

Tema 4: La historia de la tierra y el origen de la vida

La Tierra no siempre ha sido como la conocemos. Su historia abarca unos 4.540 millones de años y está marcada por transformaciones profundas en su superficie, en la atmósfera y en los seres vivos que la han habitado. Comprender cómo se formó el planeta y cómo apareció la vida permite dar sentido a muchos de los procesos naturales que siguen actuando hoy.

A lo largo de la historia, distintas culturas han tratado de explicar el origen de la Tierra empleando los conocimientos y creencias de su época. En muchas sociedades antiguas surgieron **relatos mitológicos** que atribuían la creación del mundo a dioses o fuerzas sobrenaturales. Más adelante, con la consolidación de las grandes religiones, aparecieron **interpretaciones teológicas** que proponían una **Tierra joven** y creada de manera repentina. Estas explicaciones, aunque forman parte de nuestro patrimonio cultural, no se basaban en observaciones sistemáticas ni en métodos científicos.

Fue a partir de los siglos XVII y XVIII cuando comenzaron a desarrollarse **teorías científicas** sobre la historia del planeta. Inicialmente, algunos naturalistas defendieron el **catastrofismo**, según el cual la Tierra habría adquirido su aspecto actual debido a grandes catástrofes naturales ocurridas en periodos breves. Sin embargo, esta visión empezó a cambiar gracias a investigadores como James Hutton y Charles Lyell, que introdujeron las ideas de **uniformismo y actualismo**. Según estos principios, los procesos geológicos que transforman la Tierra, como la erosión, el vulcanismo o la sedimentación, han actuado de manera similar a lo largo del tiempo, permitiendo deducir que la historia terrestre es mucho más extensa de lo que se pensaba. Hoy día, algunos científicos defienden una visión que combina ambas teorías conocida como **neocatastrofismo** y que considera tanto la importancia de los procesos constantes y durante largos periodos como de los eventos catastróficos breves en la conformación de la Tierra.

Gracias a estas nuevas perspectivas y al desarrollo de técnicas como la datación radiométrica, la comunidad científica ha podido establecer que la Tierra tiene aproximadamente 4.540 millones de años. Esta enorme escala temporal abre la puerta a comprender cómo se originaron los primeros océanos, se formaron las primeras moléculas orgánicas y, finalmente, cómo surgió la vida.

4.1. La medida del tiempo geológico

Para reconstruir la historia de la Tierra es necesario medir el tiempo en escalas que van más allá de la experiencia humana. El conjunto de métodos que permite conocer la edad de rocas, fósiles o estructuras geológicas recibe el nombre de **datación**. Existen dos maneras de hacerlo: mediante **datación relativa**, que ordena los acontecimientos sin indicar su edad exacta, y mediante **datación absoluta**, que proporciona una edad concreta expresada en años.

Datación absoluta:

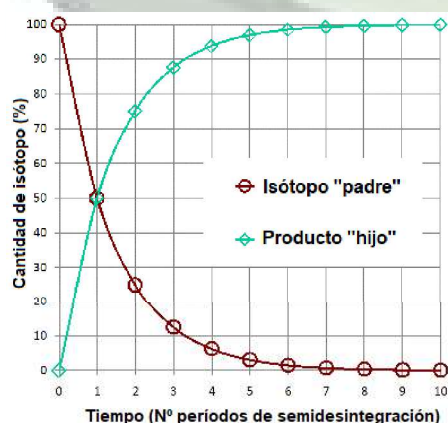
La datación absoluta permite obtener una **edad concreta**, expresada normalmente en años o millones de años. Para ello se emplean diferentes métodos científicos capaces de calcular el momento exacto en que se formó un material.

- **Dendrocronología:** analiza los anillos de crecimiento de los árboles para determinar la edad de la madera y reconstruir condiciones ambientales pasadas.
- **Varvas glaciares:** estudia las capas anuales de sedimentos depositados en lagos glaciares, que permiten contar años de forma similar a los anillos de crecimiento.

Si bien estos métodos permiten obtener edades precisas en contextos geológicos concretos, sólo la **datación radiométrica** puede aplicarse de forma general a rocas de prácticamente cualquier antigüedad. Este método se basa en que algunos elementos químicos poseen isótopos radiactivos que se desintegran a un ritmo constante, transformándose en otros elementos. Cada isótopo tiene un **periodo de semidesintegración**, que es el tiempo necesario para que la mitad de la cantidad inicial se desintegre. Comparando la proporción entre el isótopo inicial (radioactivo) y el isótopo final (estable), es posible calcular la edad de la roca. Para la datación de distintas muestras geológicas se emplean diferentes isótopos:

- **Carbono-14 (C-14):** útil para datar materia orgánica reciente, hasta unos 35.000 años.
- **Potasio-40 (K-40):** empleado en rocas volcánicas de gran antigüedad.
- **Uranio-235 (U-235):** es el más común, se utiliza para datar rocas muy antiguas gracias a su largo periodo de semidesintegración.
- **Rubidio-87 (Rb-87):** especialmente útil en rocas muy antiguas, debido a su proceso de desintegración lenta.

Isótopo	Vida media	Radiación emitida	Aplicaciones en geología
^{40}K	1.250 Ma	$^{40}\text{K} \Rightarrow ^{40}\text{Ar} + \beta$	Muy usado en rocas volcánicas, mesozoicas y cenozoicas, ricas en silicatos con K.
^{87}Rb	4.880 Ma	$^{87}\text{Rb} \Rightarrow ^{87}\text{Sr} + \beta$	Rocas muy antiguas, incluso metamórficas.
^{232}Th	14.100 Ma	$^{232}\text{Th} \Rightarrow ^{208}\text{Pb} + 6\ ^4\text{He} + 4\ \beta$	Asociado a U, se usa junto al método U-Pb.
^{235}U	710 Ma	$^{235}\text{U} \Rightarrow ^{207}\text{Pb} + 7\ ^4\text{He} + 4\ \beta$	Se usa para datar rocas ígneas precámbricas y fanerozoicas
^{238}U	4.470 Ma	$^{238}\text{U} \Rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\ ^4\text{He} + 6\ \beta$	
^{14}C	5.730 años	$^{14}\text{C} (^{14}\text{CO}_2) \Rightarrow ^{14}\text{N} + \beta$	En materiales orgánicos que hayan fijado C atmosférico con edad < 60.000 años.



Datación relativa

En este caso, no buscamos conocer la edad precisa de los materiales, sino qué materiales son más antiguos respecto a los que les rodean de tal manera que podamos ordenarlos y recapitular la historia geológica del lugar.

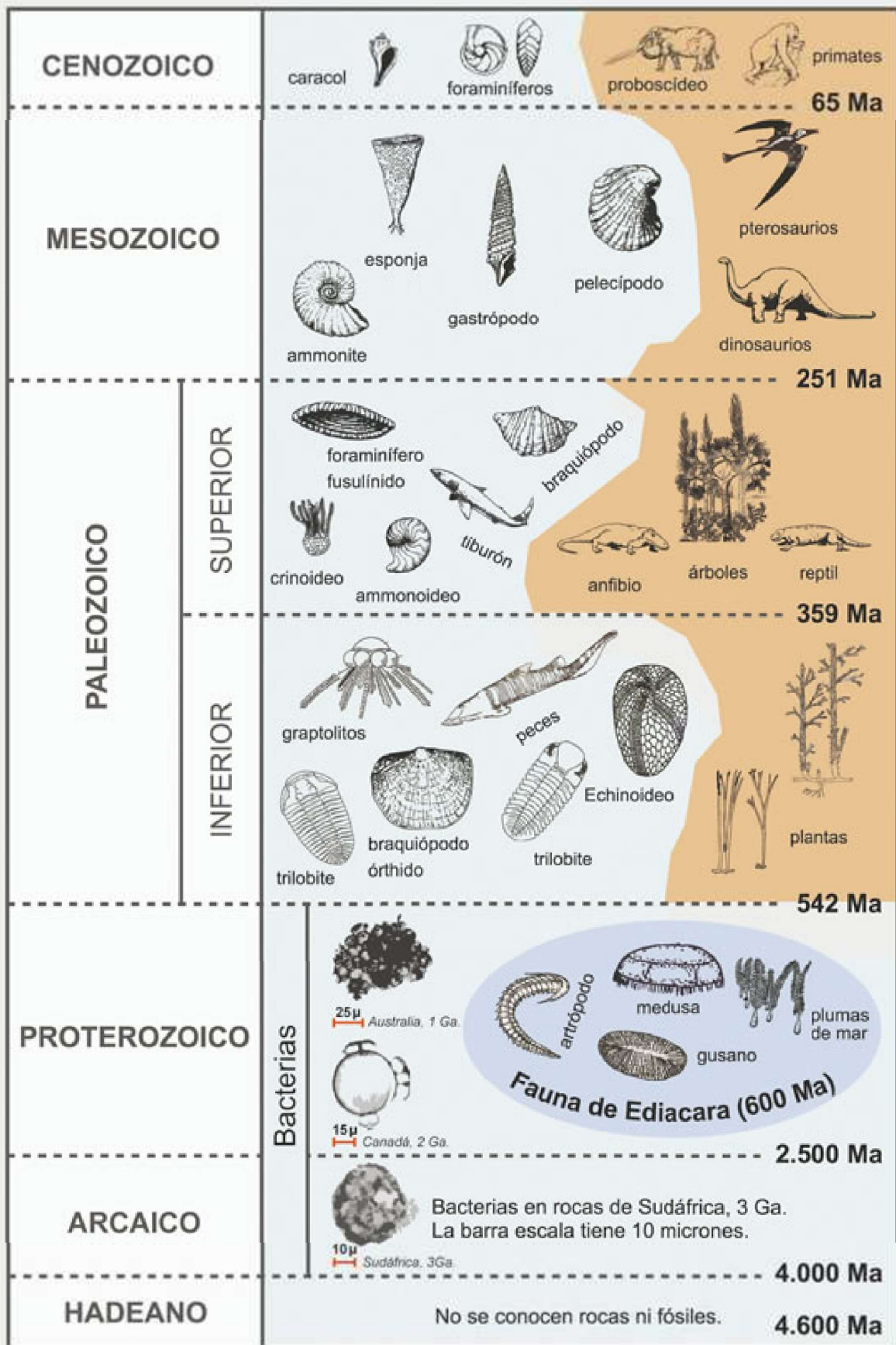
El principal método de datación relativa es la **estratigrafía**. Esta se sustenta en una serie de principios geológicos:

- **Principio de superposición:** en una serie de depósitos sedimentarios, que no han sufrido deformaciones, los materiales se encontrarán ordenados desde los más antiguos, en la parte inferior, hasta los más modernos en la superior.
- **Principio de continuidad lateral:** un mismo estrato tiene la misma edad en toda su extensión.
- **Principio de horizontalidad original:** las capas de sedimentos se deposita inicialmente en forma horizontal. Si aparecen alteradas, se deberá a procesos portadores como plegamientos.
- **Principio de intersección:** todo suceso es posterior a aquellos a los que afecta y anterior a los que no afecta o a aquellos que lo afecta a él. Ejemplo de esto son las intrusiones de un material sobre otros estratos, las fallas, procesos erosivos o plegamientos.
- **Principio de sucesión faunística:** los estratos de distintas épocas, contienen distintos fósiles que permiten identificarlos. Estratos con los mismos fósiles indicadores (**fósiles guía**), tendrán la misma edad.

Los Fósiles

Son los restos de seres vivos o su actividad que vivieron hace millones de años y se han conservado hasta la actualidad. Su estudio recae en la paleontología. Se forman por procesos de fosilización, bien por la mineralización de los componentes orgánicos, como los que originan fósiles de restos óseos, bien por su preservación en ámbar, o bien como moldes o, en algunos casos poco comunes, preservados en el hielo. De todos los fósiles existentes, sólo aquellos que son característicos de un pequeño periodo y lo suficientemente comunes a lo largo de grandes áreas de la Tierra se emplean como fósiles guía para marcar un determinado periodo geológico.

A la hora de identificar posibles alteraciones sobre los estratos depositados, es especialmente importante poder identificar la **polaridad** de dichos estratos, es decir, la zona más antigua (muro) y primero depositada del estrato, así como la parte más joven (techo) del mismo. Para ello se emplean **criterios de polaridad** como la granulometría, los materiales más gruesos se deposita primero, o la presencia de marcas como huellas, rozaduras o grietas que se formen sobre el techo de un estrato como molde negativo o sobre el muro del siguiente como molde positivo.



4.2. La escala del tiempo geológico

Resultado de la aplicación de los distintos métodos de datación, así como pruebas paleoclimáticas y el estudio de los cambios en el registro fósil, surge la escala del tiempo geológico actual y que viene dividida en **cuatro periodos principales** denominados **eones** reconocidos por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas.

Los tres primeros, **Hádico**, **Arcaico** y **Proterozoico** se agrupan en un supereón que denominamos **Precámbrico**. Por su parte, el cuarto eón **Fanerozoico** se estudia separadamente y corresponde con el origen y expansión de los organismos macroscópicos pluricelulares con lo que encontramos un amplio registro fósil. A su vez, estos eones se dividen en etapas de tiempo más pequeñas que denominamos **eras** y **periodos**.

- **Supereón Precámbrico:** comienza con la formación de la Tierra hace unos 4500-4600 m.a. y finaliza hace unos 540 m.a. con el evento de **explosión cámbrica**, una enorme radiación evolutiva en el que surgieron la mayoría de grupos animales que continúan hasta la actualidad.
 - **Eón Hádico:** abarca los primeros 500-600 m.a. desde la formación de la Tierra ([teoría planetesimal](#)). Durante esta etapa inicia el enfriamiento de los materiales de la Tierra, apareciendo una corteza inicial sometida a grandes cambios. Finaliza a la par que el **bombardeo intenso tardío**, evento astronómico que afecto a los planetas interiores del sistema solar sufriendo frecuentes impactos de grandes asteroides. De acuerdo con los estudios actuales, fue al final de este eón cuando surgió la vida.
 - **Eón Arcaico:** engloba desde hace unos 4000 m.a hasta unos 2500 m.a., durante esta etapa continúa el enfriamiento progresivo de la Tierra que ya había comenzado en el Hádico y se produce una evolución de la corteza terrestre que permitiría el posterior desarrollo de la tectónica de placas. Debido todavía al mayor calor se calcula que habría una intensa actividad volcánica y sísmica, quedando hoy día restos en forma de rocas metamórficas e ígneas. En esta etapa la atmósfera era fundamentalmente anóxica y reductora, surgiendo la **vida fotosintética** hace unos 3200 m.a. que provocaría el progresivo aumento de la concentración de oxígeno.
 - **Eón Proterozoico:** comienza hace unos 2500 m.a. y abarca hasta hace unos 540 m.a. momento en el que se produce una enorme explosión de la diversidad observada a nivel del registro fósil y que denominamos explosión cámbrica. Durante estos casi 2000 m.a. se produce un enorme cambio de la composición de la atmósfera como resultado de la liberación de oxígeno por parte de los organismos fotosintéticos pasando de una atmósfera reductora a una atmósfera oxidante. Este proceso denominado la **Gran Oxidación** causó, según las estimaciones, la desaparición de más de un 50 % de las especies. También tuvieron lugar grandes cambios climáticos, incluyendo varias glaciaciones que cubrieron la totalidad de la superficie terrestre dando lugar a los llamados eventos **Tierra bola de nieve**. A nivel biológico, se produce una expansión de las cianobacterias (bacterias fotosintéticas) que originaron los estromatolitos, estructuras minerales fruto del crecimiento de estos organismos en grandes colonias. En la última parte de este eón surge la conocida como **fauna de Ediacara** caracterizada por fósiles de organismos de cuerpo blando y sin esqueleto con formas muy diferentes a los grupos que se desarrollaron a posteriori. Esta compleja fauna que un día dominó los océanos de nuestro planeta desapareció desplazada por los grupos que aparecieron durante la explosión del cámbrico.

- **Eón Fanerozoico:** da inicio con el enorme cambio en diversidad que supuso la explosión cámbrica y se extiende hasta la época actual. A su vez se divide en **tres eras** y estas en diversos periodos.
 - **Paleozoico:** la primera de las tres eras, ocupa el periodo desde hace unos 540 m.a. hasta hace unos 250 m.a. y se subdivide en seis periodos:
 - Cámbrico: primer periodo del eón, inicia con la **explosión cámbrica** en la que surgen más de la mitad de filos animales actuales como esponjas, cnidarios, artrópodos o moluscos. Además se desarrollan los primeros animales con exoesqueleto en forma de caparazones y conchas. Destacan como fósiles guía los **trilobites**, artrópodos ya extintos que se desarrollaron enormemente durante esta etapa y que a finales del cámbrico sufren una importante extinción y que marca el final del periodo.
 - Ordovícico: se produce una gran diversificación de los invertebrados, apareciendo los primeros corales y expandiéndose bivalvos, equinodermos o nautiloideos entre otros grupos. Al final de este periodo surgen los primeros peces con mandíbulas, similares a los peces actuales. Surgen las primeras **plantas verdes** y hongos que **conquistan la tierra**. Su final se asocia con la extinción masiva, la segunda mayor de las cinco principales en cuanto a porcentaje de géneros desaparecidos.
 - Silúrico: durante este periodo surgen las **primeras plantas vasculares**, lo que incrementa la eficiencia fotosintética dando como resultado un incremento del porcentaje de oxígeno en la atmósfera. En el mar aparecen tiburones, peces cartilagosos, y otros peces extintos como los placodermos. Coincide con un periodo cálido con un importante efecto invernadero y mares cálidos que cubrían buena parte de la superficie terrestre. Finaliza con un evento de extinción menor respecto a las del resto de la era.
 - Devónico: aparecen los primeros helechos y coníferas en la tierra, formando grandes bosques y propiciando un mayor aumento del oxígeno atmosférico y la formación de la capa de ozono que protegería la superficie de la radiación ultravioleta y que permitió la expansión de la vida animal sobre ella. En los océanos se produce una **diversificación de los peces** con numerosas formas de tiburones y la aparición de los peces óseos. También surgen los primeros anfibios, todavía con estilo de vida acuático. La **colonización de la tierra por los animales** da inicio en esta etapa, siendo los primeros artrópodos semejantes a escorpiones actuales además de insectos alados. El final del devónico viene marcado por una extinción masiva que afectó especialmente a mares y océanos, y donde desaparecieron la mayoría de peces sin mandíbulas (agnatos) junto con corales y gran cantidad de gasterópodos y amonites.
 - Carbonífero: durante este periodo se desarrollan enormes bosques de helechos y equisetos (colas de caballo) gracias al clima cálido. La acumulación de los restos biológicos de estos bosques dió lugar a la mayoría de grandes yacimientos de carbón del mundo. En tierra firme se produce la **expansión de anfibios** que colonizarían todos estos territorios y serían progresivamente reemplazados por los reptiles. También aparecen **invertebrados de gran tamaño**
 - Pérmico: último periodo de la era paleozoica, a nivel geológico destaca la formación del supercontinente **Pangea** (deriva continental de Wegener) además

de un importante cambio climático, volviéndose mucho más árido y seco. Se diversifican los primeros organismos amniotas, estos son los que presentan huevo con características adaptadas a la vida terrestre, como mamíferos, tortugas y diversos saurios. Acaba con la **extinción masiva Pérmico-Triásica** donde desaparecen más del 70% de especies terrestres y más del 80% de las marinas, propiciando un gran cambio de la diversidad.

1 - Elabora un esquema de las distintas épocas de la historia de la Tierra vistas hasta el momento indicando los principales eventos acontecidos en cada uno de ellos.

2 - ¿Cuáles son los principales cambios que marcan el cambio entre eras y periodos?



- **Mesozoico:** es la segunda era del eón fanerozoico y se extiende desde hace unos 252 millones de años hasta hace 66 millones de años. Da inicio con la gran extinción del pérmico, evento pérmico-triásico, que supuso una profunda reorganización de los ecosistemas. Durante esta era, el clima fue generalmente cálido y los continentes estaban inicialmente unidos formando el supercontinente Pangea, que poco a poco comenzó a fragmentarse. Conocido como la era de los reptiles, es una etapa clave en la historia de la vida por la gran diversificación de vertebrados y plantas. Se divide en tres periodos:
 - Triásico: al comienzo de este periodo la vida se estaba recuperando de la gran extinción del Pérmico, por lo que la diversidad biológica era aún relativamente baja. Sin embargo, comenzaron a aparecer grupos muy importantes desde el punto de vista evolutivo. Durante el Triásico surgieron los **primeros dinosaurios** y los **primeros mamíferos**, aunque estos últimos eran pequeños y poco diversos. Los reptiles se diversificaron tanto en el medio terrestre como en el mar, ocupando nichos ecológicos que habían quedado vacíos tras la extinción anterior. El Triásico finalizó con una nueva extinción masiva que afectó a muchos grupos de reptiles y otros organismos, lo que permitió que los dinosaurios se convirtieran en el grupo dominante en el siguiente periodo.
 - Jurásico: se caracteriza por un notable aumento de la diversidad y una gran estabilidad ecológica. Los dinosaurios se diversificaron enormemente y dominaron los ecosistemas terrestres, alcanzando tamaños y formas muy variadas. En los mares, los reptiles marinos fueron abundantes y diversos. Durante este periodo **aparecieron las primeras aves** (no confundir con los pterodáctilos, reptiles voladores **no** dinosaurios), lo que representa un paso evolutivo clave en la historia de los vertebrados. Los mamíferos continuaron existiendo, pero seguían siendo pequeños y poco abundantes, ocupando un papel secundario. La vegetación estaba dominada por gimnospermas, que formaban grandes bosques.
 - Cretácico: la diversidad biológica alcanzó valores muy elevados. Uno de los cambios más importantes fue la aparición y rápida expansión de las plantas con flor o angiospermas, que transformaron los ecosistemas terrestres y favorecieron la diversificación de insectos polinizadores. Los dinosaurios alcanzaron su máxima diversidad y los grupos de aves y mamíferos comenzaron a aumentar lentamente. El Cretácico terminó con una extinción masiva causada, entre otros factores, por el impacto de un gran meteorito. Este evento provocó la desaparición de los dinosaurios no avianos y de muchos organismos marinos, marcando el final del Mesozoico.

La extinción de los grandes reptiles

Hace aproximadamente 66 millones de años, al final del periodo Cretácico, se produjo uno de los acontecimientos más importantes de la historia de la vida: una extinción masiva que provocó la desaparición de cerca del 75 % de las especies existentes, entre ellas los dinosaurios no avianos. Este evento marca el final del Mesozoico y el comienzo del Cenozoico, y queda registrado en los materiales geológicos como el límite K-T (actualmente denominado K-Pg).

El término límite K-T hace referencia a la frontera entre el Cretácico (K) y el Terciario (T), nombre tradicional del inicio del Cenozoico. Este límite se identifica en rocas de todo el mundo como una fina capa oscura que señala un cambio brusco en los fósiles y en la composición química de los sedimentos. En ella se observa una desaparición repentina de numerosos grupos de organismos, lo que indica una crisis biológica global.

Durante mucho tiempo se debatió cuál pudo ser la causa de esta extinción. Hoy en día, la hipótesis más aceptada es que estuvo provocada, al menos en gran parte, por el impacto de un gran meteorito en la actual península de Yucatán, en México. Este impacto dio lugar al cráter de Chicxulub, que tiene unos 180 kilómetros de diámetro, lo que indica la enorme energía liberada.

Se estima que el meteorito tenía unos 10 a 15 kilómetros de diámetro y viajaba a gran velocidad. Al chocar contra la Tierra, liberó una energía equivalente a millones de bombas atómicas. El impacto provocó terremotos, tsunamis gigantes y la eyección a la atmósfera de enormes cantidades de polvo, cenizas y gases. Este material bloqueó la luz solar durante meses o incluso años, provocando un oscurecimiento global y un descenso brusco de la temperatura, fenómeno conocido como invierno de impacto.

Como consecuencia de la falta de luz, la fotosíntesis se redujo drásticamente, lo que afectó primero a las plantas y al fitoplancton marino. A partir de ahí, las cadenas tróficas colapsaron, causando la extinción de numerosos animales herbívoros y, posteriormente, de los grandes depredadores, incluidos los dinosaurios. Los organismos más pequeños, con dietas variadas o capaces de refugiarse, como algunos mamíferos, aves y reptiles, tuvieron mayores probabilidades de sobrevivir.

Además del enfriamiento global, el impacto provocó incendios a gran escala y la liberación de gases que dieron lugar a lluvias ácidas, lo que agravó aún más las condiciones ambientales. Todo ello generó un cambio rápido y extremo en los ecosistemas, al que muchas especies no pudieron adaptarse.

Las pruebas

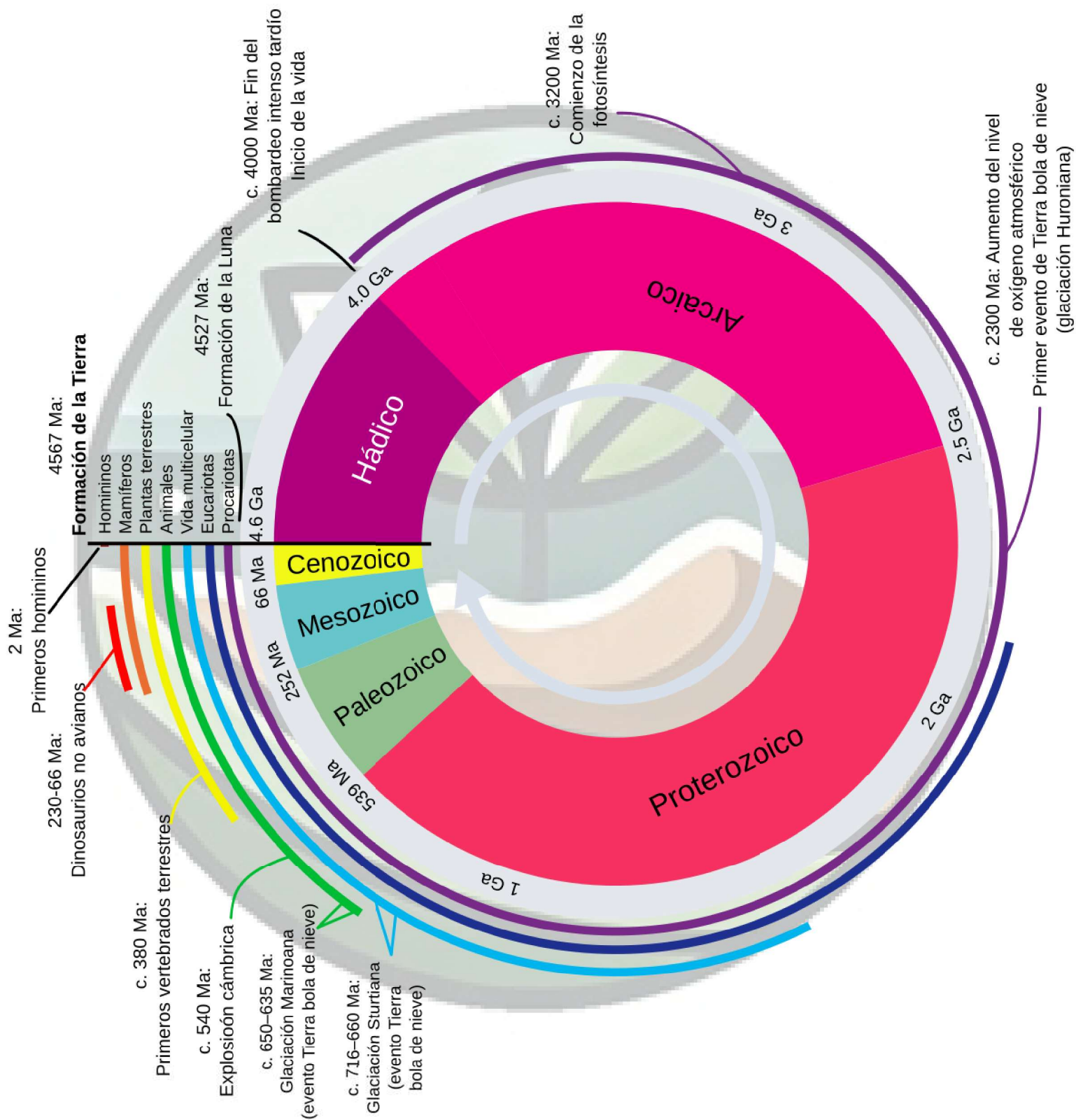
Los científicos disponen de numerosas pruebas que apoyan la hipótesis del impacto meteorítico. Uno de los indicios más importantes es la presencia, en el límite K-T, de una alta concentración de iridio, un elemento químico muy raro en la corteza terrestre pero abundante en meteoritos. Esta anomalía de iridio se ha encontrado en sedimentos de todo el mundo, lo que indica un fenómeno global.

Otro indicio clave es el hallazgo de cuarzo chocado, un tipo de mineral que presenta deformaciones características producidas únicamente por presiones extremas, como las generadas en grandes impactos. También se han encontrado esférulas de material fundido, formadas a partir de rocas vaporizadas que se solidificaron al caer de nuevo a la superficie.

Finalmente, la localización del cráter de Chicxulub, cuya edad coincide con el límite K-T, constituye una prueba geológica fundamental. La combinación de este cráter con las evidencias químicas y paleontológicas permite reconstruir con bastante precisión lo ocurrido.



- **Cenozoico:** se trata de la tercera y última era del eón fanerozoico, comenzó hace 66 millones de años, tras la extinción del final del Cretácico, y se extiende hasta la actualidad. Da comienzo con la extinción jurásica en la que desaparecen los grandes reptiles y que se corresponde a nivel geológico con el denominado **límite K-T**. La desaparición de los dinosaurios permitió que los mamíferos y las aves ocuparan muchos de los nichos ecológicos que habían quedado libres. A lo largo de esta era, los continentes alcanzaron posiciones cercanas a las actuales y el clima se volvió progresivamente más variable, con una tendencia general al enfriamiento.
 - Paleógeno: durante este periodo los mamíferos experimentaron una intensa radiación adaptativa, es decir, se diversificaron rápidamente para ocupar distintos modos de vida. Aparecieron muchos de los grupos de mamíferos actuales, como los **carnívoros**, los **primates** y los primeros **cetáceos**. Las aves también se diversificaron ampliamente y las **plantas con flor se consolidaron** como el grupo vegetal dominante. Fue un periodo clave para la construcción de los ecosistemas modernos.
 - Neógeno: como resultado de cambios climáticos, se favoreció la expansión de las praderas y otros ecosistemas abiertos. Esto influyó de manera directa en la evolución de los mamíferos, especialmente de los herbívoros corredores y de sus depredadores. Durante este periodo evolucionaron los **homínidos**, antepasados del ser humano, lo que constituye uno de los procesos evolutivos más relevantes del Cenozoico (*especialmente para nosotros, pero como somos los únicos seres vivos a los que les ha dado por escribir apuntes y encima obligar a los más jóvenes a estudiarlos... la mala suerte de no ser un odontoceto*). La diversidad continuó aumentando, aunque muy condicionada por los cambios ambientales.
 - Cuaternario: se caracteriza por la alternancia de etapas frías, glaciaciones, y cálidas o interglaciares. Estas glaciaciones provocaron importantes cambios en el nivel del mar y en la distribución de los seres vivos. Muchas especies desarrollaron adaptaciones al frío, mientras que otras no lograron sobrevivir. Durante el Cuaternario se produjo la **extinción de gran parte de la megafauna**, en un proceso en el que influyeron tanto los cambios climáticos como la actividad humana. En este periodo apareció y se expandió *Homo sapiens*, cuya influencia sobre la biodiversidad ha sido cada vez mayor.



4.3. El origen de la vida en la Tierra

Una de las preguntas más fascinantes que se ha hecho la humanidad desde la Antigüedad es: ¿cómo surgió la vida en la Tierra? Durante siglos, las respuestas fueron principalmente religiosas o filosóficas. Sin embargo, con el desarrollo de la ciencia, comenzaron a plantearse explicaciones basadas en la observación, la experimentación y el método científico.

Actualmente sabemos que la Tierra se formó hace aproximadamente 4.600 millones de años, y que las primeras formas de vida aparecieron mucho después, hace unos 3.800 millones de años. Pero ¿qué ocurrió entre esos dos momentos? ¿Cómo se pasó de materia inerte (sin vida) a las primeras células? Estas son las enormes preguntas que distintos autores y científicos han tratado de responder a lo largo de la historia.

Comprender el origen de la vida no solo nos ayuda a conocer mejor nuestro pasado, sino también a entender qué condiciones podrían permitir la existencia de vida en otros planetas.

Misticismo y teología

Las teorías místicas o religiosas explican el origen de la vida como el resultado de la acción de un **ser o fuerza sobrenatural**. En muchas culturas, los mitos de la creación describen cómo los dioses crearon el mundo y los seres vivos.

Estas explicaciones forman parte de las creencias y tradiciones culturales de los pueblos. Sin embargo, no se consideran teorías científicas, ya que no pueden comprobarse mediante el método científico ni someterse a experimentación.

Teorías científicas

Buscan explicar el origen de la vida a partir de procesos naturales, basándose en pruebas, observaciones y experimentos.

- Teoría de la síntesis prebiótica: teoría más aceptada en la actualidad. Hasta el siglo XVII se creía en la generación espontánea, es decir, que los seres vivos podían surgir directamente de la materia inerte. Más tarde, en el siglo XIX, Louis Pasteur demostró definitivamente que la vida no surge de manera espontánea en las condiciones actuales de la Tierra. De esta manera surgía una nueva duda, si hoy la vida no aparece espontáneamente, ¿pudo hacerlo en el pasado, cuando las condiciones del planeta eran diferentes? En la década de 1920, el científico ruso Alexander Oparin y el británico J.B.S. Haldane, de forma independiente, propusieron una explicación revolucionaria:
 - La **Tierra primitiva tenía una atmósfera muy diferente a la actual**, sin oxígeno libre.
 - Estaba compuesta por gases como **metano** (CH_4), amoníaco (NH_3), **hidrógeno** (H_2) y **vapor** de agua.
 - La **energía procedente de rayos, radiación ultravioleta y actividad volcánica** permitió que estas sustancias reaccionaran entre sí.

Según esta teoría, estas **reacciones químicas dieron lugar a moléculas orgánicas sencillas** (como aminoácidos), que se acumularon en los océanos primitivos formando una especie de “caldo primordial” y con el tiempo acabarían formando estructuras más complejas. En 1953, los científicos **Stanley Miller y Harold Urey** pusieron a prueba esta hipótesis en el laboratorio, mediante una simulación que imitaba las condiciones de

la Tierra primitiva. El resultado fue sorprendente: se formaron aminoácidos, moléculas fundamentales para la vida. Este experimento fue una prueba clave de que las moléculas orgánicas pueden formarse a partir de sustancias inorgánicas en determinadas condiciones.

- Teoría de los cristales de arcilla: sugiere que ciertos minerales, como los cristales de arcilla, pudieron actuar como “plantillas” donde las moléculas orgánicas se organizaron:
 - Los cristales podrían crecer y replicar su estructura.
 - Sobre su superficie podrían haberse organizado moléculas orgánicas.
 - Esto habría facilitado la aparición de sistemas más complejos.
- Teoría de la panspermia: plantea que la vida no se originó en la Tierra, sino que llegó desde el espacio exterior en forma de microorganismos transportados por meteoritos o cometas. Esta hipótesis no explica realmente el origen último de la vida, sino que lo traslada a otro lugar del universo. Sin embargo, algunos estudios han demostrado que ciertos microorganismos pueden resistir condiciones extremas, lo que mantiene abierta esta posibilidad.
- Teoría endosimbiótica (el origen de las células eucariotas): propuesta por Lynn Margulis en el siglo XX, explica la aparición de las células eucariotas, que tienen núcleo y orgánulos membranosos. Según esta teoría:
 - Una célula procariota primitiva incorporó en su interior a otras bacterias.
 - En lugar de digerirlas, establecieron una relación de simbiosis (beneficio mutuo).
 - Con el tiempo, estas bacterias se transformaron en orgánulos celulares.

Ejemplos de estos procesos serían las mitocondrias y cloroplastos de las células eucariotas actuales y que, con el paso del tiempo, han perdido su independencia hasta convertirse en orgánulos. Si bien aún mantienen características que recuerdan su origen bacteriano como la presencia de ADN circular en su interior o la composición de sus membranas internas, similar a la de bacterias.