

Geología y tiempo profundo

Juan Seguro

Pregunta central

¿Cómo hicieron la estratigrafía y el razonamiento geológico pensable el tiempo profundo antes de que la radiactividad hiciera numéricamente medible el tiempo geológico?

Contexto histórico y evolutivo

La experiencia humana opera en días, vidas y siglos registrados. Los procesos geológicos actúan a menudo durante intervalos muchísimo mayores que la memoria histórica. Antes de la datación radiométrica cuantitativa, los investigadores tenían que inferir el pasado de la Tierra a partir de rocas, estratos, fósiles, erosión y procesos presentes. El logro de la geología temprana no fue, por tanto, asignar una edad numérica a la Tierra. Fue hacer el **tiempo profundo** científicamente pensable y restringido por la evidencia.

¿Qué podían saber las comunidades antes de esta transición?

Antes de la geología moderna, mineros, agrimensores, filósofos naturales y tradiciones locales llevaban mucho tiempo observando estratos, fósiles, erosión y sedimentación. Faltaba una lectura histórica coherente de las rocas en la que los procesos presentes, el orden estratigráfico y duraciones inmensas pudieran combinarse en una historia explicativa de la Tierra.

¿Qué cambió?

Los estratos como registros

La minería, la construcción de canales y la cartografía de campo expusieron capas de roca ordenadas. Los principios de superposición y horizontalidad original formulados por Nicolaus Steno en el siglo XVII proporcionaron herramientas clave de razonamiento: en una secuencia no perturbada, los estratos inferiores son generalmente más antiguos que los superiores. El trabajo de William Smith a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX mostró que los conjuntos fósiles podían correlacionar estratos a distancia.

Estos métodos transformaron los paisajes en archivos. Una capa de roca no era solo material; podía ser evidencia de una secuencia de acontecimientos.

Hutton y ciclos sin un comienzo visible

El artículo de James Hutton de 1788 y *Theory of the Earth* (1795) sostuvieron que erosión, sedimentación, levantamiento y nueva erosión implicaban ciclos inmensos. En Siccar Point, las discordancias angulares se convirtieron en evidencia poderosa de múltiples episodios de depósito, deformación, erosión y nuevo depósito.

La famosa expresión de Hutton «ningún vestigio de un comienzo, ninguna perspectiva de un final» no debe leerse como una estimación moderna de edad. Proporcionaba un argumento cualitativo a favor de duraciones muy superiores a la cronología ordinaria.

Lyell y las causas actuales

Principles of Geology (1830-1833), de Charles Lyell, defendía explicar el cambio geológico pasado mediante causas que pudieran estudiarse en el presente. Etiquetas posteriores como «uniformitarismo» pueden simplificar en exceso su postura. La contribución metodológica duradera fue el **actualismo**: no invocar clases desconocidas de causa cuando procesos conocidos, actuando durante tiempo suficiente, pueden explicar la evidencia.

Lyell también infravaloró a veces la importancia de procesos episódicos o catastróficos. La geología moderna combina mecanismos graduales y catastróficos en lugar de tratarlos como filosofías mutuamente excluyentes.

Tiempo profundo antes del tiempo numérico

La geología del siglo XIX desarrolló cronologías relativas a partir de estratigrafía y fósiles. Las edades numéricas seguían siendo inciertas. Los cálculos térmicos de Kelvin restringían la edad de la Tierra a decenas de millones de años bajo supuestos que después quedaron invalidados por la radiactividad y la convección del manto. La datación radiométrica del siglo XX proporcionó finalmente edades absolutas.

PIO se detiene, por tanto, antes de la datación radiométrica. PIO-075 volverá a los procesos atómicos y radiactivos que hicieron cuantitativamente medible el tiempo geológico.

Por qué importó el tiempo profundo más allá de la geología

El tiempo profundo transformó la biología y la cosmología de la vida. La evolución darwiniana requería duraciones enormes para el cambio acumulativo. La paleontología obtuvo un marco temporal en el que podían ordenarse extinción y sucesión. La Tierra se convirtió en un objeto histórico cuyo estado presente codificaba procesos a través de intervalos inconcebibles.

¿Por qué pudo surgir esta capacidad?

La minería, la construcción de canales, la recolección de fósiles, la cartografía y los viajes de historia natural produjeron evidencia distribuida espacialmente. Pensadores anteriores fuera de la Europa occidental de comienzos de la Edad Moderna, incluidos Ibn Sina, al-Biruni y Shen Kuo, habían razonado sobre sedimentos, montañas, erosión y cambio del paisaje; la geología europea de los siglos XVIII y XIX reorganizó esos tipos de observación en historias estratigráficas cada vez más sistemáticas.

¿Qué formas posteriores de conocimiento hizo posibles?

El tiempo profundo hizo conceptualmente posibles la biología evolutiva, la paleontología, la geomorfología y, más tarde, la tectónica de placas. La geología del siglo XIX estableció secuencias relativas; los métodos radiométricos aportarían después edades numéricas en lugar de crear el concepto mismo de tiempo profundo.

Nuevos límites y riesgos

El razonamiento sobre tiempo profundo hizo inteligible la historia de la Tierra, pero la reconstrucción geológica siguió restringida por un archivo incompleto y selectivamente conservado. Erosión, metamorfismo, enterramiento, subducción y exposición limitada destruyen u ocultan evidencia, mientras que el énfasis de Lyell en causas actuales graduales podía favorecer la infravaloración de procesos genuinamente catastróficos. Disputas posteriores sobre la edad de la Tierra, incluidos los cálculos de enfriamiento de Kelvin, físicamente sofisticados pero geológicamente incompletos, muestran cómo una inferencia fuerte puede fallar cuando faltan mecanismos importantes en el modelo.

¿Qué cambió en la arquitectura del conocimiento?

La naturaleza adquirió una **historia evidencial más larga que la memoria escrita**. Rocas y fósiles se convirtieron en registros a partir de los cuales podían reconstruirse secuencias. La explicación científica aprendió a inferir procesos pasados no observados a partir de huellas presentes sin exigir testigos directos.

Pérdida, exclusión e incertidumbre

Las narrativas geológicas europeas suelen comenzar con Hutton y Lyell, pero las observaciones sobre erosión, sedimentación, levantamiento y formación de montañas tienen historias mucho más antiguas y geográficamente amplias, incluidos Ibn Sina, al-Biruni y Shen Kuo. La reconstrucción del tiempo profundo también pierde evidencia de forma sistemática: erosión, metamorfismo, subducción y exposición incompleta destruyen partes del archivo terrestre, por lo que la historia geológica es necesariamente inferencial e incompleta.

Mapa de dependencias

- INDIRECTO ← PIO-042 Mapas, coordenadas y representación del espacio
- INDIRECTO → PIO-066 Darwin, Wallace y la ascendencia común
- DIRECTO → PIO-077 Wegener y la deriva continental
- RETROSPECTIVO → PIO-075 Rayos X, radiactividad y el átomo medible
- RETROSPECTIVO → PIO-089 Tectónica de placas: mecanismo, síntesis y evidencia convergente

Referencias

1. Hutton, J. *Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*. Edinburgh (1795).
2. Lyell, C. *Principles of Geology*. London (1830–1833).
3. Virgili, C. «Charles Lyell and scientific thinking in geology.» *Comptes Rendus Geoscience* 339(8), 572–584 (2007). DOI: 10.1016/j.crte.2007.07.003.
4. Rudwick, M. J. S. *Earth's Deep History: How It Was Discovered and Why It Matters*. University of Chicago Press (2014).