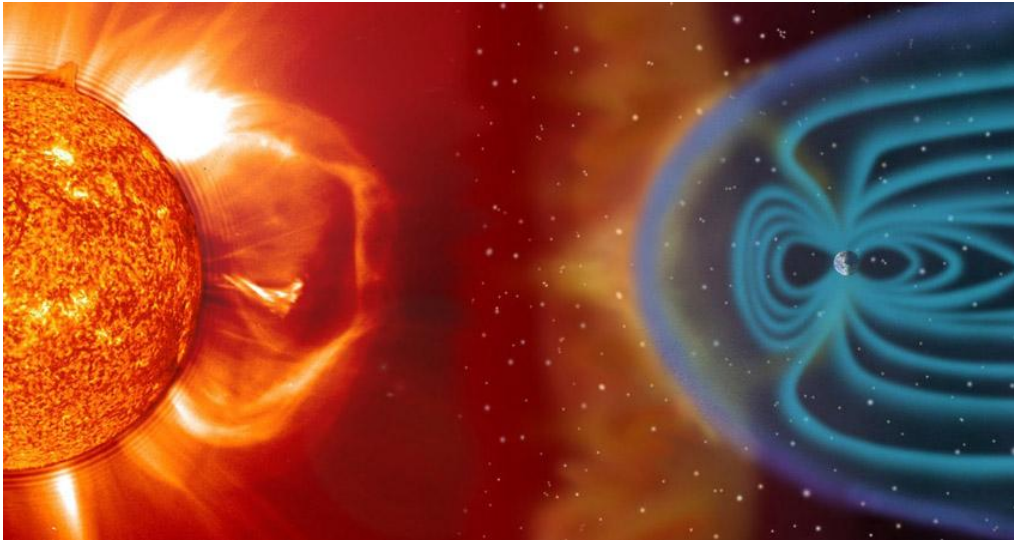


Fig. 14: El campo magnético terrestre sirve de escudo o paraguas frente al viento solar.

Cuando hay fuertes eyecciones coronales en el Sol, la intensidad del viento solar aumenta mucho, y puede perforar la magnetosfera terrestre. En esas ocasiones, parte del viento solar llega a la atmósfera en las zonas cercanas a los polos, generando bellas auroras boreales (en el hemisferio norte) y australes (en el hemisferio sur).

La energía de estas partículas excita los átomos de la atmósfera, haciendo que sus electrones emitan fotones de diferentes longitudes de onda. Si las partículas son de alta energía, el oxígeno produce una luz verde/amarilla, y si son de baja energía, luz roja/morada. En el caso del nitrógeno, produce una luz azulada, o rojo/púrpura en los bordes más bajos de las auroras.



Fig. 15a y 15b: Los diversos colores en las auroras dependen de la ionización del oxígeno y del nitrógeno. (Créditos, S.Ekko, Finlandia)

Actividad 4: Campo magnético terrestre

Podemos visualizar el campo magnético terrestre con un imán, que representa el campo magnético de la Tierra, y una brújula, con la que vamos recorriendo las líneas de fuerza del campo. Basta entender que la aguja del imán se sitúa “tangente” a las líneas del campo magnético (Figuras 17a, 17b y 17c).

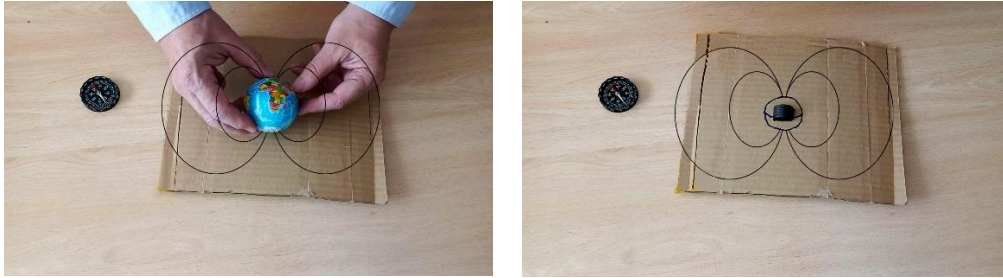


Fig. 16a, 16b Modelo del campo magnético terrestre con algunas líneas de fuerza representadas.



Fig. 17a, 17b, 17c: Con una brújula, las líneas de campo se “dibujan” (la aguja de la brújula siempre es tangente a las líneas de campo).

Dentro de una esfera de plástico, ponemos un imán envuelto en una servilleta de papel. Representa la Tierra. Espolvoreamos cerca de los polos limaduras de hierro, que visualizan muy bien las líneas de campo magnético en esa zona.



Fig. 18: Un imán dentro de una esfera de plástico, como modelo del campo magnético terrestre.

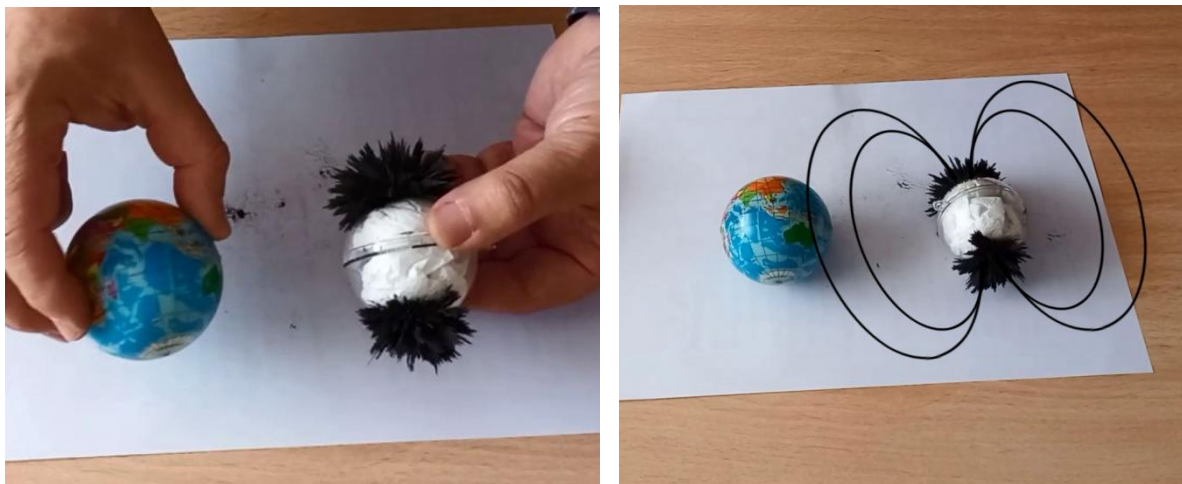


Fig. 19a y 19b: Con limaduras de hierro se visualizan las líneas de campo en las zonas polares. Es en estas zonas donde se producen las auroras.

El origen de la vida en la Tierra

Se acepta que el origen de la vida en la Tierra se remonta a hace más de 3 mil millones de años, evolucionando desde los microbios más básicos hasta una gran complejidad con el tiempo. Pero, ¿cómo se desarrollaron los primeros organismos en el único hogar conocido de vida en el universo?

La ciencia sigue indecisa y en conflicto en cuanto al origen exacto de la vida, incluso la definición misma de vida es cuestionada y reescrita. Algunas de las muchas teorías científicas sobre el origen de la vida en la Tierra que están en vigencia son:

- Una de las teorías más aceptadas es la que propone que la vida pudo haber comenzado en los respiraderos hidrotermales que se pueden encontrar en las profundidades oceánicas, generalmente en placas continentales divergente y que arrojan elementos clave para la vida, como el carbono y el hidrógeno. Los fluidos expulsados se van enfriando al atravesar la corteza terrestre, absorbiendo gases y minerales disueltos, como el carbono y el hidrógeno. En la actualidad sabemos que estos respiraderos, ricos en energía química y térmica, calientes y alcalinos, presentan una amplia variedad de especies (Figura 20a y 20b).
- Un rayo puede haber proporcionado la chispa necesaria para que comenzara la vida. Las chispas eléctricas pueden generar aminoácidos y azúcares a partir de una atmósfera cargada de agua, metano, amoníaco e hidrógeno. Durante millones de años, podrían formarse moléculas más grandes y complejas. Aunque la investigación desde entonces ha revelado que la atmósfera primitiva de la Tierra era en realidad pobre en hidrógeno, los científicos han sugerido que las nubes volcánicas en la atmósfera primitiva podrían haber contenido metano, amoníaco e hidrógeno y descargas eléctricas. Las primeras moléculas de vida podrían haberse encontrado en la arcilla, los cristales minerales en la arcilla podrían haber dispuesto moléculas orgánicas en

patrones organizados. Sin embargo, esta teoría no ha podido ser demostrada de manera categórica (Figura 21a y 21b).

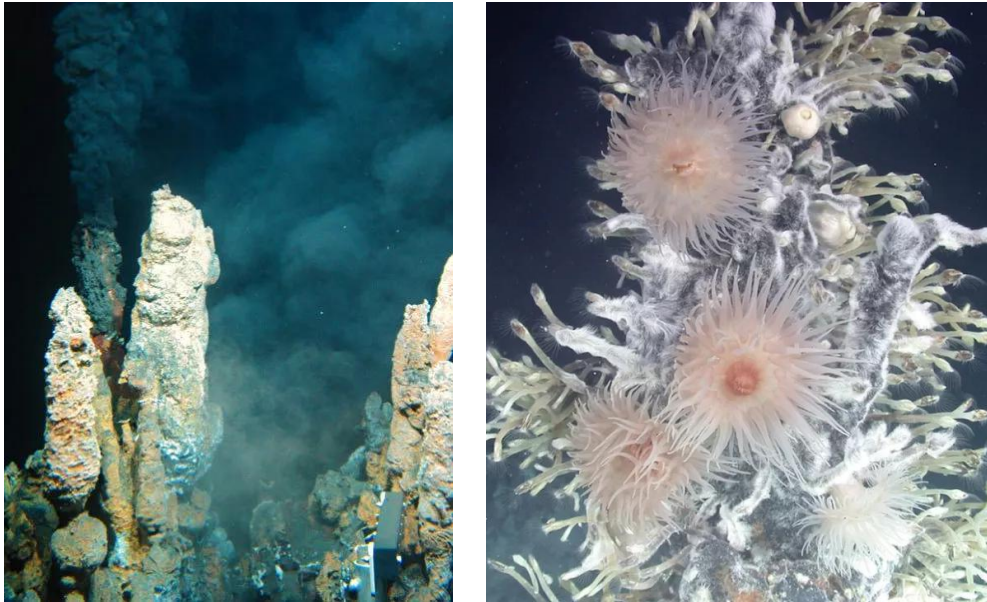


Fig. 20a: La vida pudo haber comenzado en los respiraderos hidrotermales donde el agua de mar ácida se encontró con un fluido alcalino de la corteza terrestre (Crédito: Institución Oceanográfica Woods Hole). Fig. 20b: Anémonas que prosperan en las cálidas aguas de los respiraderos (Crédito: Consorcio NERC ChEsSo)

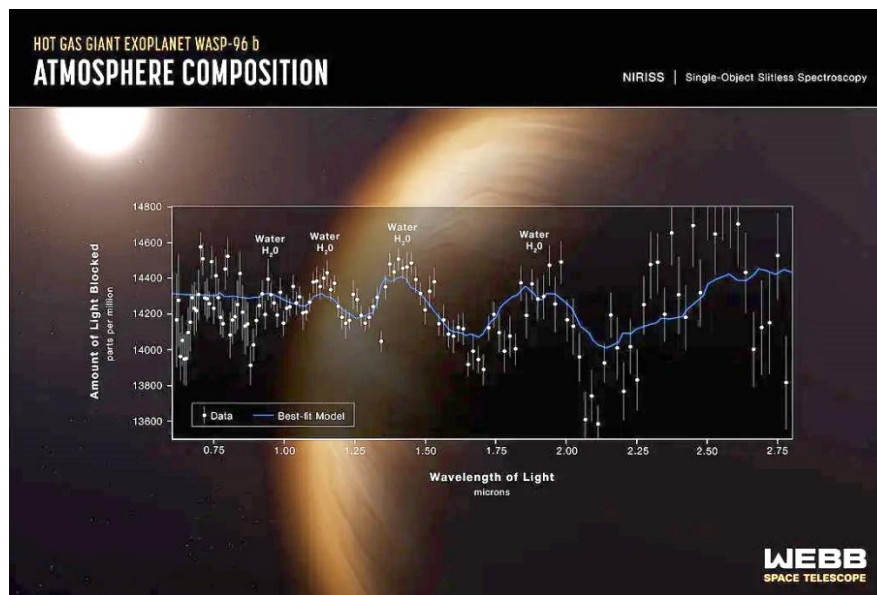


Fig 21a. Espectros de atmósferas exoplanetarias, adquiridos con el Telescopio James Web. WASP-96 b (arriba)

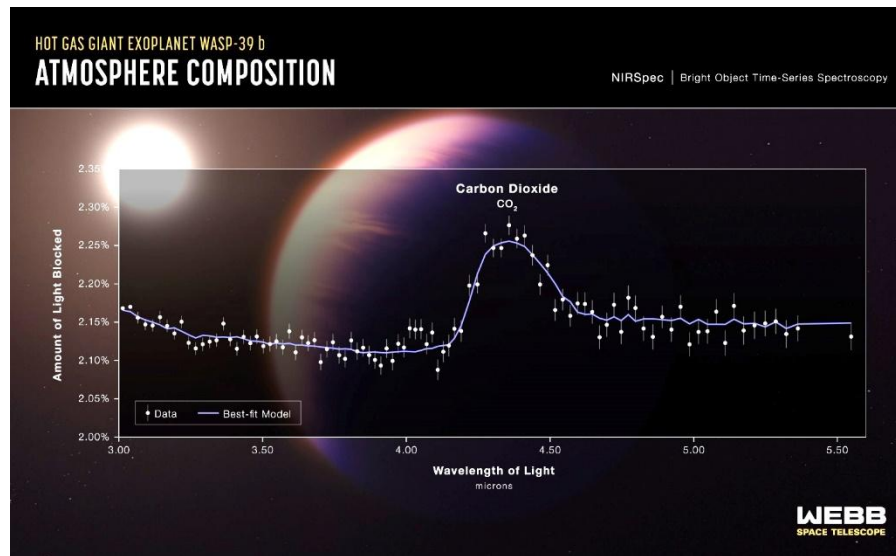


Fig 21b: se advierte la presencia de la molécula de agua; WASP-39 b (abajo): la banda de Dióxido de carbono en el centro del espectro. Nótese que estos espectros son de transmisión y las longitudes de onda corresponden al cercano infrarrojo, es decir que las bandas aparecen fuera de la región visible del espectro electromagnético.

- Hace 3 mil millones de años el hielo pudo haber cubierto los océanos y facilitó el nacimiento de la vida, pues se cree que los compuestos orgánicos son más estables a bajas temperaturas. El hielo también podría haber protegido los compuestos orgánicos frágiles de la acción de la luz ultravioleta y los impactos cósmicos. Hoy sabemos que en el suelo congelado, conocido como permafrost, existen formas de vida en estado latente.

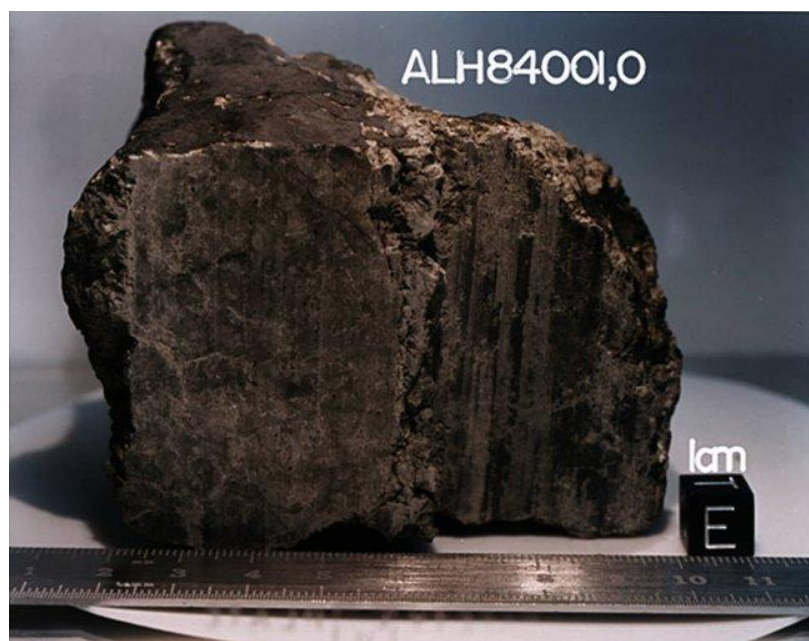


Fig. 22 . Meteorito ALH 84001: llegado de Marte, fue protagonista del anuncio prematuro de vida llegada de ese planeta. Hoy sabemos que lo que se detecta como materia orgánica no tiene un origen biológico.

Pero, también sería posible argumentar que la vida comienza fuera de la Tierra y habría llegado por el intercambio de rocas a lo largo de millones de años gracias al impacto de cometas, asteroides, meteoritos, en el marco de la teoría denominada panspermia. Protegidos de las condiciones del espacio exterior, los microbios podrían sobrevivir atrapados en las rocas, pero el tema debe tomarse con mucha seriedad, porque también es posible que al llegar a la Tierra, el material extraterrestre se contamine con vida preexistente en el Planeta, como ocurrió con el famoso meteorito ALH 84001 (Fig. 22), para el cual una investigación reciente, financiada por el Programa de Astrobiología de la NASA, muestra que el material orgánico en él no se formó biológicamente, sino por interacciones geoquímicas entre el agua y la roca.

Sin embargo, incluso si la panspermia fuera cierta, la cuestión de cómo comenzó la vida en la Tierra solo cambiaría a cómo comenzó la vida en otras partes del Universo.

La exploración de ambientes extremos en la Tierra ha llevado al descubrimiento de numerosos hábitats que se habían considerado inhabitables solo hace unos años. El interés por la diversidad y ecología de los ambientes extremos ha crecido por varias razones, no solo por el uso potencial de extremófilos y sus componentes en procesos biotecnológicos (como bio-minería, bio-remediación), sino por la búsqueda de los límites para la existencia de la vida.

Las primeras especies vivientes debieron ser formas de vida simples que sirvieron como conexión entre el primer organismo (como bacteria) y la vida tal como la conocemos hoy.

Como bien se sabe, no es posible simplemente juntar algunos elementos químicos en un tubo de ensayo y esperar que un nuevo tipo de vida aparezca espontáneamente. El origen de la vida es un evento que tarda millones de años en ocurrir, pero una vez que comienza, la vida puede multiplicarse exponencialmente y adaptarse a áreas de un planeta que pueden ser muy diferentes al lugar donde se originó.

Micrometeoritos

El material sólido originario del sistema solar, fue formando las lunas y los planetas. Esa acreción no ha terminado, y sobre la Tierra siguen cayendo unas 5 toneladas de material del espacio. Esos meteoros atraviesan a gran velocidad la exosfera y la termosfera sin dificultad porque esas capas son poco densas. Pero cuando llegan a la mesosfera, la densidad es mayor y se produce una gran fricción que puede llegar a fundir el material. Al enfriarse en la estratosfera y troposfera, al final presentan una forma esférica, a veces con estrías y en ocasiones pequeñas burbujas efecto de una solidificación rápida.

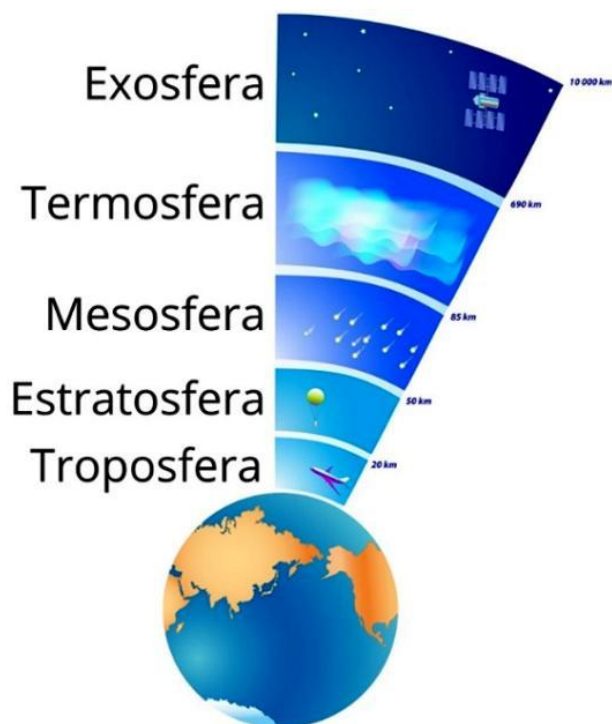


Fig. 23 Capas de la atmósfera (Crédito: Lifeder)

Actividad 5: Simulación de micrometeoritos esféricos.

Llenamos de aceite de girasol un envase alto y cilíndrico transparente a modo de columna. Con la ayuda de una jeringuilla (Figura 24a y 24b), se dejan caer unas gotas de agua o de refresco de cola (porque así su color se ve mejor). El estado físico inicial del agua o del refresco hacen que se formen pequeñas esferas de forma inmediata que se ven caer lentamente por la columna de aceite.



Fig. 24a: Realizando el goteo con una jeringuilla, Fig. 24b: Columna donde se forman las esferas.

Actividad 6: Búsqueda de micrometeoritos

Se pueden obtener micrometeoritos en el material que se deposita continuamente en tejados, carreteras, etc. Cuando llueve, el agua los arrastra por las canaletas de desagüe de los tejados y en las cunetas de las calles o rutas. Se recoge en una hoja de papel con un pincel un poco de arena de esos sitios.



Fig. 25a: En la vía pública se pueden encontrar cunetas o canaletas con arenilla donde podremos localizar meteoritos. Fig. 25b: Recogemos esta arenilla con un papel para analizarla.

A continuación se pasa un imán por debajo de la hoja de papel con el material: se verá claramente cómo pequeñas partículas de material ferroso es atraído por el imán (Figura 26). Sin separar el imán, vuelca el papel, y toda la arena se caerá, excepto esas partículas finas oscuras, que quedarán atraídas por el campo magnético del imán. Da media vuelta al papel y retira el imán. Ahí puede haber posible micrometeoritos.

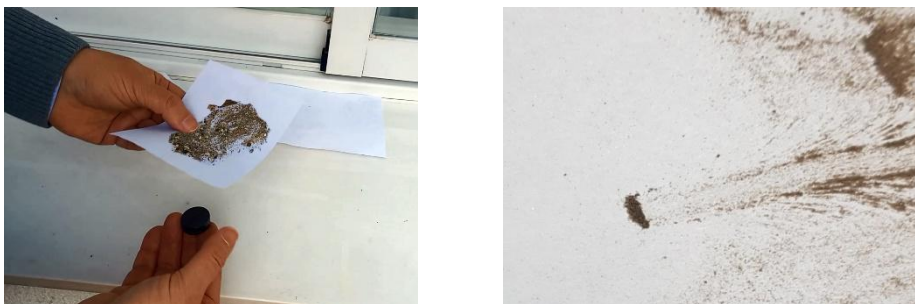


Fig. 26a y 26b: Al pasar el imán por debajo de la hoja de papel, arrastra el material ferromagnético

Al ver la muestra con la cámara del teléfono móvil con el máximo zoom, las partículas que son micrometeoritos tienen forma esférica, como pequeñas canicas.

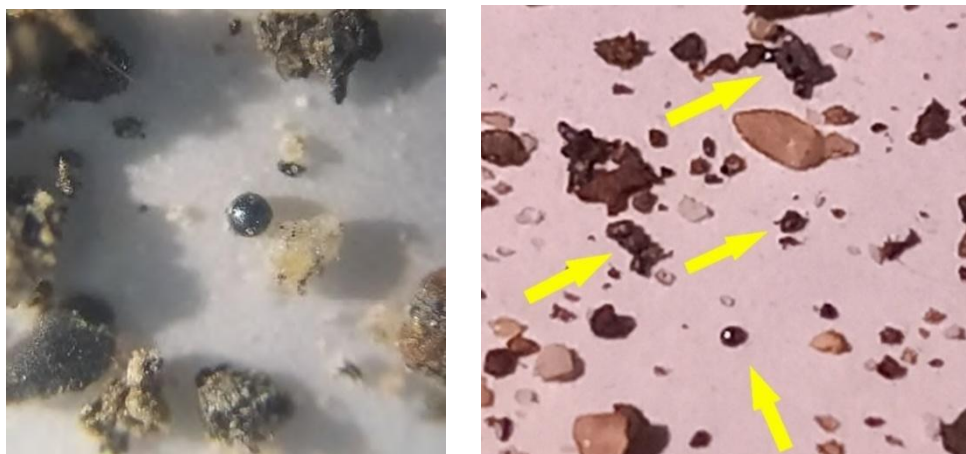


Fig. 27a: Fotografía de un único micrometeorito aislado con la cámara del móvil, Fig. 27b: Fotografía con varios micrometeoritos usando la misma cámara;

También puedes construir sencillas “trampas”. Para ello se necesita los siguientes elementos: una bandeja de cocina y papel de celofán transparente (papel film de cocina). Cubre la bandeja con el papel celofán doblando las orillas o pegando el celofán por debajo, para evitar que se vuele (Figura 28a, 28b y 28c).



Fig. 28a: Bandeja, papel celofán y cinta para pegar, Fig. 28b: Pegando el papel de celofán en la parte posterior de la bandeja, Fig. 28c: “Trampa” de micrometeoritos instalada en el jardín.

Pon la bandeja un poco separada del suelo, para evitar que el polvo circundante o la presencia de animales contaminen la muestra (Figura 28c), en un lugar donde no haya mucho viento y donde nada tape el cielo. Deja esta instalación al aire libre al menos una semana. El papel empezará a verse “sucio”. Al terminar la semana, traslada todo el material acumulado sobre una hoja de papel. Se pasa el imán por debajo y se analiza con la cámara del teléfono.

También es posible preparar una trampa individual para cada alumno. Es necesario un vaso de papel, una cuerda para atarlo y un pequeño imán.



Fig. 29a y 29b: El vaso atado con un hilo y un pequeño imán en su interior. Fig. 29c: Estudiante usando el vaso, buscando los micrometeoritos.

Para preparar la trampa para cada alumno, atamos el vaso con un hilo y metemos un pequeño imán dentro del vaso. Los estudiantes se mueven por el área del patio de la escuela con los vasos magnéticos. Luego retiran el imán, y si hay partículas de hierro (micrometeoritos), caerán sobre la hoja de papel blanca. Los estudiantes observan con las cámaras de sus teléfonos para encontrar micrometeoritos, identificándolos como pequeñas esferas.

Clasificación de Extremófilos

Un extremófilo es un organismo, frecuentemente es un microorganismo, que vive en condiciones extremas, es decir en aquellas circunstancias que son muy diferentes a las que viven la mayoría de las formas de vida terrestres.

Hasta hace poco tiempo, se pensaba que en los lugares donde hoy sabemos que crecen los extremófilos era imposible que hubiera vida. Por ejemplo, en las zonas extremadamente frías de la Antártida, en las aguas enormemente ácidas y con metales del Río Tinto, o en el desierto extremadamente seco y con metales pesados de Atacama. Pero se ha demostrado que hay organismos que viven en todas estas zonas.

Los astrobiólogos de la NASA y la ESA estudian sobre el terreno (Antártida, Desierto de Atacama, Minas de Río Tinto, etc.) cómo evoluciona o se adapta la vida para entender cómo se originó.

La Antártida, en su mayor parte, es fría y desolada, sin embargo, varios grupos de científicos han logrado encontrar gran cantidad de vida debajo de su superficie. Han encontrado microbios extremófilos viviendo a profundidades de 36m con temperaturas de -20°C en agua salada (que no se congela por la alta concentración de sal), otro grupo ha encontrado a 800 m de profundidad todo un ecosistema en ausencia total de luz (figura 30).



Fig. 30: Diferentes grupos científicos encuentran extremófilos bajo la superficie de la Antártida



Fig. 31: Fotografía de agosto 2022 después de varios años de sequedad, los últimos años fueron 2015 y 2017

Algunos extremófilos viven en ausencia de agua o son capaces de resistir la desecación viviendo con muy poca. Como los microbios del suelo del Desierto de Atacama.

Allí se da un fenómeno muy espectacular: el desierto florido. Este es el desierto más árido del mundo, en los años en que hay más precipitación de lo normal y después un frente frío aparecen una gran cantidad y diversidad de flores (hasta 14 variedades) que se mantiene durante unos meses.

La zona minera de Ríotinto desde el siglo I AC fue explotada por el Imperio Romano y la situación en la actualidad, después de cientos de años de minera de superficie donde se han extraído minerales pesados es de gran interés para estudiar la vida en condiciones extremas.

Otros extremófilos se desarrollan en ambientes de alta acidez y altas concentraciones de metal (Hierro, Cobre, Cadmio, Arsénico, Zinc, Plomo). Las reacciones en este río, están catalizadas por bacterias acidófilas, de forma que si se reduce la acidez se multiplica la población de bacterias, lo que genera más oxidación de sulfuros y más acidez en un proceso que se retroalimenta. Los habitantes de la zona saben cuándo va a llover por los cambios de color del río (las bacterias generan más acidez para mantener el pH durante la crecida del río).



Fig. 32: Las aguas de Rio Tinto de color rojo donde viven las bacterias acidófilas.

Hay extensas zonas de arbustos de *Erica Andevalensis* o “brezo minero”, distribuidos a lo largo del cauce del río. Estas plantas tienen sus raíces en suelos muy ácidos y con pocos nutrientes. Incluso algunas plantas crecen en las orillas del río con sus raíces parcialmente sumergidas en el agua ácida y suelos con altas concentraciones de Cobre y Plomo.

La investigación espacial necesita de los trabajos de los astrobiólogos en zonas extremas como la Antártida, el Desierto de Atacama o las Minas de Ríotinto. El primer paso de muchos de los protocolos que se realizan para descubrir extremófilos consiste en el proceso de extracción de ADN y por este motivo se realiza dicha actividad a continuación.



Fig. 33: Erica Andevalensis se extiende en todos la zona, cuyas raíces en suelos ácidos y con muy poco nutrientes

Actividad 7: Extracción del ADN

Después de observar que hay vida en condiciones muy extremas, se ha optado por hacer la prueba de ADN cuando se desea detectar la existencia de vida. Los restos de ADN permiten detectar la existencia de vida (actual o pasada), y esto se usa para buscar vida en el espacio. La molécula de ADN es una molécula muy larga y esta compactada con proteínas (como un ovillo) dentro de las células. Así pues, para poder detectar la presencia de restos de ADN es preciso preparar una solución con la que podamos romper la membrana envolvente de la célula.

Procederemos pues a modo de ejemplo a extraer el ADN de un tomate maduro porque es muy sencillo conseguir licuarlo.

Solución para romper la célula

En medio vaso de agua se disuelve una cucharadita de sal (Cloruro Sódico) para soltar las proteínas y liberar así el ADN que aparecerá de color blanco por la presencia de la sal. Tres cucharaditas de Bicarbonato de Sodio, para mantener constante el pH de la solución y que no se degrade el ADN. A continuación, se añade lavavajillas hasta que el agua tenga el color de éste, para romper la membrana de las células de carácter graso. Es necesario mezclar sin hacer espuma para poder ver bien el ADN.

Preparar el zumo de células “del tomate”

Comenzaremos extrayendo dos cucharadas de pulpa del tomate, aplastándola con una cuchara y triturrándola con un tenedor hasta tener un puré más o menos líquido (figura 34).

Echamos la solución rompedora de las células sobre el puré de tomate. Doble de volumen de solución que de puré de tomate. Para romper las células agitamos cuidando no hacer espuma y colamos para quitar los trozos grandes. El contenido de dentro las células está en el zumo y es allí donde se encuentra el ADN que queremos extraer.



Fig. 34: Preparando el puré líquido de tomate, para proceder a echarle el doble de solución rompedora de las membranas, para extraer el ADN.



Fig. 35: La nube de ADN resulta muy visible flotando sobre la mezcla

Hacer visible el ADN

Cuando hay muchas hebras de ADN se ve como una nube blanca (la sal le da el color blanquecino). Dejamos caer alcohol por la pared del vaso de zumo, porque queremos que quede una capa de alcohol encima del zumo sin mezclarse con él. En tres o cuatro minutos se forma

una nube blanca de ADN que se está agrupando y haciéndose visible (sube a arriba). Se le añade alcohol porque el ADN no es soluble en alcohol y se va formando la nube de ADN que resulta bien visible (figura 35).

Bibliografía

- Arisa, E., Mazón, J. and Ros, R.M. 2012, Looking for the north, EU-UNAWA, Barcelona, Spain.
- Dill K.A. and Agozzino L. 2021, “Driving forces in the origins of life”, Open biology, Volume 11, <https://doi.org/10.1098/rsob.200324>
- Kostov, R. I., Kurchatov, V. 2001. Bulgarian meteorites – history and stage of study. – Geology and Mineral Resources, 8, 10, 16-20, Bulgaria.
- Larsen L., 2019, On the Trail of Stardust: The Guide to Finding Micrometeorites: Tools, Techniques, and Identification, Voyageur Press, Beverly, MA (USA).
- Levy M. et al. 2000, “Prebiotic Synthesis of Adenine and Amino Acids Under Europa-like Conditions”, Icarus, Volume 145, <https://doi.org/10.1006/icar.2000.6365>
- Martin W. 2008, “Hydrothermal vents and the origin of life”, Nature Reviews Microbiology, Volume 6, <https://doi.org/10.1038/nrmicro1991>
- Moreno, R., 2022, Experimentos para todas las edades, 3ª Edición. Editorial Rialp, Madrid (Spain).
- Declaration for scientists/researchers using the NHM Collection, 2013.
- La plus Grande Histoire jamais contée, Des Origines de l’Univers a la vie sur Terre, Belin, Paris, France, 2017.
- <https://www.sciencefriday.com/articles/up-on-the-roof-a-handful-of-urban-stardust/>
- <https://micro-meteorites.com/>
- <https://www.astrogc.com/index-otros-projects-met.html>
- <https://www.pbslearningmedia.org/resource/5762943c-af62-4a3b-8340-36660545628a/go-outside-and-play-micrometeorites-young-explorers/>