

El tiempo profundo

QTC-007 · De los quarks a la consciencia

El universo, la vida y cómo llegamos a saberlo

Autor: Juan Segurola

Versión: v1.2 ES · 2 de septiembre de 2026

Perfil epistémico: Conocimiento establecido

Licencia: All Rights Reserved

Resumen del artículo

La edad de la Tierra no se descubrió en un único experimento. Antes de contar años, la geología aprendió a ordenar sucesos: una capa sobre otra, una intrusión que corta una roca anterior, una asociación fósil que sustituye a otra. Cronologías textuales, cálculos de enfriamiento, discordancias, evolución y física térmica compitieron después por determinar cuánto tiempo exigía esa secuencia. La radiactividad proporcionó finalmente relojes numéricos, pero solo cuando se controlaron sus supuestos y los problemas de contaminación. La edad resultante, 4,54 mil millones de años, no se lee en la roca más antigua conservada; surge de meteoritos, isótopos de plomo y una red de evidencias geológicas. La historia corrige además tres simplificaciones: la cronología de Ussher fue erudición seria dentro de otro marco probatorio, la radiactividad por sí sola no corrigió a Kelvin y el carbono-14 no puede fechar un planeta.

En 60 segundos

El tiempo profundo llegó en dos etapas. Primero, los geólogos aprendieron el orden de los acontecimientos sin conocer su edad en años. Los principios estratigráficos de Steno, los ciclos de Hutton, las discordancias y la sucesión fósil de William Smith convirtieron las rocas en historia legible. Después se intentó medir su duración. Los experimentos de enfriamiento de Buffon, el cálculo erosivo de Darwin y el modelo térmico de Kelvin dieron respuestas muy distintas porque dependían de supuestos sobre tasas y transporte de calor. Perry mostró en 1895 que el modelo conductivo de Kelvin era demasiado restrictivo; la idea popular de que la radiactividad lo resolvió por sí sola es incompleta. La desintegración radiactiva aportó luego relojes cuantitativos. Boltwood y Holmes alcanzaron escalas de miles de millones de años, y Patterson obtuvo $4,55 \pm 0,07$ mil millones, cerca del valor moderno de $4,54 \pm 0,05$. Esa precisión también reveló contaminación por plomo en el laboratorio y el ambiente. El tiempo profundo es una reconstrucción convergente, no una cifra extraída de una sola roca.

Por qué importa esta pregunta

La historia humana parece larga porque la vida individual es nuestra unidad natural. La historia terrestre casi elimina esa escala: las civilizaciones ocupan un intervalo superficial en un planeta de más de cuatro mil quinientos millones de años. Comprender cómo se obtuvo esa conclusión importa más allá de la geología. Muestra por qué un razonamiento correcto puede producir una cifra errónea cuando faltan pruebas o el modelo es incompleto, cómo el desacuerdo entre disciplinas descubre

supuestos ocultos y por qué la precisión empieza a veces al descubrir que el propio entorno de medida está contaminado.

1. Un mundo medido a partir de textos

La pregunta

¿Fue la Tierra joven de Ussher simplemente una creencia absurda a la espera de una corrección científica, o una conclusión disciplinada producida por otra regla sobre la evidencia? La distinción importa porque la geología cambió no solo la respuesta, sino también qué archivos podían responder a la pregunta.

En el siglo XVII, el arzobispo James Ussher situó la Creación en 4004 a. C. Hoy se usa a menudo esa fecha como chiste, pero esa lectura confunde un cambio en la base probatoria con una falta de inteligencia. Ussher sincronizó genealogías bíblicas, años de reinado y cronologías del mundo antiguo. Dentro de un marco que consideraba la Escritura como archivo histórico primario, el proyecto fue una investigación sistemática.[28,29]

Su debilidad no era una aritmética descuidada. Era que el archivo permitido resultaba demasiado estrecho para la historia de un planeta. Las rocas, los fósiles, el flujo de calor y las razones isotópicas todavía no se aceptaban como documentos capaces de desplazar una cronología textual. La revolución posterior cambió tanto la respuesta como las reglas sobre qué podía contar como prueba.

Es el mismo movimiento epistémico que aparece en otras ciencias. Una conclusión puede ser racional respecto al acceso disponible y derrumbarse cuando se admite un nuevo instrumento o una nueva clase de huella. El tiempo profundo sacó la historia humana y bíblica de la escala de la historia terrestre, no porque las personas posteriores fueran más inteligentes, sino porque el propio planeta se volvió legible.

En qué punto estamos

Los 4004 a. C. de Ussher fueron una respuesta disciplinada a una pregunta definida por textos. La geología no se limitó a añadir más años; amplió el archivo. Cuando capas, fósiles, erosión y procesos físicos se convirtieron en evidencia histórica, la Tierra adquirió una historia independiente del testimonio escrito. El cambio decisivo fue epistémico: el planeta se convirtió en documento.

2. Antes de los años llegó el orden

Una edad numérica no es el primer requisito para reconstruir una historia. La datación relativa pregunta qué acontecimiento ocurrió antes que otro. En una secuencia no alterada, una capa sedimentaria inferior es más antigua que la situada encima; una intrusión es posterior a la roca que corta; una superficie de erosión es posterior a las rocas truncadas bajo ella y anterior a los depósitos que la cubren.[1]

La obra de Nicolaus Steno de 1669 formuló principios fundamentales como la superposición y la horizontalidad original. Las capas se depositan en un orden, y su inclinación o plegamiento actuales registran sucesos posteriores. Estas reglas tienen condiciones y excepciones, pero convirtieron las relaciones entre rocas en una secuencia contrastable en el campo.[1,2]

La diferencia es esencial. Un historiador puede saber que un rey precedió a otro sin conocer el año exacto de ninguno. La geología también puede establecer una secuencia antes de medir el tiempo transcurrido. Los relojes numéricos calibran después ese orden; no lo sustituyen. Incluso la escala geológica moderna sigue siendo híbrida: relaciones estratigráficas más anclajes numéricos.

En qué punto estamos

El primer reloj de la geología no marcaba años. Registraba antes y después. La superposición, las relaciones de corte y otras huellas ordenaron la historia terrestre mucho antes de hacerla numérica. Es fácil infravalorar ese logro porque una secuencia sin fechas parece incompleta. En realidad, proporcionó la estructura en la que debía encajar toda edad radiométrica posterior.

3. Rocas que exigían más tiempo

En el siglo XVIII, Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon, calentó esferas metálicas, observó su enfriamiento y extrapoló el resultado a la Tierra. En *Les Époques de la Nature* (1778), su cálculo publicado llegó a unos 74.832 años.[3] La cifra era errónea por casi cinco órdenes de magnitud, pero el método era revolucionario: la duración terrestre se trataba como una magnitud física y no solo como una cronología leída.

James Hutton avanzó por otra vía. Su *Theory of the Earth* de 1788 describía ciclos repetidos de erosión, depósito, consolidación y levantamiento. Si los paisajes visibles eran producto de procesos que actuaban en ciclos, exigían duraciones muy superiores a la historia registrada. La Tierra cíclica de Hutton no era el relato moderno de un planeta con un inicio fechado, pero convirtió el tiempo inmenso en consecuencia de procesos observados.[4,5]

Siccar Point dio forma física a ese razonamiento. Estratos antiguos se habían depositado, endurecido, inclinado y erosionado antes de que otros más jóvenes se acumularan sobre ellos. El contacto es una discordancia: una superficie que registra historia ausente. Establece una secuencia de varias etapas, pero no indica cuántos años contiene el intervalo perdido.[5]

Hutton concluyó su artículo afirmando que no encontraba «vestigio de un comienzo ni perspectiva de un final».[4] La exposición de John Playfair de 1802 hizo más accesible el argumento huttoniano.[6] La frase expresaba una escala abierta, no una edad medida. La geología demostró que el archivo era profundo antes de saber cuánto.

En qué punto estamos

Buffon intentó contar la duración terrestre con física; Hutton dedujo inmensidad a partir de ciclos; Siccar Point mostró capítulos ausentes en la piedra. Ninguno obtuvo la edad moderna. Juntos cambiaron la carga de la prueba. Una historia corta debía explicar ahora cómo podían caber en ella depósito, deformación, erosión y un nuevo depósito.

4. Convertir la secuencia en un mapa

El mapa geológico de William Smith de 1815 extendió la cronología relativa por Inglaterra y Gales. Las unidades rocosas aparecían en un orden regular, y sus fósiles característicos permitían correlacionar estratos separados. Smith no necesitó una teoría moderna de la evolución para que la sucesión fósil funcionara como herramienta empírica. El tiempo relativo se había vuelto regional y cartografiable.[7]

Principles of Geology, de Charles Lyell, publicado desde 1830, insistió en explicar los cambios pasados mediante causas observables en el presente.[8,9] Esa disciplina metodológica fue enormemente productiva. Desalentó la invocación de procesos desconocidos cuando la erosión, la sedimentación, el levantamiento o el vulcanismo conocidos podían realizar el trabajo.

Pero un método exitoso se endureció hasta convertirse en exageración. Tiempo profundo no significa que todo ocurra despacio ni a velocidad constante. La geología moderna incluye procesos graduales persistentes y sucesos abruptos: impactos, inundaciones repentinas, grandes erupciones y movimientos de masa rápidos. Lo que se conserva de Lyell es la exigencia de causas físicas contrastables, no la suposición de que toda tasa geológica sea suave o uniforme.[30]

En qué punto estamos

Smith mostró que la secuencia podía atravesar un país; Lyell convirtió los procesos presentes en guía disciplinada del pasado. La geología moderna conservó ambos logros y abandonó el gradualismo estricto: la larga duración y el cambio súbito son compatibles. Esa inmensidad adquirió una consecuencia biológica, porque Darwin necesitaba generaciones suficientes para la evolución acumulativa y trató de estimar el tiempo mediante la erosión.

5. La evolución necesita tiempo

La selección natural de Darwin necesitaba suficientes generaciones para acumular pequeñas diferencias heredables, de modo que la edad de la Tierra se convirtió en una restricción biológica. La teoría no predecía una cifra única, pero una Tierra muy joven habría dificultado sostener la evolución acumulativa.[10,11]

En la primera edición de *On the Origin of Species*, Darwin estimó en 306.662.400 años el tiempo necesario para denudar el Weald, redondeado a trescientos millones. El cálculo dividía una cantidad de erosión inferida entre una tasa supuesta. Su precisión aparente ocultaba entradas mal determinadas.[10]

Darwin redujo la estimación en la segunda edición y eliminó el argumento numérico de las posteriores.[11] La retirada fue científicamente sana. El cálculo fallido demuestra una regla general: un modelo plausible puede producir una cifra impresionante sin producir una edad fiable. Tiempo igual a proceso dividido entre tasa solo funciona cuando ambos se conocen con suficiente precisión.

En qué punto estamos

La evolución hizo que la duración tuviera consecuencias biológicas, pero no proporcionó un cronómetro geológico. El cálculo del Weald fue valioso también porque fracasó: reveló cuánto puede depender una edad de una tasa asumida. El siguiente desafío vino de la física, cuyas restricciones térmicas aparentemente más firmes parecían negar a la biología y la geología el tiempo que necesitaban.

6. La física responde

La pregunta

Si la física de Kelvin era seria y el gradiente superficial medido era real, ¿por qué su cálculo hizo que la Tierra pareciera demasiado joven? La respuesta pone a prueba un relato común: ¿bastó la radiactividad para aportar el calor faltante o el fallo más profundo estaba en el modelo de transporte térmico terrestre?

William Thomson, más tarde lord Kelvin, trató la Tierra como un cuerpo caliente que se enfía con el tiempo. Sus estimaciones publicadas cambiaron durante décadas, desde límites amplios de unos 20–400 millones de años hasta valores posteriores próximos a 20–40 millones.[12,14] No fue resistencia anticientífica, sino un intento serio de conectar un modelo físico con gradientes térmicos medidos.

La respuesta dependía, sin embargo, de cómo se movía el calor en el interior terrestre. El modelo de Kelvin trataba de hecho el interior como un cuerpo rígido que perdía calor principalmente por conducción. En 1895, John Perry argumentó que un interior más móvil podía transportar calor con mucha mayor eficacia. El mismo gradiente superficial sería entonces compatible con un planeta mucho más antiguo.[13,14]

El relato habitual sostiene que la radiactividad, descubierta poco después, aportó calor extra y demostró sin más el error de Kelvin. Es incompleto. El calor radiogénico importó, pero una cantidad realista no rescata por sí sola una Tierra rígida y conductiva. La física ausente decisiva era el transporte convectivo del calor en el manto.[14,15]

Por eso el error de Kelvin enseña más que su caricatura. La termodinámica no era el punto débil; lo era el modelo interno. Perry identificó esa dependencia antes de establecerse la convección moderna del manto. Una respuesta equivocada obtenida con buena física señaló qué supuesto oculto debía sustituirse.

En qué punto estamos

Kelvin no perdió porque la geología derrotara a la física. Su resultado falló porque un modelo físicamente serio omitía el modo dominante de transporte de calor interno. La crítica de Perry muestra cómo debe funcionar un desacuerdo: localizar el supuesto que controla la respuesta. La radiactividad aportó después calor y relojes, pero la convección era esencial para resolver la paradoja térmica.

7. La radiactividad convierte profundidad en cifras

La desintegración radiactiva ofreció otra clase de tasa: los isótopos progenitores se transforman en productos hijos según constantes medibles. Si la historia de un mineral está suficientemente restringida, los productos isotópicos acumulados pueden codificar tiempo. El método no es automático. Importan el producto hijo inicial, las pérdidas o ganancias posteriores, las constantes de desintegración y el cierre del sistema.[16,18,23]

Un malentendido público puede eliminarse de inmediato. El carbono-14 sirve principalmente para materiales que formaron parte de seres vivos y alcanza unos 50.000 años. Puede fechar un mamut,

no un planeta. La edad terrestre exige sistemas isotópicos mucho más longevos conservados en minerales y meteoritos.[23,31]

El trabajo uranio-plomo de Bertram Boltwood de 1907 produjo edades desde cientos de millones de años hasta unos 2,2 mil millones para un mineral de Ceilán.[16,17] Los cálculos precedieron al conocimiento isotópico moderno y a constantes de desintegración precisas, por lo que cada valor era provisional. Sin embargo, la escala de miles de millones ya se medía en vez de inferirse de la lentitud de la erosión.

Arthur Holmes desarrolló la escala plomo-uranio en 1911 y la defendió en su libro *The Age of the Earth* de 1913. Algunos materiales precámbricos tempranos alcanzaron unos 1,6 mil millones de años.[18–20] No eran las fechas actuales, pero mostraron que sistemas radiactivos independientes podían anclar la historia geológica en cifras.

La geocronología moderna ganó fiabilidad al hacer visibles sus vulnerabilidades. La selección mineral, la composición isotópica inicial, el comportamiento abierto y la concordancia entre relojes pasaron a formar parte de la prueba. Las ecuaciones y controles de laboratorio corresponden a QTC-017; aquí basta el principio: el reloj funciona porque sus modos de fallo pueden comprobarse.[23]

En qué punto estamos

La radiactividad hizo algo más que aumentar una estimación: cambió la clase de evidencia disponible. La secuencia relativa podía calibrarse con relojes de supuestos explícitos y contrastables. Boltwood y Holmes alcanzaron escalas de miles de millones, pero la precisión todavía exigía mejores constantes, química isotópica y control de contaminación. Ese último obstáculo conectaría la edad antigua de la Tierra con una crisis ambiental moderna.

8. Un planeta de 4,54 mil millones de años

El análisis plomo-plomo de meteoritos publicado por Clair Patterson en 1956 dio $4,55 \pm 0,07$ mil millones de años y sostuvo que la Tierra tenía esencialmente la misma edad dentro de los supuestos del modelo.[21] El valor moderno aceptado es aproximadamente $4,54 \pm 0,05$ mil millones.[22] Surge de la evolución isotópica de materiales terrestres y meteoríticos, no de introducir una roca excepcionalmente antigua en una máquina.

Los materiales terrestres más antiguos conservados son más jóvenes que el planeta. Los circones de Jack Hills preservan historia cortical próxima a 4,4 mil millones de años; un grano analizado por Valley y colaboradores dio $4,374 \pm 0,006$ mil millones.[24,25] Un circón detrítico no es un cuerpo rocoso intacto ni el certificado de nacimiento de la Tierra. El reciclado cortical, el metamorfismo, la erosión y la subducción borrarían gran parte del primer archivo.

Las inclusiones ricas en calcio y aluminio de meteoritos primitivos proporcionan un anclaje aún anterior del Sistema Solar: $4567,30 \pm 0,16$ millones de años. La Comisión Internacional de Estratigrafía adoptó ese valor para la base del Hádico, redondeado en su tabla.[26,27] Es una convención ligada a sólidos tempranos del Sistema Solar, no el instante exacto en que terminó la acreción terrestre. La afirmación de QTC-004 de que el Sistema Solar se formó hace unos 4,57 mil millones de años es consistente con ese valor y con la edad terrestre, algo menor, de 4,54 mil millones.

La cifra de Patterson exigió otro avance. El polvo, el aire y los reactivos ordinarios contenían plomo suficiente para inundar muestras de microgramos y submicrogramos. Patterson desarrolló métodos de menor blanco e instalaciones que fijaron nuevos estándares de control de contaminación.[32] La técnica corresponde a QTC-017; su consecuencia pertenece aquí: medir el pasado remoto exigió reconocer un contaminante invisible en el presente.

La misma sensibilidad abrió el análisis isotópico de plomo en rocas, sedimentos y muestras oceánicas comunes. Patterson concluyó que la actividad humana había alterado profundamente el ciclo global del plomo y dedicó años a combatir la exposición industrial, incluido el plomo de la gasolina.[32] No actuó solo y la regulación fue gradual, pero el hilo causal es real. El intento de fechar la Tierra ayudó a revelar un problema de contaminación planetaria.

La escala geológica actual aún combina orden relativo y calibración numérica. Muchas rocas sedimentarias no pueden fecharse directamente con alta precisión, y las discordancias siguen borrando intervalos. El tiempo profundo no es una película completa de la historia terrestre, sino un archivo escaso unido por relaciones de corte, fósiles, modelos físicos, meteoritos y sistemas isotópicos que concuerdan dentro de incertidumbres declaradas.[1,7,22,27]

En qué punto estamos

La edad de 4,54 mil millones de años no es propiedad de una sola piedra antigua. Es el punto de encuentro de la cronología meteorítica, la evolución del plomo terrestre, el orden estratigráfico y sistemas isotópicos contrastados. Patterson revela además una lección más profunda: mejorar una medición puede exponer el entorno que la rodea. Un reloj para la Tierra antigua descubrió la contaminación de la moderna.

Lo que sabemos y cómo lo sabemos

- La datación relativa establece una historia geológica ordenada con independencia de las edades numéricas; superposición, relaciones de corte, fósiles y discordancias proporcionan la secuencia.[1,2,5,7]
- Los modelos de enfriamiento y erosión mostraron que las tasas físicas podían restringir la edad, mientras sus fracasos revelaron la sensibilidad a las tasas supuestas y al transporte de calor.[3,10–15]
- La desintegración radiactiva proporciona relojes cuantitativos cuando se controlan y contrastan la historia del sistema isotópico, las condiciones iniciales y las alteraciones. [16,18,21,23]
- La Tierra tiene unos $4,54 \pm 0,05$ mil millones de años, mientras el anclaje CAI de $4567,30 \pm 0,16$ Ma, la edad terrestre y los minerales terrestres más antiguos son magnitudes distintas.[22,25–27]
- El programa de plomo a niveles ultrabajos de Patterson conectó la medición de la edad de la Tierra con el reconocimiento de la contaminación antropogénica global por plomo.[21,32]

Lo que todavía no sabemos

- La secuencia detallada más temprana de acreción, diferenciación y formación de la corteza terrestre, porque gran parte del archivo hádico fue destruido o reciclado.

- Hasta qué punto los pocos minerales hádicos conservados representan la corteza y los ambientes superficiales más antiguos del planeta.
- La mejor manera de alinear algunos registros estratigráficos locales con escalas numéricas globales cuando escasea el material fechable o la alteración posterior es intensa.

Qué podría hacernos cambiar de opinión

- Sistemas isotópicos convergentes de mayor precisión y una cronología mejorada del Sistema Solar que desplazarán la edad de formación terrestre fuera del intervalo de incertidumbre actual.
- El descubrimiento robusto de minerales terrestres o rocas intactas mucho más antiguos, que actualizaría el registro conservado aunque no cambiara por sí solo la edad de la Tierra.
- Pruebas de que se han entendido mal las constantes de desintegración, el cierre o las condiciones iniciales de un sistema isotópico importante de modo que produzcan un sesgo compartido entre cronologías actuales.
- Un marco estratigráfico o cosmoquímico revisado que separara de forma distinta el anclaje CAI, la convención del límite hádico y la historia de acreción terrestre.

Si solo recuerdas una cosa

El tiempo profundo se ordenó antes de medirse, y sabemos que la Tierra tiene 4,54 mil millones de años porque convergen rocas, modelos y relojes isotópicos, no porque una piedra conserve una marca temporal perfecta.

Artículos relacionados

- QTC-017 — Cómo aprendimos a fechar el pasado

Referencias

[1] Smithsonian Human Origins Program. Dating. Current page; accessed 29 August 2026. <https://humanorigins.si.edu/evidence/dating>

[2] Nicolaus Steno; trans. Henry Oldenburg. The prodromus to a dissertation concerning solids naturally contained within solids. 1671 English translation of the 1669 Latin work. DOI 10.5962/bhl.title.145115. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.145115>

[3] Musée et Parc Buffon. Histoire naturelle — Buffon cooling experiments and Earth timescale. Current page; accessed 29 August 2026. <https://www.musee-parc-buffon.fr/histoire-naturelle/>

[4] James Hutton. Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe. 1788. DOI 10.1017/S0080456800029227. <https://doi.org/10.1017/S0080456800029227>

[5] The Geological Society of London. Siccar Point. Current page; accessed 29 August 2026. <https://www.geolsoc.org.uk/science-and-policy/100-great-geosites/historical-scientific-importance/siccar-point/>

- [6] John Playfair. Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth. 1802. Smithsonian facsimile record. https://www.si.edu/object/illustrations-huttonian-theory-earth-facsimile-reprint-introd-george-w-white%3Asiris_sil_24209
- [7] William Smith / Geological Society of London. A Delineation of the Strata of England and Wales with part of Scotland. 1815. <https://www.geolsoc.org.uk/about-us/history/visiting-the-william-smith-map/a-delineation-of-the-strata-of-england-and-wales-with-part-of-scotland/>
- [8] The Geological Society of London. Portrait of Sir Charles Lyell — Principles of Geology and uniformitarianism. Current page; accessed 29 August 2026. <https://www.geolsoc.org.uk/the-library/online-exhibitions/the-societys-portrait-and-bust-collection/portrait-of-sir-charles-lyell/>
- [9] Charles Lyell. Principles of Geology. First edition volumes, 1830–1833. Smithsonian scan record. https://www.si.edu/object/principles-geology-being-attempt-explain-former-changes-earths-surface-reference-causes-now%3Asiris_sil_421992
- [10] Charles Darwin. On the Origin of Species, first edition, Chapter IX. 1859. [https://en.wikisource.org/wiki/On_the_Origin_of_Species_\(1859\)/Chapter_IX](https://en.wikisource.org/wiki/On_the_Origin_of_Species_(1859)/Chapter_IX)
- [11] Darwin Correspondence Project, University of Cambridge. How old is the earth? Current page; accessed 29 August 2026. <https://darwin-editorial.darwinproject.ac.uk/letters/darwins-works-letters/rewriting-origin-later-editions/how-old-earth>
- [12] Lord Kelvin. The Age of the Earth. *Nature* 51, 438–440 (1895). DOI 10.1038/051438c0. <https://doi.org/10.1038/051438c0>
- [13] John Perry. The Age of the Earth. *Nature* 51, 582–585 (1895). DOI 10.1038/051582a0. <https://doi.org/10.1038/051582a0>
- [14] Philip England, Peter Molnar and Frank Richter. John Perry’s neglected critique of Kelvin’s age for the Earth: A missed opportunity in geodynamics. *GSA Today* 17(1), 4–9 (2007). DOI 10.1130/GSAT01701A.1. <https://doi.org/10.1130/GSAT01701A.1>
- [15] Frank M. Richter. Kelvin and the Age of the Earth. *Journal of Geology* 94(3) (1986). DOI 10.1086/629037. <https://doi.org/10.1086/629037>
- [16] B. B. Boltwood. On the Ultimate Disintegration Products of the Radio-active Elements. Part II. The Disintegration Products of Uranium. *American Journal of Science* s4-23(134), 78–88 (1907). DOI 10.2475/ajs.s4-23.134.78. <https://doi.org/10.2475/ajs.s4-23.134.78>
- [17] American Physical Society. February 1907: Bertram Boltwood Estimates Earth is at Least 2.2 Billion Years Old. 2024. <https://www.aps.org/apsnews/2024/01/boltwood-earth-age>
- [18] Arthur Holmes. The Association of Lead with Uranium in Rock-Minerals, and Its Application to the Measurement of Geological Time. *Proceedings of the Royal Society A* 85, 248–256 (1911). DOI 10.1098/rspa.1911.0036. <https://doi.org/10.1098/rspa.1911.0036>
- [19] Arthur Holmes. The Age of the Earth. Harper & Brothers, London, 1913. <https://www.gutenberg.org/ebooks/78241>
- [20] University of Illinois Rare Book & Manuscript Library. The Association of Lead with Uranium in Rock-Minerals. Current exhibit. <https://omeka-s.library.illinois.edu/omeka/s/rbml/item/4009>

- [21] Clair C. Patterson. Age of meteorites and the earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 10(4), 230–237 (1956). DOI 10.1016/0016-7037(56)90036-9. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(56\)90036-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(56)90036-9)
- [22] U.S. Geological Survey. Geologic Time: Age of the Earth. Updated 2007. <https://pubs.usgs.gov/gip/geotime/age.html>
- [23] U.S. Geological Survey. Radiometric dating methods and U–Th–Pb systematics. Open-File Report 86-110 (1986). <https://pubs.usgs.gov/of/1986/0110/report.pdf>
- [24] Simon A. Wilde, John W. Valley, William H. Peck and Colin M. Graham. Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago. *Nature* 409, 175–178 (2001). DOI 10.1038/35051550. <https://doi.org/10.1038/35051550>
- [25] John W. Valley et al. Hadean age for a post-magma-ocean zircon confirmed by atom-probe tomography. *Nature Geoscience* 7, 219–223 (2014). DOI 10.1038/ngeo2075. <https://doi.org/10.1038/ngeo2075>
- [26] James N. Connelly et al. The absolute chronology and thermal processing of solids in the solar protoplanetary disk. *Science* 338, 651–655 (2012). DOI 10.1126/science.1226919. <https://doi.org/10.1126/science.1226919>
- [27] International Commission on Stratigraphy. International Chronostratigraphic Chart update: Hadean GSSA. 2022. <https://stratigraphy.org/news/143>
- [28] James Ussher. *The Annals of the World, Deduced from the Origin of Time*. 1658 English edition. <https://archive.org/details/TheAnnalsOfTheWorld1658EditionPartOne4004To176BC>
- [29] James Barr. Why the world was created in 4004 B.C.: Archbishop Ussher and Biblical chronology. *Bulletin of the John Rylands Library* 67(2), p.575 ff. (1985). DOI 10.7227/BJRL.67.2.2. <https://doi.org/10.7227/BJRL.67.2.2>
- [30] Stephen Jay Gould. *Time’s Arrow, Time’s Cycle: Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time*. Harvard University Press, 1987. <https://www.hup.harvard.edu/books/9780674891999>
- [31] Oxford Radiocarbon Accelerator Unit, University of Oxford. Radiocarbon Dating. Current page; accessed 29 August 2026. <https://c14.arch.ox.ac.uk/dating/services>
- [32] George R. Tilton. Clair Cameron Patterson, 1922–1995. *Biographical Memoirs*, volume 74. National Academy of Sciences, 1998. <https://www.nasonline.org/wp-content/uploads/2024/06/patterson-clair-c.pdf>