

TEMAS 20

INVESTIGACION
y
CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

La superficie terrestre

2.º trimestre 2000



P.V.P. 1000 PTA. 6,01 EURO



Sumario

- 2 Dinámica terrestre**
Raymond Siever
- 14 Protohistoria de la Tierra**
Derek York
- 22 La corteza continental**
B. Clark Burchfiel
- 36 Evolución de la corteza continental**
S. Ross Taylor y Scott M. McLennan
- 43 Retazos litosféricos**
David G. Howell
- 54 La erosión, constructora de montañas**
Nicholas Pinter y Mark T. Brandon
- 61 Las cordilleras de plegamiento y el ciclo supercontinental**
J. Brendan Murphy y R. Damian Nance
- 70 Estructura de las cordilleras**
Peter Molnar
- 80 La corteza oceánica**
Jean Francheteau
- 96 Resolución de la paradoja de los terremotos profundos**
Harry W. Green II
- 104 La dorsal mesoocéánica**
Kenneth C. Macdonald y Paul J. Fox



Dinámica terrestre

Raymond Siever

La Tierra se define como un sistema de fluidos relacionados, uno de los cuales es la materia viva. Los hay rápidos y lentos, pero el planeta en su conjunto se mantiene en estado de equilibrio

Quienes estudian las ciencias geológicas están acostumbrados a trabajar con escalas espaciales y temporales muy diversas. Las dimensiones físicas del objeto del que se ocupan varían desde la escala global de la Tierra entera hasta regiones submicroscópicas, desde volúmenes de materia que se miden en kilómetros cúbicos hasta espacios interatómicos que se miden en angstrom. A menudo un mismo tema de investigación exige el manejo de escalas dispares; piénsese en un terremoto provocado por un deslizamiento de escasos centímetros a lo largo de una falla, que genera ondas sísmicas que viajan miles de kilómetros por el interior de la Tierra. De modo semejante, las dimensiones temporales usuales se extienden desde episodios de corta duración (terremotos, erupciones volcánicas o impactos de meteoritos) hasta sucesos que transcurren a lo largo de decenas o centenares de años (formación de meandros de un río), miles de años (glaciaciones), millones de años (deriva continental) e incluso miles de millones de años (formación de la actual atmósfera oxigenada). Más aún, un mismo proceso, el de meteorización, por ejemplo, puede abordarse en una amplia gama de escalas temporales: desde los minutos y horas que dura la medición de la velocidad de disolución de un mineral en un experimento de laboratorio hasta los miles de años que necesita la formación de un suelo. Tomados en distintas combinaciones, los parámetros del espacio y del tiempo geológicos definen el objeto del presente número, constituido por la multitud de pequeños y grandes cambios que han acontecido, y que continúan sucediendo, en la historia de la Tierra.

Geólogos, oceanógrafos, físicos del aire y naturalistas en general se sienten tentados de vez en cuando a considerar la Tierra como una máquina y hasta como un organismo vivo. La

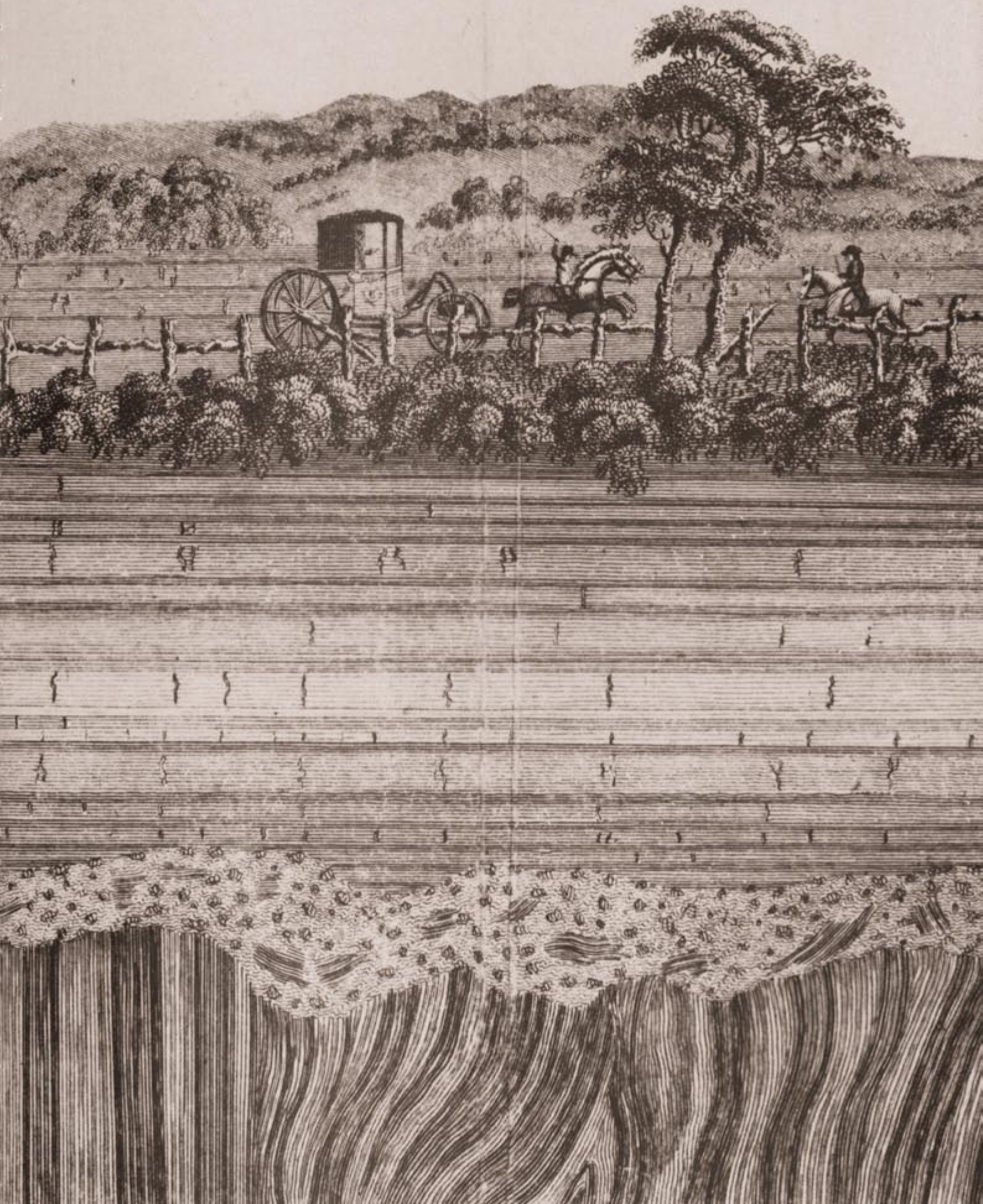
imagen de la máquina incorpora un aspecto importante de la dinámica terrestre: a pesar de los cambios que se observan a muy distintas escalas, la Tierra en su conjunto permanece prácticamente constante. En los últimos tiempos se ha puesto de manifiesto la utilidad de entender las partes principales del globo —núcleo, manto, corteza, océanos y atmósfera— como un complejo sistema interactivo en el que se producen flujos cíclicos de materiales de unos lugares a otros. El modelo mecanicista que considera la Tierra como un vasto sistema de reciclaje tiene su contrapartida en el modelo fisiológico del equilibrio dinámico conocido por homeostasia.

La confección de mapas geológicos es quizás uno de los ejemplos más claros de la jerarquía de escalas. Un mapa geológico es un producto que, en términos no geológicos, puede describirse como un gráfico de la posición de las formaciones rocosas de distintas edades en un sistema de coordenadas que representan la superficie terrestre. Al geólogo de campo corresponde el primer paso en la confección del mapa: determinar dos propiedades principales de las rocas en un punto determinado, a saber, la edad y la composición. En los afloramientos típicos no pueden observarse más que relaciones a pequeña escala, que

suelen cubrir distancias de orden métrico. El mapa definitivo de una región, que refleje formaciones apropiadas a su escala, se obtiene tras ensamblar este tipo de observaciones mediante interpolaciones y extrapolaciones, como en cualquier otro tipo de gráficos. Un mapa que cubra una superficie de unos 200 kilómetros cuadrados permite observar valles fluviales y los pliegues y fallas característicos de las rocas. La precisión de las observaciones en el nivel del afloramiento se sacrifica en aras de otros aspectos más generales. Un mapa que cubra una región de varios miles de kilómetros cuadrados no resalta más que aspectos todavía más generales, como mesetas, montañas, llanuras, sistemas fluviales completos, líneas directrices de un valle de fractura, o rift, o la distribución de los lagos glaciares. Cuando el mapa se realiza a escala continental o planetaria se evidencian las estructuras mayores de la superficie continental, sobre todo las grandes cordilleras. El éxito del proceso estriba en conocer qué detalles deben sacrificarse en los mapas a gran escala para destacar las grandes estructuras. Dicho en otras palabras, la esencia de este tipo de análisis geológico consiste en separar la “señal” del “ruido”.

Los geólogos han de abordar el problema de la reconciliación de las distintas escalas. Los geólogos estructu-

1. ESTAMPA DE ANTIGUOS LEVANTAMIENTOS, recogida en esta escena pastoril de un grabado tomado de *Theory of the Earth*, de James Hutton, publicada en el año 1795. Muestra el afloramiento en una margen del río Jed, en el sur de Escocia. Las capas verticales de la parte inferior de la margen se depositaron como sedimentos oceánicos. Luego el metamorfismo las convirtió en esquistos; se deformaron y levantaron, pasando a formar parte de una cordillera montañosa. La capa de materiales mezclados situada justo encima corresponde a derrubios de erosión de su misma edad. Las rocas metamórficas se sumergieron de nuevo y encima de ellas se depositaron bancos horizontales de areniscas sedimentarias. Por último, el conjunto entero volvió a elevarse por encima del nivel del mar y quedó cubierto por nuevos niveles de suelos. James Hutton citó este tipo de ejemplos, extraídos de sus largos viajes, como prueba de la antigüedad de la Tierra y de su actividad dinámica. A este tipo de formaciones se las conoce con el nombre de discordancias angulares en la terminología moderna



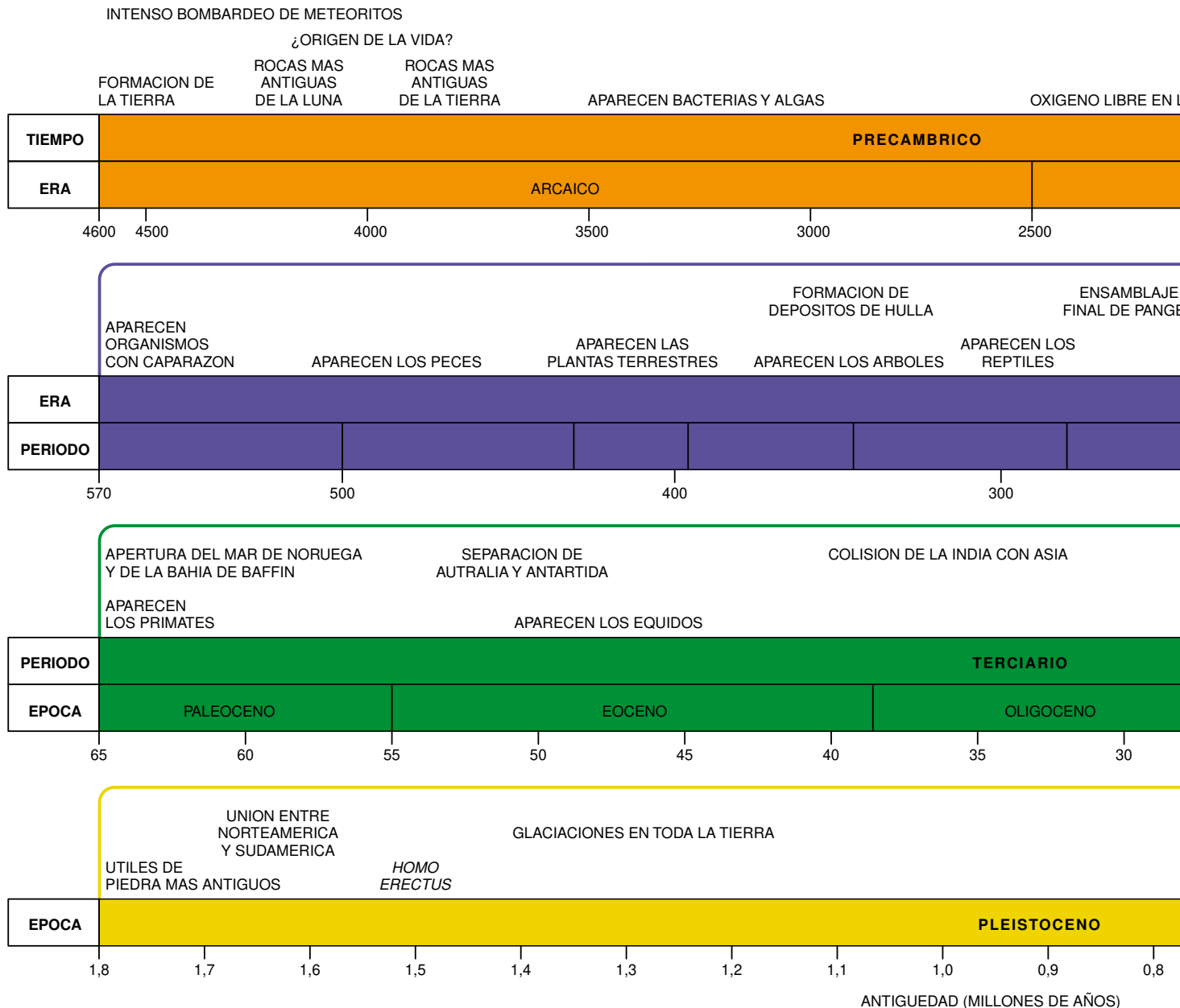
rales y los geofísicos tratan de relacionar las colisiones de las placas tectónicas, que levantaron cordilleras como los Alpes o el Himalaya, con los pliegues y fallas a pequeña escala que pueden verse en cualquier paisaje montañoso. Lo que importa es aprender a avanzar en dirección opuesta: de los plegamientos y fallas pequeños hay que deducir cómo fuese una antigua cordillera ya desgastada y cómo pudo formarse por remotos movimientos de placas.

También las escalas temporales exigen atenciones especiales. Un río

que fluya a varios centímetros por segundo se mueve aproximadamente a la misma velocidad que un bloque que se deslice por una falla durante un terremoto, pero la distribución de esos dos fenómenos en un intervalo largo de tiempo es completamente distinta. El río fluye aproximadamente a la misma velocidad durante meses o años, mientras que los movimientos de las fallas son episódicos, con intervalos de centenares de años en los que el movimiento es prácticamente nulo. La distinción entre cambios permanentes y episódicos es

asunto de capital importancia en los debates sobre la velocidad de la evolución biológica: la clave estriba en discernir si la escala de tiempo geológico facilitada por las rocas que contienen fósiles es suficientemente precisa para resolver el problema de las diferencias planteadas en los modelos sobre la evolución de las especies que propugnan las teorías “gradualista” y de “equilibrio puntualista”.

Generaciones enteras de geólogos se han fundado en un reloj biológico: la secuencia de fósiles que, a través de los cambios producidos por su evo-



2. ESCALA DEL TIEMPO GEOLOGICO, elaborada inicialmente por los naturalistas del siglo XIX, basándose sólo en muestras fósiles, y que ha sido recalibrada mediante las modernas técnicas de datación radiométrica. La línea superior de esta ilustración muestra la totalidad del tiempo geológico, desde el origen de la Tierra, hace unos 4600

millones de años, hasta hoy. En la segunda línea se amplía el lapso de tiempo, comparativamente breve, del Fanerozoico, en el cual abundan en los registros geológicos los restos de organismos protegidos con caparazón. Las líneas sucesivas amplían dos segmentos de tiempo más cortos. Las tres eras del Fanerozoico (Paleozoico, Mesozoico y

lución, señalan las divisiones principales de la historia geológica. Esta era la única alternativa en el siglo XIX, pero en el siglo XX se ha logrado calibrar este reloj biológico mediante otro medidor del tiempo: el reloj radiactivo, que se basa en los tiempos de desintegración de isótopos radiactivos de carbono, uranio, potasio, rubidio y neodimio. Resulta que la escala de los sucesos datados por uno y otro sistema de relojería puede ser muy distinta, porque muy distinta es la naturaleza de los hechos datados. Trabajar con ambos relojes viene a

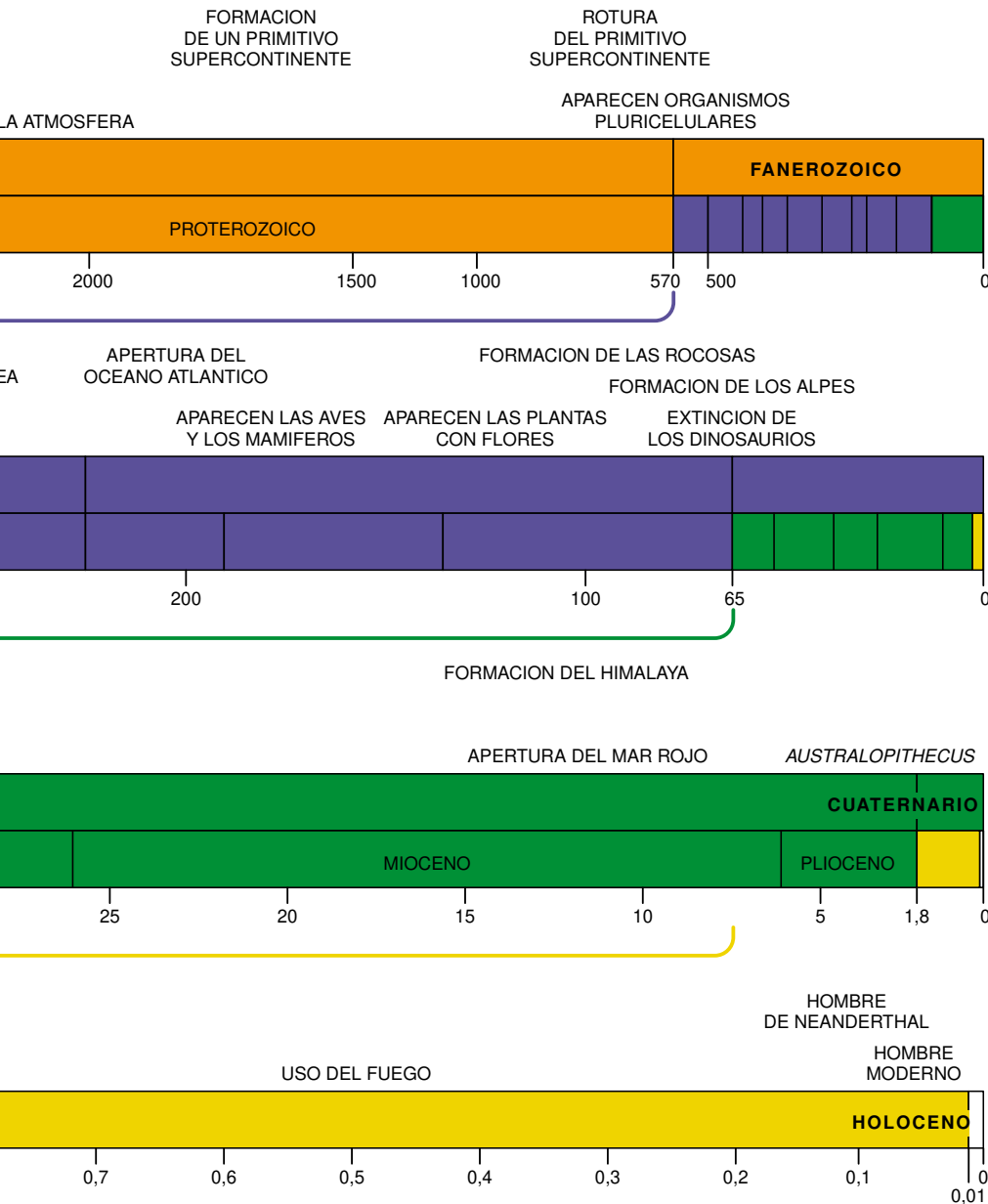
ser como que dos personas intentasen encontrarse a una hora determinada basándose la una en su propio pulso para contar los segundos y disponiendo la otra de un reloj que no tuviera más que la manecilla de las horas.

Los geólogos relacionan el movimiento aparente del Sol (al que llamamos tiempo diario) con el tiempo de procesos bastante rápidos: tiempo atmosférico, inundaciones, desprendimientos, erupciones volcánicas y terremotos. Para medir procesos extraordinariamente lentos, como la

evolución de la atmósfera, se fundan sólo en la desintegración radiactiva. Entre ambos tipos de proceso se encuentra la escala del tiempo geológico, donde se inscriben el movimiento de los continentes, la formación de las cordilleras, la inversión del campo magnético terrestre, la evolución de las especies fósiles y el desarrollo de épocas glaciales. El principal punto de referencia de esta escala de tiempo intermedia corresponde a las secuencias específicas de rocas que constituyen el registro más importante de la historia geológica.

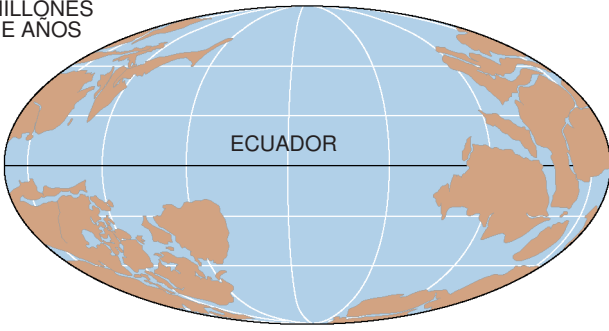
Al investigar la formación de meandros en un río recurriremos a los documentos históricos de antigüedad suficiente, información que completaremos con el estudio de los restos de terrazas prehistóricas. Pero si se trata de averiguar la evolución a largo plazo de un río, desde que comienza a encajarse en su lecho rocoso hasta que termina ensanchándose en una característica llanura de inundación, no existe más alternativa que consultar los registros geológicos. La elevación del nivel del mar a lo largo de los últimos 10.000 años, desde el retroceso de los glaciares, se manifiesta también en los registros geológicos, que al propio tiempo aportan también información sobre la velocidad de los cambios sufridos por los casquetes glaciares, sus relaciones con el océano y sobre una importante propiedad física del interior de la Tierra. Al retroceder los glaciares la corteza quedó considerablemente descargada en algunas zonas, sufriendo un levantamiento elástico, que se compensó por un flujo de materiales del manto hacia la parte levantada. El conocimiento de la velocidad a que se produjo tal fenómeno ha permitido determinar la viscosidad de los materiales.

La historia de la Tierra no sólo se estudia por el placer que reporta. Pensemos, por ejemplo, en las razones económicas: se busca petróleo, gas, depósitos minerales y otros productos útiles que pudieron formarse en un momento y lugar determinados. Pero es la simple curiosidad científica lo que ha movido a muchos geólogos a querer conocer qué sucedió y cuándo sucedió. Se investiga la última época glacial para conocer cómo será la próxima y para descubrir las plausibles condiciones de vida que rodearon a los primeros hombres. Existen, en fin, geólogos empeñados en la búsqueda de pruebas de que la historia de la Tierra no es una mera sucesión aleatoria de fenómenos, sino la representación a largo plazo de los ciclos de una máquina imponente.

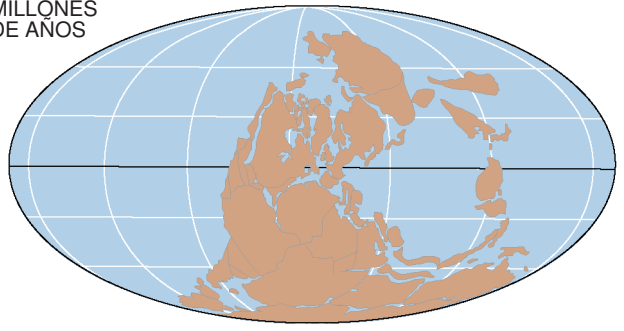


Cenozoico) se dividen a su vez en once períodos. El período Terciario se divide en cinco épocas (Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno); el período Cuaternario comprende las épocas Pleistoceno y Holoceno, la última de las cuales corresponde a la aparición del hombre moderno. La calibración del reloj geológico mediante dataciones radiactivas es una tarea en la que se sigue trabajando.

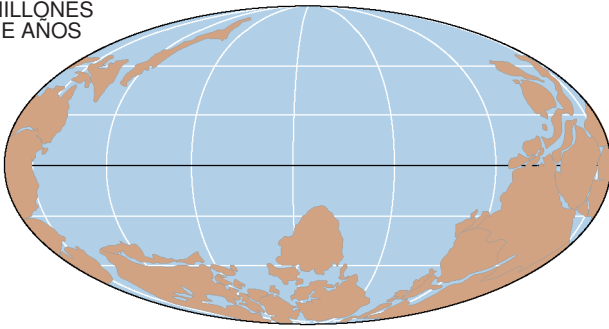
HACE 700
MILLONES
DE AÑOS



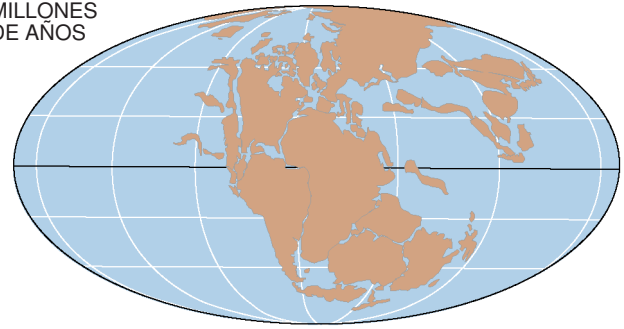
HACE 300
MILLONES
DE AÑOS



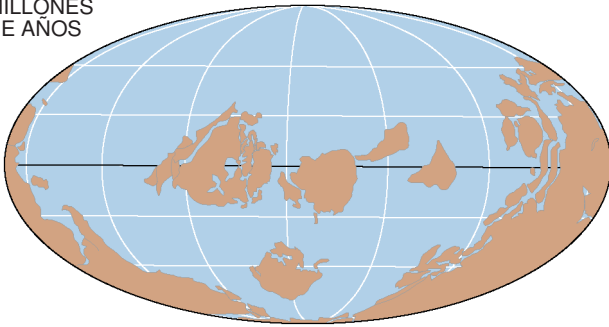
HACE 600
MILLONES
DE AÑOS



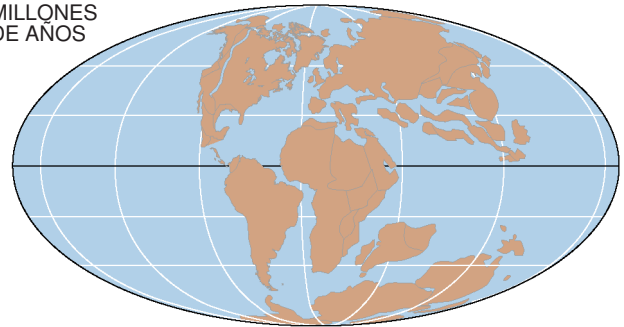
HACE 200
MILLONES
DE AÑOS



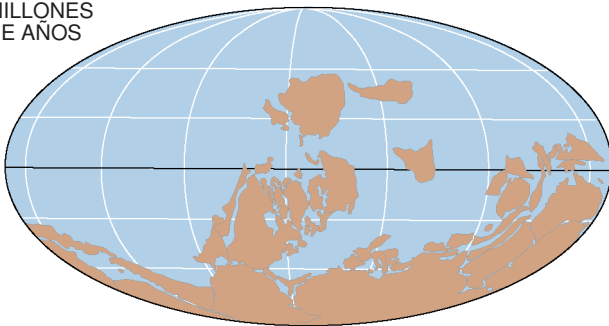
HACE 500
MILLONES
DE AÑOS



HACE 100
MILLONES
DE AÑOS



HACE 400
MILLONES
DE AÑOS



PRESENTE

