

4 ¿Cuándo? Métodos de Datación y Cronología

Todos los seres humanos experimentan el paso del tiempo. Un individuo tiene un tiempo vital de unos 70 años. Esa persona, a través de los recuerdos de sus padres y abuelos, puede conocer también, de forma indirecta, períodos de tiempo anteriores, remontándose a una o dos generaciones. El estudio de la historia da acceso —puede que menos directo pero a menudo no menos vívido— a cientos de años de tiempo escrito. Pero la arqueología, en concreto la arqueología prehistórica, es la única que revela el panorama casi inimaginable de miles e incluso unos pocos millones de años del pasado humano.

Sorprendentemente, para estudiar el pasado, no siempre es esencial conocer con exactitud cuántos años hace que tuvo lugar un acontecimiento o un período concreto. Como ya vimos en el Capítulo 1, el gran logro de Thomsen y Worsaae en el siglo XIX fue el de establecer una división tripartita de los útiles del Viejo Mundo, entre los de piedra, los de bronce y los de hierro, que la excavación estratigráfica confirmó como una secuencia cronológica: los artefactos de piedra son anteriores a los de bronce y los de hierro posteriores. Los arqueólogos podrían utilizar esta secuencia para estudiar, según dicen, los cambios tecnológicos en los utensilios entre una fase y la siguiente, incluso sin saber cuánto duró cada etapa o cuántos años hace que tuvieron lugar esos avances. Este concepto de que algo es más antiguo (o más reciente) en relación a otra cosa, constituye la base de la datación relativa. Los primeros pasos de la mayor parte de las investigaciones actuales dependen todavía, de modo crucial, de la *datación relativa*, de la ordenación de los artefactos, depósitos y acontecimientos en secuencias, en las que los más antiguos están antes que los más recientes.

Sin embargo, en los últimos tiempos, queremos saber la edad exacta o absoluta en años de las distintas partes de la secuencia —necesitamos métodos de *datación absoluta* (llamada, en ocasiones, datación cronométrica)—. Las fechas absolutas nos ayudan a averiguar la rapidez con que se produjeron algunos cambios, como la aparición de la agricultura,

ra, y si surgieron simultáneamente o en momentos diferentes en las distintas regiones del planeta. Antes de la Segunda Guerra Mundial, para gran parte de la arqueología, prácticamente las únicas fechas absolutas fiables eran las históricas —Tutankamon reinó en el siglo XIV AC, César invadió Gran Bretaña en el año 55 AC—. Sólo en los últimos 40 años se ha podido disponer de métodos distintos de datación absoluta, que, de paso, transformaron la arqueología.

La Medición del Tiempo

¿Cómo detectamos el paso del tiempo? En el curso de nuestras propias vidas, percibimos su paso mediante la alternancia de oscuridad y luz de la noche y el día y, luego, por el ciclo anual de las estaciones. De hecho, hasta el desarrollo de la astronomía moderna y la física nuclear, éstos fueron los únicos medios de observar el tiempo a lo largo de la vida del hombre. Como veremos, algunos métodos de datación todavía se basan en el ciclo anual de las estaciones. Sin embargo, los sistemas arqueológicos de datación se han ido apoyando cada vez más en otros procesos físicos, la mayoría de los cuales no son perceptibles por el ojo humano. El más significativo de ellos es el empleo de relojes radiactivos.

Cualquiera que sea el método de datación, necesitamos establecer una medida del tiempo para reconstruir una cronología. La mayor parte de los sistemas humanos de medición se calculan en años. De este modo debemos convertir en años, para nuestros propósitos, incluso cómputos de edad, como los relojes radiactivos, que son independientes de los ciclos anuales. Cuando hay errores de datación, suele ser esta conversión en años la que está equivocada, más que el método en sí.

Nuestra escala temporal en años debe asignar fechas desde o en un momento concreto del tiempo. En el mundo cristiano se usa como tal, por convención, el nacimiento de Cristo, supuestamente acaecido en el año 1 DC (no existe el año 0), contándose los años hacia atrás antes de Cristo

(AC) y hacia delante después de Cristo (DC o, en latín, *Anno Domini*, traducción de "En el año del Señor"). En el mundo griego, el momento teórico de partida era la celebración de los primeros Juegos Olímpicos (fechados en el año 776 AC del calendario cristiano), mientras que para los musulmanes el momento básico fijado es la fecha de la salida del Profeta de La Meca, la Hégira (en el año 622 DC del calendario cristiano). El inicio del calendario maya equivale al año 3114 AC del calendario cristiano.

Los científicos que obtienen fechas por métodos radiactivos, y que quieren un sistema internacional independiente de cualquiera de los calendarios antes mencionados, han optado por contar los años desde el presente (BP). Pero, dado que los científicos también necesitan un punto de partida estable, cuando usan BP quieren decir "antes de 1950" (el año aproximado en que Libby descubrió el primer método radiactivo, el radiocarbono). Esto puede ser conveniente para los científicos, pero también puede resultar confuso para los demás (una fecha del 400 BP no es hace 400 años, sino el 1550 DC, hace unos 440 años en la actualidad). Por tanto, no hay duda de que hay que transformar cualquier fecha BP de los últimos milenios al sistema AC/DC. Sin embargo, para el período Paleolítico (que se remonta desde hace dos o tres millones de años hasta el 10000 AC), los arqueólogos utilizan indistintamente los

términos BP y "hace ... años", ya que una diferencia de 40 años o más resulta irrelevante. Para esta época remota, los yacimientos o eventos se fechan, en el mejor de los casos, sólo a unos pocos miles de años de su fecha "real".

La alusión al Paleolítico hace evidente que debemos adaptar nuestra concepción e interpretación globales del tiempo y su medida al período que estudiemos. Si hasta las fechas más exactas para el Paleolítico sólo nos dan perspectivas momentáneas de esa época con intervalos de varios milenios, está claro que los arqueólogos nunca pueden aspirar a reconstruir los acontecimientos del paleolítico del mismo modo que en la historia convencional, poblada de individuos, como sucede por ejemplo en el antiguo Egipto, durante la época de los faraones. Por otra parte, los paleolíticos pueden conseguir nuevas perspectivas sobre algunos de los cambios generales a largo plazo que determinaron el modo en que evolucionó el hombre moderno —perspectivas que son rechazadas por los arqueólogos que trabajan con períodos de tiempo más breves, en los que, en cualquier caso, puede haber muchos más "detalles" para discernir con facilidad el patrón general.

Por tanto, el modo en que los arqueólogos llevan a cabo su investigación depende en gran medida de la precisión de las fechas —la agudeza del enfoque— que se pueda conseguir para el período de tiempo en cuestión.

DATACIÓN RELATIVA

El primer paso, y en cierto sentido el más importante, en buena parte de la investigación arqueológica implica ordenar las cosas en secuencias. Los objetos a disponer secuencialmente pueden ser los depósitos arqueológicos de una excavación estratigráfica. O pueden ser artefactos, como en una

secuencia tipológica. Los cambios climáticos de la tierra también dan lugar a secuencias medioambientales locales, regionales y globales —la más destacada es la secuencia de las fluctuaciones globales durante la Era Glaciar—. Todas ellas pueden ser utilizadas para la datación relativa.

ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía, como vimos en el Capítulo 3, es el estudio de la colocación o deposición de estratos o niveles (también llamados depósitos) superpuestos. Desde el punto de vista de la datación relativa, el principio fundamental es que el nivel inferior se depositó primero y, por tanto, antes que el superior. De esta forma, una sucesión de estratos proporcionaría una secuencia cronológica relativa, desde los más antiguos (abajo) a los más modernos (arriba).

Una excavación estratigráfica de un yacimiento arqueológico está proyectada para obtener una secuencia de este tipo. Parte de este trabajo consiste en detectar si ha habido alguna alteración natural o humana de los niveles desde su primera deposición. En el Capítulo 2 hemos discutido algunos de los procesos postdeposicionales culturales o naturales

—como los basureros excavados por ocupantes posteriores en estratos más antiguos, las madrigueras realizadas por animales o las inundaciones que arrastraron los niveles y los depositaron en otra parte, en un contexto secundario—. Armado de una información estratigráfica cuidadosamente recogida, el arqueólogo puede aspirar a construir una secuencia relativa fiable de la deposición de los distintos estratos.

Pero, por supuesto, lo que queremos fechar en realidad no son tanto los propios depósitos o niveles como los materiales creados por el hombre que están en ellos —artefactos, estructuras, restos orgánicos— y que a la larga (cuando se estudian sistemáticamente) nos revelarán las actividades humanas del pasado en el yacimiento. Aquí reside la importancia de la idea de *asociación*, que ya tocamos en el Capítu-

edad relativa es el análisis químico, mediante el estudio de sus contenidos de nitrógeno, flúor y uranio.

En el depósito, el contenido de proteínas (sobre todo de colágeno) del hueso se reduce gradualmente debido a los procesos de descomposición química. El indicador más útil de la cantidad de proteínas existente es el índice de nitrógeno que, para los huesos modernos, ronda el 4%. El ritmo al que desciende el nivel de nitrógeno depende de la temperatura y del contenido bacteriológico, químico y de humedad del medio en el que está enterrado el hueso.

Al mismo tiempo, el agua filtrada del suelo tiene efectos significativos en la composición del hueso. Éste absorbe gradualmente dos elementos disueltos en el agua del terreno —el flúor y el uranio—. Así, el índice de flúor y uranio de los huesos sepultados se incrementa paulatinamente y puede ser medido en el laboratorio. Al igual que la tasa de descenso del nitrógeno, los porcentajes de incremento del flúor y el uranio dependen, en gran medida, de factores locales. De esta forma, todos estos índices de cambio son demasiado variables para constituir la base de un método de datación absoluta, y tampoco se pueden comparar las edades relativas obtenidas de un yacimiento con las de otro. Sin embargo, la datación química puede distinguir huesos de edades diferentes, hallados en una aparente asociación estratigráfica, dentro de un mismo yacimiento.

La aplicación más famosa del método se produjo en el caso de la falsificación de Piltdown. A principios de este siglo, se encontraron fragmentos de un cráneo humano, una mandíbula simiesca y algunos dientes en una gravera del Paleolítico Inferior de Sussex, en el sur de Inglaterra. Los hallazgos llevaron a afirmar que se había descubierto el “eslabón perdido” entre el simio y el hombre. El hombre de Piltdown (*Eoanthropus dawsoni*) ocupó un lugar destacado en los libros de texto hasta 1953, cuando se descubrió que era un engaño total. La dataciones de flúor, uranio y



El Hombre de Piltdown: una reconstrucción hecha poco después de que se descubriese que los restos eran un fraude. La datación por flúor, uranio y nitrógeno del cráneo, la mandíbula y los dientes demostró que eran de edades relativas diferentes y no estaban asociados.

nitrógeno del “British Museum” (de Historia Natural) demostraron que el cráneo era humano pero de fecha relativamente reciente (más tarde se estimó su antigüedad en unos 620 años); la mandíbula procedía de un orangután y era una falsificación moderna. Tanto el cráneo como la mandíbula habían sido tratados con un pigmento (dicromato de potasio) para hacer que pareciesen antiguos y asociados.

SECUENCIAS TIPOLÓGICAS

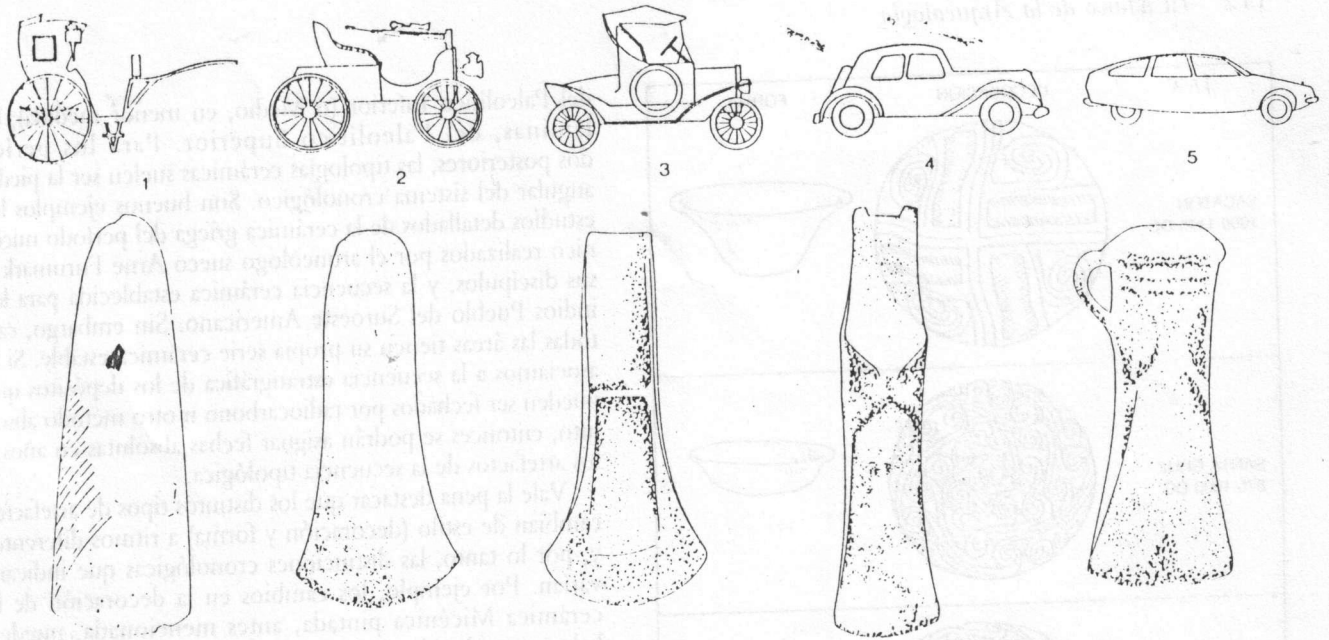
Cuando observamos los artefactos, edificios y cualesquiera de las creaciones del hombre que nos rodean, la mayoría de nosotros podemos ordenar algunos de ellos en una secuencia cronológica aproximada. Un tipo de aeronave aparenta ser más antiguo que otro, un conjunto de prendas parece estar más “pasado de moda” que el siguiente. ¿Cómo explotan los arqueólogos esta capacidad de datación relativa?

Como vimos en el Capítulo 3, la forma de un artefacto, como por ejemplo una vasija, puede definirse por sus atributos específicos de material, forma y decoración. Varias vasijas con los mismos atributos constituyen un tipo y la tipología agrupa a los artefactos en esos tipos. Hay dos con-

ceptos nuevos que sirven de base a la idea de elaborar una datación relativa mediante la tipología.

El primero es que los productos de un período y lugar determinados tienen un estilo reconocible: debido a su forma y decoración distintivas son, en cierto sentido, característicos de la sociedad que los creó. Este aspecto se abordará con más detalle en los Capítulos 5 y 10. El arqueólogo o el antropólogo a menudo pueden reconocer y clasificar los artefactos según su estilo y, basándose en éste, les asignan un lugar concreto dentro de una secuencia tipológica.

El segundo concepto es que el cambio estilístico (de forma y decoración) de los artefactos suele ser bastante gradual y evolutivo. Por supuesto, esta idea procede de la teo-



La clasificación de los tipos artefactuales en una secuencia se basa en dos conceptos simples: primero, que los productos de un periodo y lugar dados tienen un estilo o diseño característico; y segundo, que los cambios estilísticos son graduales o evolutivos. Las transformaciones graduales del diseño son evidentes en la historia del automóvil (arriba) y la del hacha prehistórica europea [debajo: (1) piedra, (2-5) bronce] Sin embargo, el ritmo de cambio (un siglo para el automóvil, varios milenios para el hacha) tiene que deducirse mediante métodos de datación absoluta.




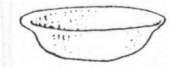
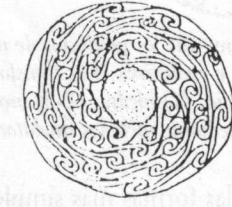



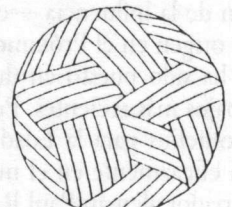

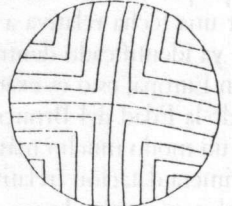

ría darwinista de la evolución de las especies, adoptada por los arqueólogos del siglo XIX, quienes se dieron cuenta de que implicaba una norma muy práctica: "cada oveja con su pareja". En otras palabras, los artefactos concretos (p. ej., los puñales de bronce) fabricados aproximadamente en la misma época suelen ser similares, mientras que los creados con una diferencia de varios siglos serán distintos debido a centenares de años de evolución. El resultado es, por tanto, que cuando nos enfrentemos a una serie de puñales de fecha desconocida, será lógico que los ordenemos primero en una secuencia, de forma que los más parecidos se sitúen unos junto a otros. En consecuencia, es probable que ésta sea la secuencia cronológica correcta, ya que refleja en lo posible el principio de "cada oveja con su pareja".

Estos argumentos fueron perfeccionados por muchos arqueólogos, que descubrieron que se podían establecer cronologías relativas para distintas clases de artefactos procedentes de regiones diferentes. El gran maestro del "método tipológico" fue el estudioso sueco del siglo XIX Oscar Montelius, quien formuló cronologías relativas locales para muchas de las zonas de la Europa de la Edad del Bronce, haciendo uso de series completas de formas de útiles y armas de bronce. Estas secuencias regionales, en la mayoría de los casos, pudieron ser confirmadas, en sus líneas generales, mediante excavaciones estratigráficas en las que se

redescubrió que las formas más simples eran en efecto las más antiguas.

Montelius pasó a emplear también los mismos argumentos en relación al espacio, para demostrar cómo influyeron los tipos artefactuales de una región sobre los de áreas adyacentes. De esta forma, partiendo de ciertos supuestos sobre la dirección de la influencia, estableció una cronología relativa de las formas de los instrumentos y armas para el conjunto de Europa en la Edad del Bronce. (La suposición sobre la dirección de la influencia —el principio de que el progreso tuvo su origen en el Próximo Oriente y se extendió desde allí— ha sido puesto en duda y, en parte, desmentido por trabajos más recientes. Pero en otros aspectos, el sistema de Montelius para la Edad del Bronce europea todavía se utiliza eficazmente en el modo en que lo reformuló el prehistoriador alemán Paul Reinecke entre otros.)

Para muchos propósitos, sigue siendo cierto que el mejor modo de asignar una fecha relativa a un artefacto es compararlo con otro ya identificado dentro de un sistema tipológico estable. En Europa, esto es exacto por lo que respecta a los objetos de la Edad del Bronce, pero, a nivel mundial, se aplica de un modo mucho más general. En cuanto al Paleolítico, la primera datación (relativa) aproximada de un estrato procederá a menudo de un examen de los útiles líticos encontrados en su interior: los bifaces implican que es

| FASE | DECORACIÓN | FORMA |
|---------------------------|---|---|
| SACATON 1000-1175 DC |  |  |
| SANTA CRUZ 875-1000 DC |  |  |
| GILA BUTTE 800-875 DC |  |  |
| SNAKETOWN 750-800 DC |  |  |
| SWEETWATER 700-750 DC |  |  |
| ESTRELLA 650-700 DC |  |  |

Tipología cerámica, ejemplificada por esta secuencia de 500 años de cambio de estilos en vasijas Hohokam, del Suroeste Americano.

del Paleolítico Inferior (o Medio, en menor medida); las láminas, del Paleolítico Superior. Para los períodos posteriores, las tipologías cerámicas suelen ser la piedra angular del sistema cronológico. Son buenos ejemplos los estudios detallados de la cerámica griega del período micénico realizados por el arqueólogo sueco Arne Furumark y sus discípulos, y la secuencia cerámica establecida para los indios Pueblo del Suroeste Americano. Sin embargo, casi todas las áreas tienen su propia serie cerámica estable. Si la asociamos a la secuencia estratigráfica de los depósitos que pueden ser fechados por radiocarbono u otro método absoluto, entonces se podrán asignar fechas absolutas en años a los artefactos de la secuencia tipológica.

Vale la pena destacar que los distintos tipos de artefactos cambian de estilo (decoración y forma) a ritmos diferentes y, por lo tanto, las distinciones cronológicas que indican, varían. Por ejemplo, los cambios en la decoración de la cerámica Micénica pintada, antes mencionada, pueden haberse producido a intervalos de unos 20 años, mientras que otros tipos de cerámica decorada duraron, muchas veces, más de un siglo. La cerámica lisa puede conservar casi la misma forma durante varios siglos. En general, la decoración superficial de la cerámica cambia más rápidamente que la forma y constituye, por tanto, el atributo cronológicamente más sensible para utilizar en una secuencia tipológica. La forma de una vasija o recipiente puede, en cualquier caso, sufrir con más fuerza las influencias de una necesidad práctica, como el almacenaje de agua, que no tiene por qué alterarse en cientos de años.

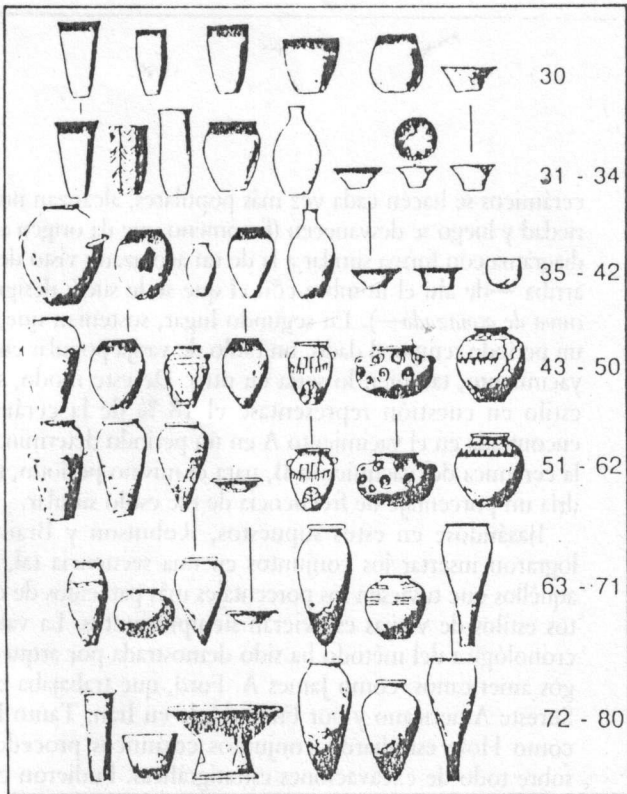
Otros artefactos, como las armas o utensilios de metal, pueden variar en su estilo con gran rapidez y, por tanto, resultar útiles como indicadores cronológicos. Por el contrario, la forma de los instrumentos líticos, como los bifaces, suele cambiar con gran lentitud y, en consecuencia, raras veces es un indicador sensible del paso del tiempo.

Seriación

Las implicaciones del principio de "cada oveja con su pareja" se han desarrollado más para hacer frente a asociaciones de objetos (industrias) que a las formas de los objetos concretos consideradas de forma aislada. Esta técnica de seriación permite ordenar los conjuntos artefactuales en una sucesión, u ordenación seriada, que luego se aplica para determinar su ordenación temporal: por tanto, es un ejercicio de cronología relativa.

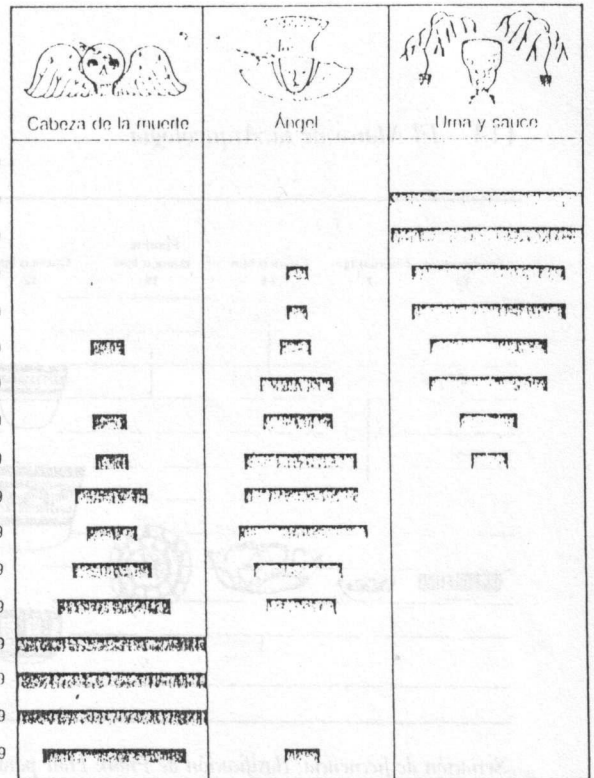
Se han utilizado dos versiones de esta técnica: la *seriación contextual* y la *seriación de frecuencia*.

Seriación Contextual. Aquí, lo que determina la seriación es la duración de los distintos estilos artefactuales (forma y decoración). El pionero del método fue Flinders



Seriación contextual: clasificación secuencial de Flinders Petrie para la cerámica predinástica egipcia del yacimiento de Diospolis Parva. De arriba a abajo, se identifican siete etapas sucesivas, vinculada cada una de ellas a la anterior y posterior por al menos una forma similar. A la izquierda de las cinco filas inferiores se sitúan las ollas "de asa ondulada", clasificadas por Petrie en una secuencia de "degradación" —la idea clave a partir de la que ordenó toda la serie—. Las posteriores investigaciones en Egipto han apoyado en gran medida la secuencia cronológica relativa de Petrie.

Petrie. Trabajando en Diospolis Parva, en el Alto Egipto, a finales del siglo XIX, excavó varias tumbas predinásticas que no podían ser relacionadas estratigráficamente entre sí, ni incluirse dentro de las listas de reyes históricos del período dinástico posterior. Petrie quería ordenar cronológicamente las tumbas, de modo que comenzó a inventariar sus contenidos. Asignó a cada tumba una ficha de papel independiente con la lista de sus tipos artefactuales. Entonces, Petrie colocó las fichas paralelamente entre sí, una sobre otra, formando una columna y siguió reordenando sus posiciones arriba o abajo en la columna. Pensó que el orden más adecuado sería aquél en que el mayor número de tipos distintos tuviesen la duración más breve en las fichas. De esta forma llegó a una secuencia de conjuntos —y, por tanto, de tumbas— dispuestos en lo que consideró un orden cronológico relativo.



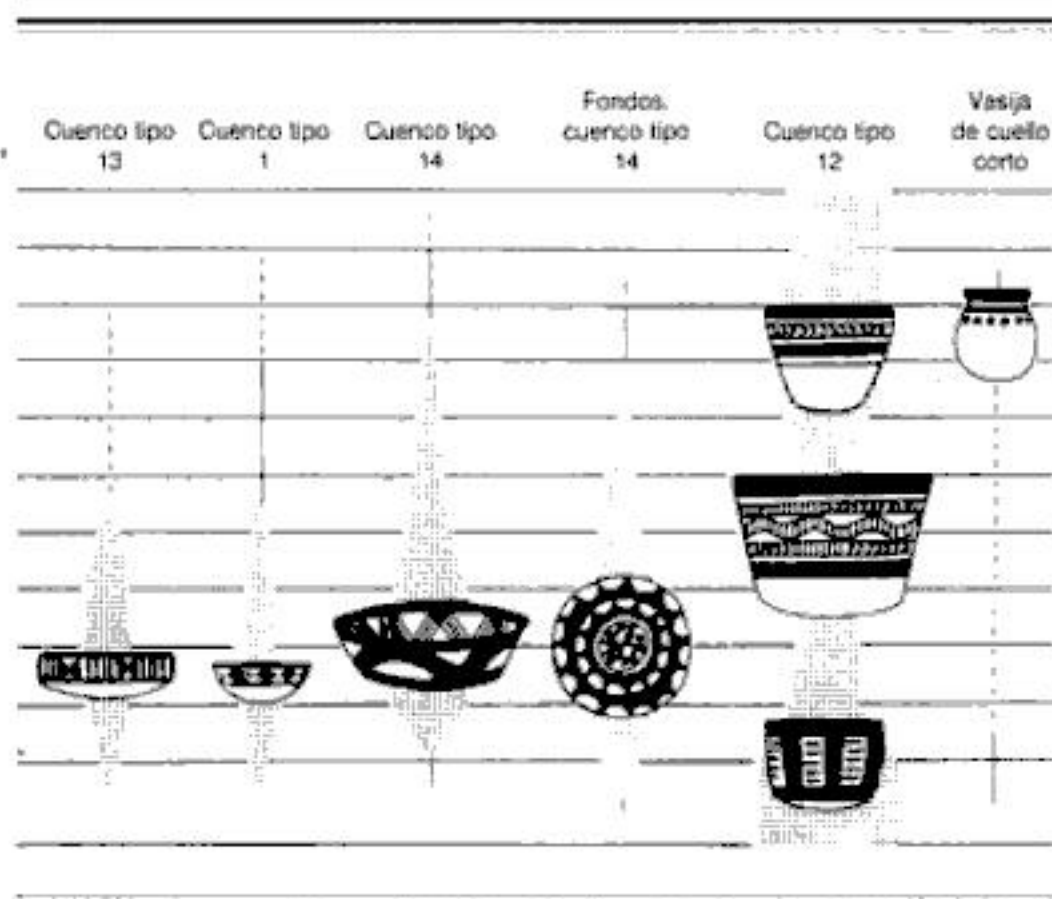
■ - 10 % de las lápidas en un período de 10 años

Seriación de frecuencia: el cambio en la popularidad (o frecuencia) de tres diseños de lápidas sepulcrales en los cementerios del centro de Connecticut, desde el 1700 al 1860. El auge y declive de popularidad ha dado lugar a la característica curva de acorazado que indica el éxito cambiante de cada estilo. Al igual que en otras zonas de Nueva Inglaterra, el modelo de Cabeza de la muerte (en auge en 1710-1739) fue sustituido gradualmente por el Ángel (en apogeo de 1760 a 1789) que, a su vez, fue desplazado por la urna y el sauce (1840-1859).

Los trabajos posteriores en Egipto han reivindicado a Petrie y han demostrado que, por lo general, su ordenación en serie de las tumbas refleja en efecto su secuencia cronológica real.

Seriación de Frecuencia. Los arqueólogos americanos que trabajaron en yacimientos mayas del Yucatán en los años cuarenta, se enfrentaron a un problema similar —la carencia de cualquier información cronológica externa—. Sus materiales se componían de conjuntos cerámicos que habían sido recuperados fuera de un contexto estratigráfico. Era necesario situarlos en un orden sucesivo para construir una cronología relativa de los edificios y monumentos asociados a ellos.

La solución fue la seriación de frecuencias, que se apoya principalmente en la medición de los cambios en la abundancia, o frecuencia, proporcional de un estilo cerámico.



Seriación de frecuencia: clasificación de Frank Hole para los tipos de vasijas de cerámica de Susa "Black-on-Buff" de los yacimientos de la llanura de Deh Luran, Irán. Las curvas de acorazado vuelven a ser claras, señalando los auges y descensos de popularidad. La excavación estratigráfica confirmó la validez de esta secuencia.

Los dos supuestos que subyacen al método fueron expuestos en un artículo clásico de W.S. Robinson y en otro de G.W. Brainerd, ambos publicados en *American Antiquity* en 1951. En primer lugar, daban por sentado que los estilos

cerámicos se hacen cada vez más populares, alcanzan notoriedad y luego se desvanecen (fenómeno que da origen a un diagrama con forma similar a la de un acorazado visto desde arriba —de ahí el nombre con el que se le suele designar, *curva de acorazado*). En segundo lugar, sostenían que, en un período temporal dado, un estilo de vasija popular en un yacimiento, también lo sería en otro. De este modo, si el estilo en cuestión representase el 18 % de la cerámica encontrada en el yacimiento A en un período determinado, la cerámica del yacimiento B, para el mismo período, tendría un porcentaje de frecuencia de ese estilo similar.

Basándose en estos supuestos, Robinson y Brainerd lograron insertar los conjuntos en una secuencia tal, que aquéllos que tuviesen los porcentajes más parecidos de ciertos estilos de vasijas estuvieran siempre juntos. La validez cronológica del método ha sido demostrada por arqueólogos americanos, como James A. Ford, que trabajaba en el Sureste Americano y por Frank Hole en Irán. Tanto Ford como Hole estudiaron conjuntos cerámicos procedentes sobre todo de excavaciones estratigráficas. Pudieron comparar las secuencias obtenidas mediante la seriación de frecuencia con las series estratigráficas reales de las excavaciones. No había contradicciones serias.

Sin embargo, hay que tener presente que la seriación no nos dice por sí sola qué extremo de una secuencia dada es el inicial y cuál el final —la cronología real se ha de determinar por otros medios, como sus conexiones con las secuencias estratigráficas ya mencionadas.

DATACIÓN LINGÜÍSTICA

Como complemento conviene mencionar un enfoque interesante de las cuestiones cronológicas aplicado, en este caso, no a los artefactos, sino al cambio en el *lenguaje*, estudiado mediante comparaciones del vocabulario de lenguas afines. Las primeras afirmaciones proponían que podría constituir algún tipo de método de datación absoluta; han sido rechazadas casi por completo (y con razón). Sin embargo, el método sigue siendo de auténtico interés desde el punto de vista de la cronología relativa.

El principio básico es simple. Si tomamos dos grupos de personas que hablen la misma lengua y los separamos sin que vuelva a haber contacto entre ellos, ambos grupos seguirán hablando, sin duda, el mismo idioma. Pero, a lo largo de los años se producirán cambios en cada población; se inventarán e introducirán palabras nuevas, mientras que otras caerán en desuso. De este modo, tras unos pocos siglos, los dos grupos independientes ya no seguirán hablando exactamente la misma lengua; después de unos pocos miles de años, el idioma de un grupo será casi ininteligible para el otro.

El campo de la *lexicostatística* se propone estudiar tales

cambios de vocabulario. Un método habitual consiste en elegir una lista de 100 o 200 términos del vocabulario corriente y ver cuántos de ellos comparten una raíz común en las dos lenguas a comparar. Las coincidencias entre esos 100 o 200 vocablos dan una idea de hasta qué punto se han separado ambos idiomas desde la época en que eran uno solo.

La *glotocronología*, una disciplina bastante más sospechosa, pretendería ir más allá y usar una fórmula para expresar, a partir de esta medida de similaridad, cuántos años hace que se han separado las dos lenguas. El investigador americano Morris Swadesh, principal representante del método, llegó a la conclusión de que dos lenguas relacionadas conservarían un porcentaje del vocabulario común original del 8 % tras un período de separación de 1.000 años. Sin embargo, en realidad, no existe una base para establecer de este modo una razón de cambio constante: en el cambio lingüístico influyen muchos factores (entre ellos la existencia de escritura). Y el método es complicado debido a otras muchas causas, como la existencia de préstamos (tomados de otra parte y que no pertenecen a la herencia común) en las dos

lenguas en estudio. Pero el concepto esencial de que dos lenguas con un balance de vocablos comunes muy elevado han estado relacionadas hasta fecha más reciente que aqué-

llas con un balance bajo es, en sí mismo, lógico y no puede ser excluido de un debate sobre los métodos de datación relativa.


CLIMA Y CRONOLOGÍA

Hasta ahora hemos hablado de las secuencias que se pueden establecer estratigráficamente para yacimientos concretos o tipológicamente para artefactos. Además, existe una categoría de secuencias muy importante, basada en los cambios climáticos de la tierra, y que ha demostrado su utilidad en la datación relativa a escala local, regional e incluso global. También se pueden fechar algunas de estas secuencias medioambientales con varios métodos absolutos. (El impacto de las fluctuaciones ambientales sobre la vida humana se discutirá con más detalle en el Capítulo 6.)

Cronología del Pleistoceno

La idea de la existencia de una gran Era Glaciar (el Pleistoceno), que se produjo en el pasado lejano, nos ha acompa-

ñado desde el siglo XIX. A medida que las temperaturas descendían, la capas de hielo —o glaciares— se extendieron, cubriendo grandes áreas de la superficie terrestre y haciendo descender el nivel del mar en todo el planeta (el agua perdida quedó literalmente almacenada en forma de hielo). Los primeros geólogos y paleoclimatólogos que estudiaron los depósitos geológicos se dieron cuenta enseguida de que la Era Glaciar no era una etapa larga e ininterrumpida de clima frío. En vez de ello, observaron lo que se conoce como las cuatro *glaciaciones* principales o períodos de avance del hielo (denominadas, de la más antigua a la más reciente, Günz, Mindel, Riss y Würm en la Europa continental; en América se escogieron nombres diferentes —Wisconsin, por ejemplo, es el equivalente del Würm—). Interrumpiendo estos períodos fríos hubo intervalos cono-

| AÑOS | CLIMA frío / cálido | ERAS GEOLOGICAS | PERÍODOS GEOLOGICOS | GLACIACIONES (EUROPA) | GLACIACIONES (AMERICA DEL N.) | PERÍODOS ARQUEOLÓGICOS |
|-----------|---|--------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 10.000 |  | CUATERNARIO | HOLOCENO | | | |
| 100.000 | | | PLEISTOCENO SUPERIOR | Würm (Weichsel) | Wisconsin | PALEOLÍTICO SUPERIOR |
| | | | PLEISTOCENO MEDIO | Riss (Saale) | Illinois | PALEOLÍTICO MEDIO |
| | | | | Mindel (Elster) | Kansas | PALEOLÍTICO INFERIOR |
| 700.000 | | | PLEISTOCENO INFERIOR | Günz (Menapiense) | Nebraska | |
| 1.600.000 | | TERCIARIO | | | | |

Cuadro resumen de los principales cambios climáticos, la terminología glacial y los períodos arqueológicos del Pleistoceno.

cidos como *interglaciares*. A las fluctuaciones más pequeñas dentro de esas fases principales se las llamó *estadales* e *interestadales*. Hasta la aparición, tras la Segunda Guerra Mundial, de los métodos de datación absoluta, como los basados en relojes radiactivos, los arqueólogos dependieron en gran medida, para la datación del largo período Paleolítico, de tentativas de correlacionar los yacimientos arqueológicos y su secuencia glaciaria. Lejos de los mantos de hielo, en regiones como África, se hicieron esfuerzos enérgicos para vincular los yacimientos a las fluctuaciones de las precipitaciones (*pluviales* e *interpluviales*): la esperanza residía en que esas fases encajaran de algún modo con la secuencia glaciaria.

En las últimas décadas, sin embargo, los científicos han llegado a reconocer que las fluctuaciones climáticas de la Era Glaciaria fueron mucho más complejas de lo que se creyó en un principio. Desde el comienzo del Pleistoceno, hace más de 1,6 millones de años, hasta hace 700.000 años (el final del llamado Pleistoceno Inferior) se produjeron quizás diez períodos fríos separados por intermedios más cálidos. El Pleistoceno Medio y Superior puede haberse caracterizado por otras ocho o nueve etapas distintas de clima cálido, desde el 700.000 al 10.000 BP. (El período de clima cálido conocido como Holoceno abarca los últimos 10.000 años.) Los arqueólogos ya no confían en los complicados avances glaciares y los rechazan como base para la datación del Paleolítico. Sin embargo, las fluctuaciones climáticas del Pleistoceno y el Holoceno, registradas en las columnas de sedimentos marinos, las columnas de hielo y los sedimentos que contienen polen, han demostrado tener un valor considerable por lo que respecta a la datación.

Columnas de Sedimentos Marinos y Columnas de Hielo

Como se señala en el Capítulo 6, las columnas de sedimentos marinos, extraídas del lecho oceánico, proporcionan en la actualidad el registro más coherente de los cambios climáticos a escala mundial. Estas columnas contienen conchas de microorganismos marinos conocidos como foraminíferos, depositadas en el fondo oceánico debido al avance lento y progresivo de la sedimentación. Las variaciones en la proporción de dos isótopos de oxígeno en el carbonato cálcico de esas conchas constituyen un indicador sensible de la temperatura del mar en la época en que vivían esos organismos. Hoy en día tenemos una secuencia exacta de las temperaturas, que se remonta a 2,3 millones de años y que refleja el cambio climático a escala global. Así, los episodios fríos de las columnas de sedimentos marinos se vinculan a los períodos glaciares de avance del hielo y los cálidos a las fases interglaciares o interestadales de retirada del mismo. El

registro de los isótopos de oxígeno en las columnas de sedimentos marinos proporciona, de este modo, una cronología relativa para el Pleistoceno.

El valor de esta cronología para la reconstrucción de un registro del cambio ambiental en el pasado es incalculable, como veremos en el Capítulo 6. También se pueden aplicar el radiocarbono y la datación por las series del uranio (ver más adelante) a las conchas de foraminíferos para proporcionar fechas absolutas de la secuencia. Además, puede utilizarse el fenómeno de las inversiones geomagnéticas (las inversiones del campo magnético terrestre), discutidas en un apartado posterior, para relacionar la secuencia con los yacimientos Paleolíticos del "Rift Valley" en el África Oriental. Estas inversiones se registran tanto en las columnas como en los estratos rocosos de los yacimientos arqueológicos (ver cuadro posterior, La Datación de Nuestros Antepasados Africanos).

Columnas de Hielo. Al igual que las columnas de sedimentos marinos, las muestras extraídas del hielo polar Ártico y Antártico han sido utilizadas para generar secuencias impresionantes que revelan las oscilaciones climáticas. Una vez más, resultan más útiles para reconstruir el entorno de la antigüedad (Capítulo 6), pero también son aplicables a la datación.

Los niveles de hielo compactado forman depósitos anuales para los últimos 2.000–3.000 años, que pueden ser cuantificados —proporcionando así una cronología absoluta para esta fase de la secuencia—. Como veremos en el cuadro La Fecha de la Erupción de Thera (ver más adelante), ha resultado ser útil como un posible método para comprobar la fecha de esa explosión volcánica, que algunos investigadores consideran que trastornó gravemente la civilización minoica de Creta. Sin embargo, para períodos anteriores —y a mayores profundidades— la estratificación anual ya no resulta visible y la datación de las columnas de hielo es mucho menos precisa. La columna de Vostok, en la Antártida, alcanzó una profundidad de unos 2.200 m y abarca un lapso de tiempo estimado en 160.000 años. Se han hecho buenas correlaciones a partir de las oscilaciones climáticas deducidas del análisis de las columnas de sedimentos marinos.

Datación Polínica

Todas las plantas con flores producen unos granos casi indestructibles llamados polen, y su conservación en turberas y sedimentos lacustres ha permitido que los expertos en polen (palinólogos) elaboren secuencias detalladas de la vegetación y el clima del pasado. Estas secuencias son de gran ayuda para comprender los medioambientes antiguos, como expondremos en el Capítulo 6. Pero también han sido importantes —y hasta cierto punto aún lo son— como métodos de datación relativa.

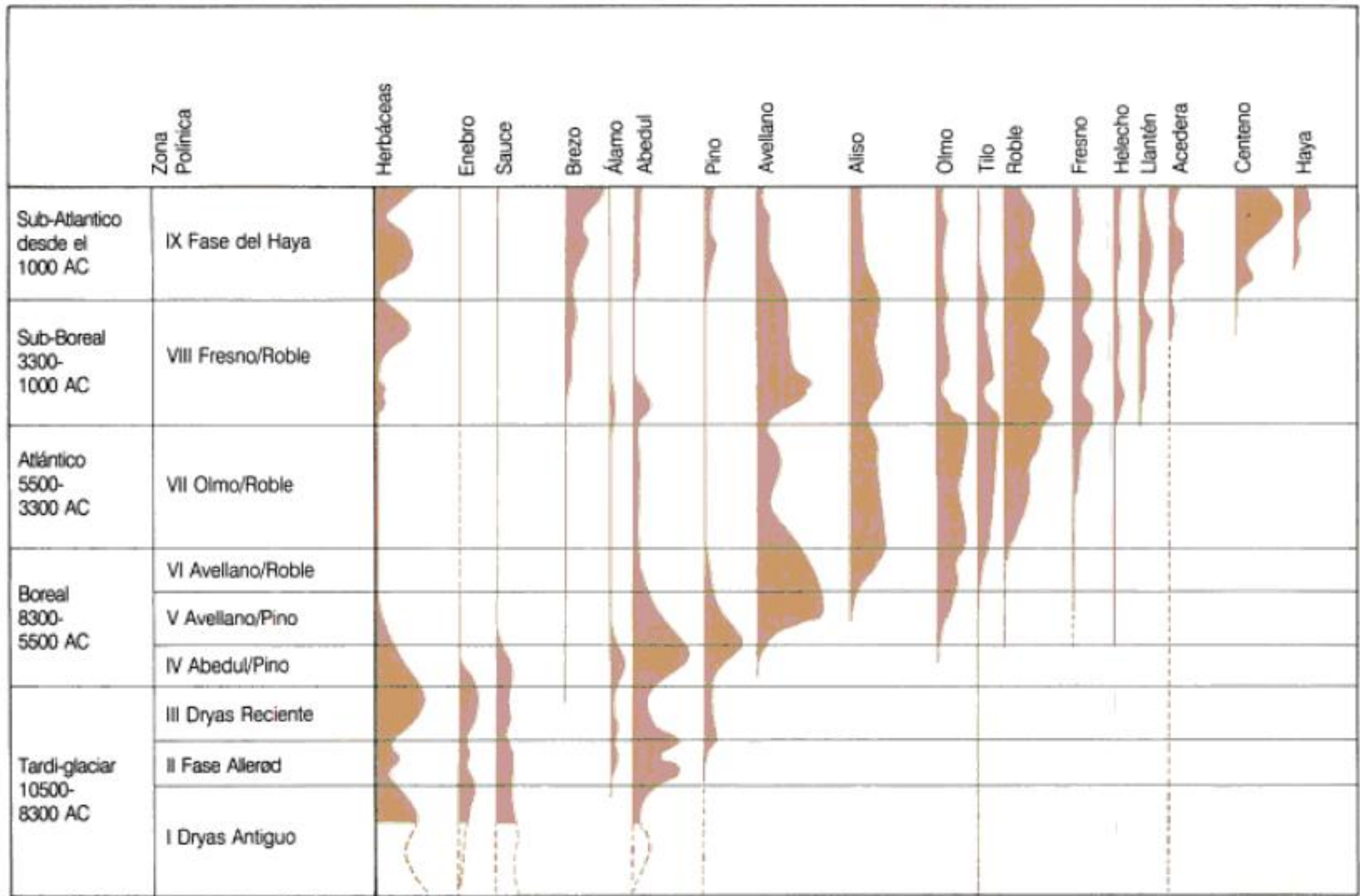


Diagrama ideal que ilustra la secuencia de zonas polínicas del Holoceno (período postglaciar) en Jutlandia, Dinamarca. Cada zona polínica se caracteriza por aumentos y disminuciones del polen de ciertas especies vegetales, p.ej., el abedul y el pino en la zona IV y el haya en la zona IX. Las fechas se dan en años radiocarbónicos AC sin corregir (ver p. 129).

Las secuencias palinológicas más conocidas son las que se elaboraron para el Holoceno (período postglaciar) de la Europa septentrional, en las que una sucesión detallada de las llamadas *zonas polínicas* abarca los últimos 10.000 años. El estudio de las muestras de polen procedentes de un yacimiento concreto puede, a menudo, incluirlo en una secuencia de zonas polínicas más amplia y asignarle así una fecha relativa. También pueden datarse con precisión, del mismo modo, los artefactos aislados y los hallazgos, como los cuerpos de las turberas, descubiertos en contextos en que el polen se ha conservado. Sin embargo, es importante recordar que las zonas polínicas no son uniformes en áreas extensas. En cualquier región local, como los Somerset Levels en el sur de Inglaterra, es preferible trabajar con un especialista que pueda elaborar una secuencia de zonas polínicas para esa región. También se pueden vincular a ellas los yacimientos y hallazgos de las proximidades. Si se pueden determinar las fechas radiocarbónicas o de los anillos de crecimiento para toda o, al menos, una parte de la secuen-

cia, tendremos entonces los elementos necesarios para una cronología absoluta de la región.

Gracias a su resistencia frente al paso del tiempo, los granos de polen pueden proporcionar datos ambientales de una antigüedad de incluso 3 millones de años en los yacimientos del África Oriental (Capítulo 6). Los distintos períodos interglaciares de áreas como la Europa septentrional también han resultado tener secuencias de polen características, lo que significa que la evidencia polínica de un yacimiento concreto del área puede ser identificada con un interglaciar determinado —un mecanismo de datación útil, dado que el radiocarbono no actúa en períodos de tiempo tan antiguos.

Datación Faunística

Existe otro método de datación relativa aplicable al Pleistoceno, aunque no se basa en los procesos sedimentarios sobre

los que se apoyan los métodos ya expuestos. Es la antigua técnica de la datación faunística, basada en el hecho de que muchas especies de mamíferos han evolucionado considerablemente en los últimos millones de años, surgiendo formas nuevas y extinguiéndose las antiguas. Se han hecho esquemas de los cambios de dichas especies para elaborar una secuencia aproximada, por ejemplo de elefantes o de suidos. En teoría, si se encuentra una secuencia de la especie porcina similar en dos yacimientos diferentes, se les puede asignar la misma edad relativa. En la práctica, el método es

muy impreciso por diversas razones, entre las que está el hecho de que las especies extinguidas en un área pueden haber seguido existiendo durante mucho tiempo en otra.

Sin embargo, esta imprecisión no descarta enteramente la datación faunística como un método útil para el Pleistoceno, en el que incluso puede resultar valiosa una precisión de sólo un cuarto de millón de años. La datación faunística ha demostrado ser de especial importancia en la correlación de los yacimientos del hombre primitivo descubiertos en el Este y Sur de África.

DATACIÓN ABSOLUTA

A pesar de la gran utilidad de los métodos de datación relativa, los arqueólogos quieren saber, fundamentalmente, cuántos años calendáricos tienen las secuencias, yacimientos y artefactos. Para conseguirlo tienen que utilizar los méto-

dos de datación absoluta descritos en los apartados siguientes —desde los métodos históricos tradicionales hasta aquellos que se basan en la gran diversidad de técnicas científicas modernas de que disponemos en la actualidad.

CALENDARIOS Y CRONOLOGÍAS HISTÓRICAS

Hasta la aparición de las primeras técnicas científicas de datación, en torno a los inicios de este siglo, la datación arqueológica dependía casi por completo de los métodos históricos. Es decir, se basaba en las conexiones arqueológicas con las cronologías y calendarios que habían establecido las propias gentes de épocas anteriores. Estos métodos de datación todavía resultan hoy de gran valor.

En el mundo antiguo, las sociedades alfabetizadas registraron su propia historia en documentos escritos. Los romanos dejaron constancia de los acontecimientos en relación al año de mandato de sus cónsules y emperadores, aunque en ocasiones los remitían a la fundación de la propia ciudad de Roma. Los griegos basaban los cálculos en la fecha de los primeros Juegos Olímpicos, que se fijan hoy en día, normalmente, en el año 776 AC. En Egipto, el Próximo Oriente y la antigua China, la historia se registraba con base en los sucesivos reyes, que se disponían en "dinastías". Como veremos, también hubo sistemas calendáricos muy precisos en Mesoamérica.

Los arqueólogos deben tener en cuenta tres aspectos importantes cuando trabajan con cronologías históricas antiguas. En primer lugar, el sistema cronológico exige una reconstrucción muy cuidadosa y cualquier lista de dirigentes o reyes ha de ser razonablemente completa. En segundo lugar, la lista de reyes, aunque registre de forma fidedigna el número de años de cada reinado, todavía tiene que ser relacionada con nuestro propio calendario, si no se quedará en una simple "cronología flotante". Y en tercer lugar, los artefactos, estructuras o construcciones a fechar de un yacimiento concreto han de ser vinculadas con la cronología

histórica, quizá mediante su asociación con alguna inscripción que mencione al dirigente del momento.

Las cronologías egipcia y maya ilustran bien estos aspectos. La historia egipcia se estructura en función de 31 dinastías, distribuidas entre los Imperios Antiguo, Medio y Nuevo. La panorámica actual es una síntesis basada en varios documentos entre los que se encuentra el llamado Canon Real de Turín. Esta síntesis proporciona una estimación del número de años de cada reinado, hasta la conquista de Egipto por Alejandro Magno, que se puede fijar con seguridad en el año 332 AC, a partir de la información de los historiadores griegos. De este modo, se pueden fechar las dinastías egipcias contando desde ese momento hacia atrás, aunque no se conozca la duración exacta de cada reinado. Este sistema puede ser confirmado y perfeccionado por medio de la astronomía. Los registros históricos egipcios describen las observaciones de ciertos acontecimientos astronómicos que se pueden fechar, de forma bastante independiente, utilizando los conocimientos astronómicos actuales y sabiendo en qué lugar de Egipto se llevaron a cabo las antiguas observaciones.

Por lo general, las fechas egipcias posteriores al 664 AC suelen ser consideradas muy fiables. Para el Imperio Nuevo (c. 1550-1070 AC), el margen de error puede ser de una o dos décadas y a medida que nos remontamos al comienzo de la Primera Dinastía, en torno al 3000 AC, el error acumulado vendría a ser de unos 200 años más o menos.

Entre los sistemas calendáricos de Mesoamérica, el calendario Maya era el más elaborado (ver cuadro siguiente). No depende, como los de Europa y el Próximo Oriente, de un registro de dinastías y dirigentes. Otras zonas de Meso-

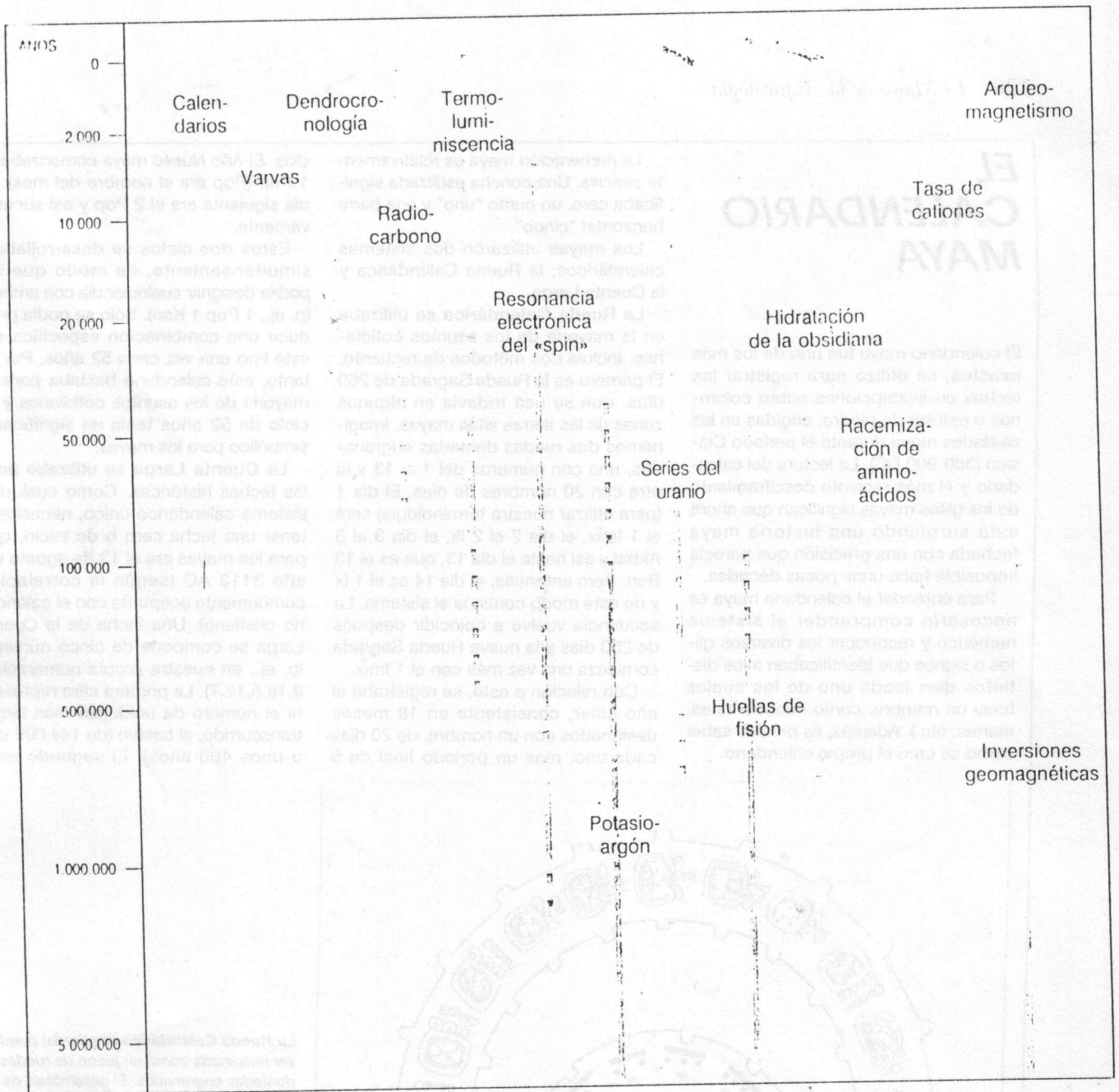


Tabla cronológica que resume los espacios de tiempo a los que se aplican los distintos métodos de datación absoluta.

américa tuvieron sus propios sistemas calendáricos, que funcionaban con base en principios similares.

El Manejo de una Cronología Histórica

Resulta relativamente fácil para el arqueólogo el utilizar una cronología histórica cuando se localizan artefactos

abundantes que pueden ser relacionados fielmente con ella. Así, en los yacimientos mayas importantes, como Tikal o Copán, hay numerosas estelas con inscripciones calendáricas que se pueden utilizar a menudo para fechar los edificios a los que se asocian. Los artefactos vinculados a las construcciones pueden datarse sucesivamente: por ejemplo, si se ha elaborado una tipología de cerámica, el hallazgo de tipos cerámicos conocidos en contextos datados históricamente

EL CALENDARIO MAYA

El calendario maya fue uno de los más exactos, se utilizó para registrar las fechas en inscripciones sobre columnas o estelas de piedra, erigidas en las ciudades maya durante el período Clásico (300-900 DC). La lectura del calendario y el más reciente desciframiento de los glifos mayas significan que ahora está surgiendo una historia maya fechada con una precisión que parecía imposible hace unas pocas décadas.

Para entender el calendario maya es necesario comprender el sistema numérico y reconocer los diversos glifos o signos que identificaban a los distintos días (cada uno de los cuales tenía un nombre, como nuestro lunes, martes, etc.). Además, es preciso saber cómo se creó el propio calendario.

La numeración maya es relativamente sencilla. Una concha estilizada significaba cero, un punto "uno" y una barra horizontal "cinco".

Los mayas utilizaron dos sistemas calendáricos: la Rueda Calendárica y la Cuenta Larga.

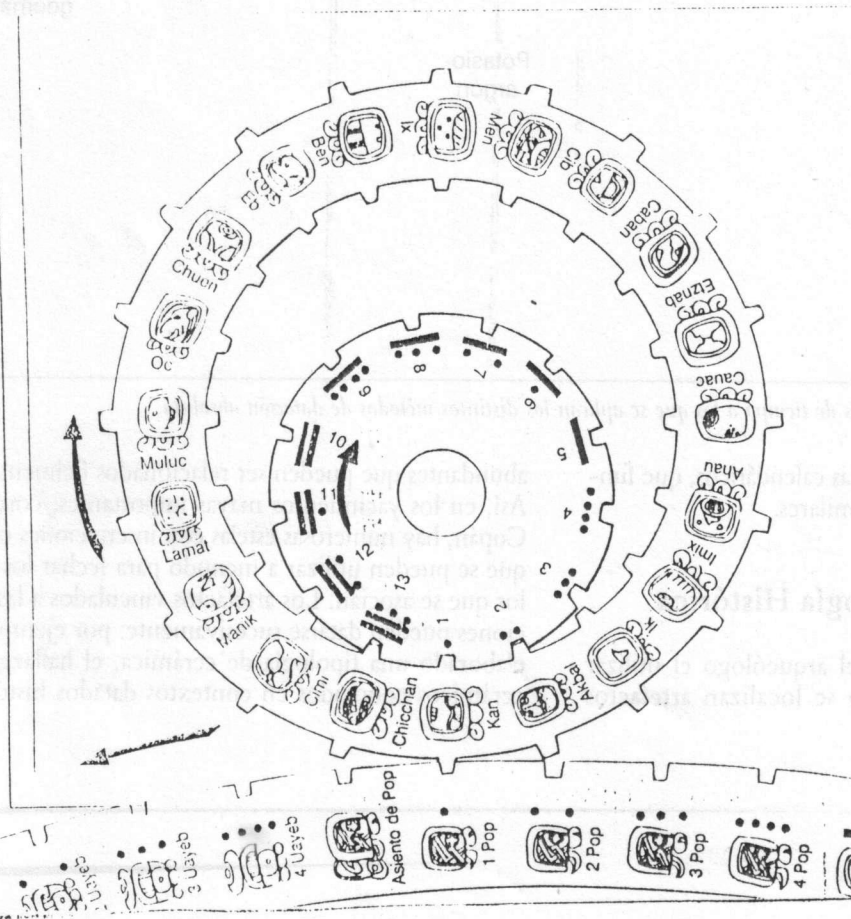
La **Rueda Calendárica** se utilizaba en la mayoría de los asuntos cotidianos. Incluía dos métodos de recuento. El primero es la Rueda Sagrada de 260 días, que se usa todavía en algunas zonas de las tierras altas mayas. Imaginemos dos ruedas dentadas engranadas, una con números del 1 al 13 y la otra con 20 nombres de días. El día 1 (para utilizar nuestra terminología) será el 1 Imix, el día 2 el 2 Ik, el día 3 el 3 Akbal y así hasta el día 13, que es el 13 Ben. Pero entonces, el día 14 es el 1 Ix y de este modo continúa el sistema. La secuencia vuelve a coincidir después de 260 días y la nueva Rueda Sagrada comienza una vez más con el 1 Imix.

Con relación a esto, se registraba el año solar, consistente en 18 meses designados con un nombre, de 20 días cada uno, más un período final de 5

días. El Año Nuevo maya comenzaba el 1 Pop (Pop era el nombre del mes); al día siguiente era el 2 Pop y así sucesivamente.

Estos dos ciclos se desarrollaban simultáneamente, de modo que se podría designar cualquier día con ambos (p. ej., 1 Pop 1 Kan). Sólo se podía producir una combinación específica de este tipo una vez cada 52 años. Por lo tanto, este calendario bastaba para la mayoría de los asuntos cotidianos y el ciclo de 52 años tenía un significado simbólico para los mayas.

La **Cuenta Larga** se utilizaba para las fechas históricas. Como cualquier sistema calendárico único, necesitaba tener una fecha cero o de inicio, que para los mayas era el 13 de agosto del año 3113 AC (según la correlación comúnmente aceptada con el calendario cristiano). Una fecha de la Cuenta Larga se compone de cinco números (p. ej., en nuestra propia numeración, 8.16.5.12.7). La primera cifra representa el número de unidades más largas transcurrido, el *baktun* (de 144.000 días o unos 400 años). El segundo es el



La **Rueda Calendárica** (izquierda) puede ser imaginada como un juego de ruedas dentadas engranadas. El ensamblaje de las dos ruedas mostrado en la parte superior crea el ciclo de 260 días. Acoplado a éste está el ciclo de 365 días (una parte del cual aparece en la parte inferior). La conjunción específica de días que representamos aquí (1 Kan 1 Pop) no podrá repetirse hasta que hayan pasado 52 años (18.980 días).

La **Cuenta Larga** (derecha) se utilizaba para registrar fechas históricas. Aquí, en el Sepulcro 48 de la ciudad de Tikal, la fecha citada —leyendo de arriba a abajo— es el 9.1.1.10.10 4 Oc o 9 baktunes, 1 katún, 1 tun, 10 uinales y 10 kines, con el nombre del día 4 Oc al final. En el lenguaje actual es el 19 de marzo del año 457 DC.

k'atun (7.200 días o 20 años), el tercero un *tun* de 360 días, el cuarto un *uinal* de 20 días y finalmente el *kin*, el día.

Se utilizaba una notación posicional, empezando arriba con el número de *baktunes* y descendiendo hacia las unidades inferiores. Por lo general, cada número iba seguido del glifo de la unidad en cuestión (p. ej., 8 *baktunes*), de forma que las fechas de las estelas puedan ser reconocidas de inmediato.

La fecha más antigua conocida hasta hoy de una estela en el área maya, propiamente dicha, es la de la estela 29 de Tikal, que indica el 8.12.14.8.15. En otras palabras:

| | |
|-------------------|----------------|
| 8 <i>baktunes</i> | 1.152.000 días |
| 12 <i>katunes</i> | 86.400 días |
| 14 <i>tunes</i> | 5.040 días |
| 8 <i>uinales</i> | 160 días |
| 15 <i>kines</i> | 15 días |

o 1.243.615 días

desde el año cero en el 3113 AC. Equivale al 6 de julio del 292 DC. Según los mayas, el fin del mundo se producirá en torno al 24 de diciembre del 2012.



CRONOLOGÍA EGIPCIA

PRIMERAS DINASTÍAS (Arcaico) (3000-2575 AC)
Dinastías 1-3

IMPERIO ANTIGUO (2575-2134 AC)
Dinastías 4-8

PRIMER PERÍODO INTERMEDIO (2134-2040 AC)
Dinastías 9-11

IMPERIO MEDIO (2040-1640 AC)
Dinastías 11-14

SEGUNDO PERÍODO INTERMEDIO (1640-1532 AC)
Dinastías 15-17

IMPERIO NUEVO (1550-1070 AC)
Dinastías 18-20

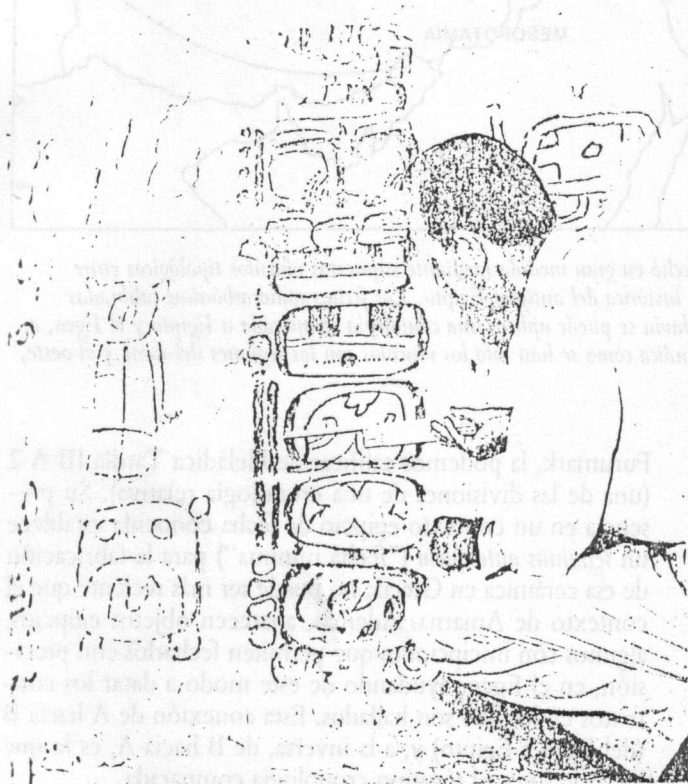
TERCER PERÍODO INTERMEDIO (1070-712 AC)
Dinastías 21-25

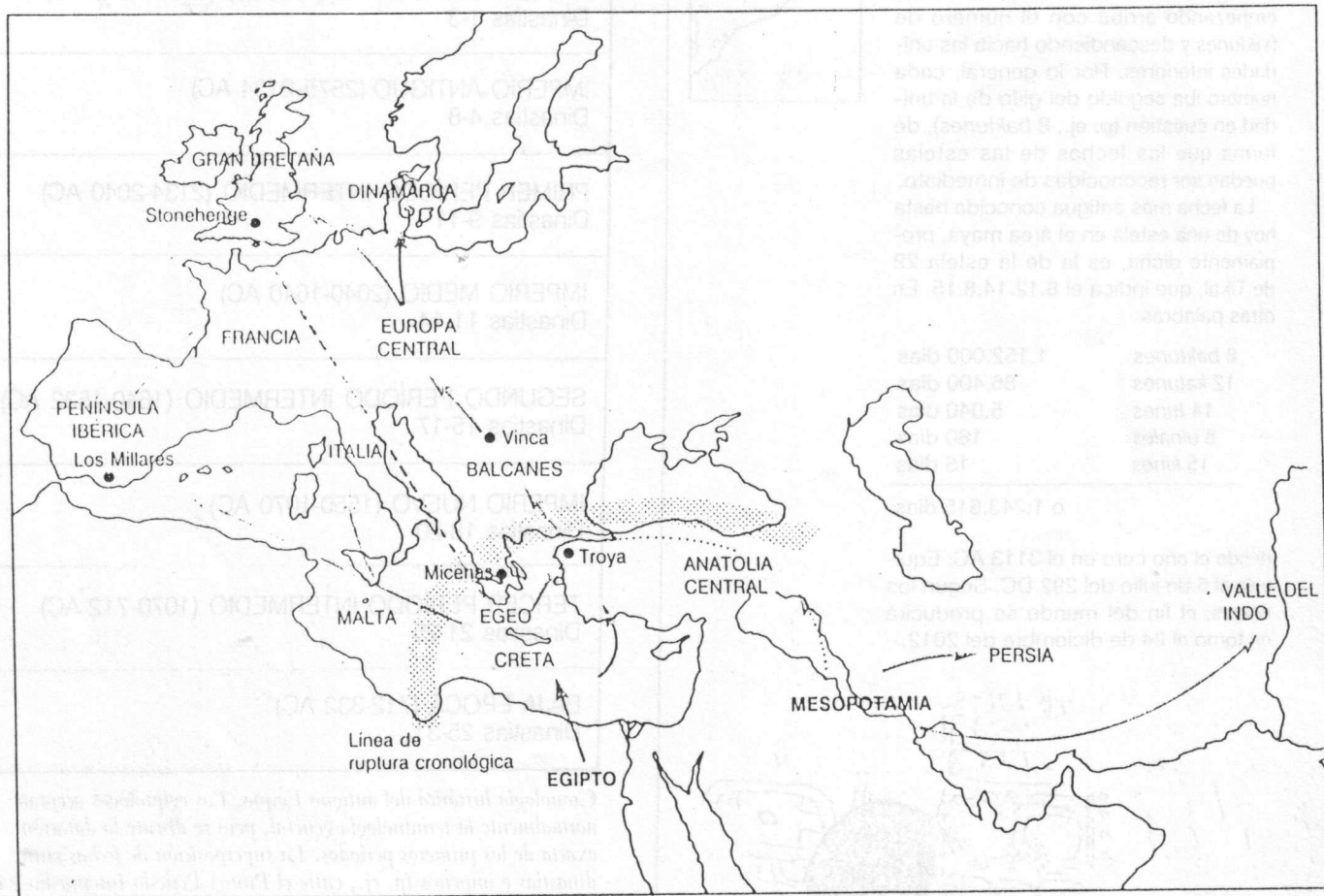
BAJA ÉPOCA (712-332 AC)
Dinastías 25-31

Cronología histórica del antiguo Egipto. Los egiptólogos aceptan normalmente la terminología general, pero se discute la datación exacta de los primeros periodos. La superposición de fechas entre dinastías e imperios (p. ej., entre el Primer Período Intermedio y el Imperio Medio) indica que se reconocieron dirigentes distintos en zonas diferentes del país.

permite fechar la propia tipología. Los contextos y edificaciones de otros yacimientos que carezcan de inscripciones pueden ser datados con bastante aproximación gracias a la aparición de tipos similares de vasijas.

Algunas veces, los propios artefactos llevan fechas, o nombres de dirigentes que pueden ser datados. Éste es el caso de muchas cerámicas del Maya Clásico que tienen inscripciones jeroglíficas. Para los periodos romano y medieval en Europa, las monedas ofrecen una oportunidad similar, ya que suelen llevar el nombre del gobernante que las emitió, y las inscripciones y archivos, por su parte, permiten normalmente datar a éste. Asignar una fecha a una moneda o un artefacto no es lo mismo que datar el contexto en que han aparecido. La fecha de la moneda indica el año en que se fabricó. Su inclusión en un depósito sellado sólo establece un *terminus post quem* ("fecha máxima");





Cronología europea. Hasta los años sesenta, la Europa prehistórica se fechó en gran medida mediante supuestos vínculos tipológicos entre territorios vecinos, que se apoyaban en última instancia en la cronología histórica del antiguo Egipto. Las fechas radiocarbónicas calibradas (p. 129) han demostrado que muchos de estos vínculos eran falsos. Todavía se puede aplicar una cronología comparada a Egipto y el Egeo, a partir de las exportaciones e importaciones, pero la "línea de ruptura" indica cómo se han roto los vínculos con las regiones del norte y el oeste, donde las fechas han retrocedido varios siglos.

en otras palabras, el depósito no puede ser anterior a la fecha de la moneda —pero podría ser posterior a ella.

Una cronología histórica firme de un país puede ser empleada para fechar acontecimientos de territorios vecinos y de otros más lejanos que carezcan de registros históricos propios, pero que son mencionados en los textos de las naciones con escritura. De modo similar, los arqueólogos pueden recurrir a las exportaciones e importaciones de objetos para ampliar los vínculos cronológicos mediante una *cronología comparada*. Por ejemplo, Flinders Petrie, en sus excavaciones de 1891-92 en Tell-el-Amarna, la capital del faraón herético Akhenatón (fechado ahora, dentro de la cronología histórica egipcia, en torno al 1353-1335 AC), descubrió cerámica que identificó como de origen Egeo: de hecho, era cerámica Micénica. Dentro del sistema tipológico establecido más tarde por el investigador sueco Arne

Furumark, la podemos calificar de Heládica Tardía III A 2 (una de las divisiones de una cronología relativa). Su presencia en un contexto egipcio de fecha conocida establece un *terminus ante quem* ("fecha mínima") para la fabricación de esa cerámica en Grecia: no puede ser más reciente que el contexto de Amarna. Además, aparecen objetos egipcios, algunos con inscripciones que permiten fecharlos con precisión, en el Egeo, ayudando de este modo a datar los contextos en los que son hallados. Esta conexión de A hacia B (del Egeo a Egipto) y, a la inversa, de B hacia A, es lo que ha dado lugar al término *cronología comparada*.

Hasta hace 20 o 30 años, buena parte de la prehistoria europea se basaba en ese método de datación, que establecía contactos sucesivos entre territorios vecinos. Incluso se fecharon las zonas más remotas de Europa en años absolutos AC, mediante un sistema que se apoyaba, en última instancia, en

la cronología egipcia. Pero la calibración de las fechas radiocarbónicas (ver más adelante) ha provocado el derrumbamiento de esta precaria construcción cronológica. Resulta evidente hoy en día que, aunque los vínculos entre Egipto y el Egeo, basados en importaciones y exportaciones reales, eran válidos, los del Egeo y el resto de Europa no lo eran. Toda la cronología de la Europa prehistórica estaba construida sobre supuestos falsos, cuya rectificación produjo (en lo que a este continente se refiere) lo que se ha llegado a denominar la Segunda Revolución Radiocarbónica (ver mapa).

La datación por métodos históricos sigue siendo el procedimiento más importante para el arqueólogo en aquellos

países con un calendario fiable respaldado por un nivel de alfabetización importante. Allí donde existan serias dudas respecto al calendario o a su correlación con el sistema cronológico actual, las correspondencias pueden comprobarse a menudo, al menos a grandes rasgos, mediante los métodos de datación absoluta que se exponen más adelante.

Sin embargo, fuera de los territorios históricos y con escritura, la cronología comparada y las comparaciones tipológicas generales han sido sustituidas casi por completo por los métodos de datación con una base científica. En la actualidad, pueden asignarse fechas absolutas a todas las culturas del mundo.

CICLOS ANUALES: VARVAS Y ANILLOS DE CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES

Antes de la aparición de los métodos radiactivos, tras la Segunda Guerra Mundial, el recuento de las varvas y de los anillos de crecimiento de los árboles eran los métodos de datación absoluta más precisos —aunque sólo en dos regiones del planeta, Escandinavia para las varvas y el Suroeste Americano para los anillos—. Hoy en día, mientras que las varvas siguen siendo de uso restringido, los anillos de crecimiento han llegado a rivalizar con el radiocarbono como el método de datación más importante para los últimos milenios en muchas zonas de Europa, Norteamérica y Japón, gracias a una esmerada labor científica.

Cualquier método de datación absoluta depende de la existencia de un proceso regular en el tiempo. El más obvio es el sistema mediante el cual organizamos nuestro calendario actual: la traslación de la Tierra alrededor del Sol una vez al año. Debido a que este ciclo anual produce fluctuaciones periódicas regulares en el clima, tiene un impacto sobre los rasgos medioambientales que, en ciertos casos, puede ser medido para crear una cronología (así como un registro del cambio medioambiental: ver Capítulo 6).

La evidencia de estas fluctuaciones anuales es muy diversa. Por ejemplo, los cambios de temperatura en las regiones polares producen variaciones anuales en el grosor del hielo, que pueden ser estudiadas por los científicos a partir de las columnas extraídas del mismo (ver apartado anterior, Clima y Cronología). De forma similar, en las tierras que bordean a las regiones polares, la fusión de las capas de hielo cada año, cuando suben las temperaturas, lleva a la formación de depósitos anuales de sedimentos, llamados *varvas*, que pueden ser contados. El crecimiento de la mayor parte de las especies vegetales varía anualmente, lo que hace posible el principio de la *datación por los anillos de crecimiento de los árboles* (dendrocronología). Y el desarrollo de muchas especies animales también se altera durante el año, de forma que, en ocasiones, se pueden detectar las variaciones anuales en el

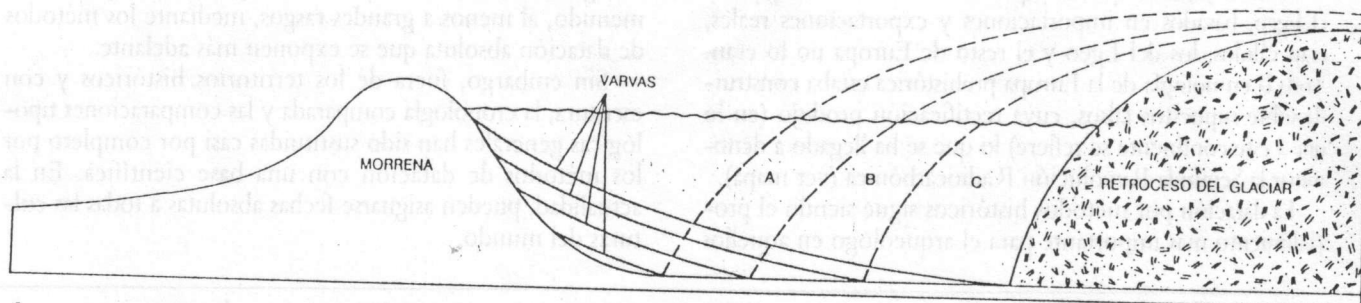
esqueleto o en las conchas de, pongamos por caso, los moluscos marinos (Capítulo 6).

Al igual que sucede con las listas de reyes históricos, y por lo que respecta a la datación absoluta, la secuencia ha de ser lineal (sin lagunas), conectando de algún modo con la época actual y siendo susceptible de ser relacionada con las estructuras o artefactos que queremos fechar en realidad. Por ejemplo, los anillos de crecimiento anual de los moluscos hallados en un yacimiento, pueden proporcionar datos valiosos sobre la estación de ocupación (Capítulo 7), pero esta secuencia es demasiado breve para constituir una cronología absoluta. Por su parte, las varvas y los anillos de crecimiento de los árboles pueden ser contados para generar series ininterrumpidas que se remonten a muchos miles de años atrás.

Varvas

En 1878, el geólogo sueco barón Gerard de Geer observó que ciertos depósitos de arcilla se estratificaban de un modo uniforme. Se dio cuenta de que estos estratos (“varvas” en sueco) se habían depositado en lagos en torno a las márgenes de los glaciares escandinavos, debido a la fusión anual de las capas de hielo, que habían ido retrocediendo regularmente desde el final del Pleistoceno, o última Era Glaciar. El grosor de los niveles variaba de año en año, produciéndose un estrato grueso en un año cálido, con el aumento de la fusión glacial, y un nivel fino bajo condiciones más frías. Midiendo los espesores sucesivos de una secuencia completa y, comparando el modelo con las varvas de áreas próximas, se demostró que era posible vincular secuencias prolongadas entre sí.

Este fue el primer método geocronológico que se descubrió. Se hallaron depósitos considerables que representaban miles de años y que se extendían (cuando se encadenaban) desde la época actual hasta el inicio del retroceso de las



Las varvas son capas de sedimentos que se depositaron en los lagos por la fusión de los glaciares. Cuando el hielo retrocedió a la posición A, los materiales contenidos en el agua derretida se asentaron, formando la varva inferior. En los años siguientes (B, C, etc.) se depositaron más sedimentos, extendiéndose cada varva horizontalmente hasta el momento en que el invierno detenía el deshielo del glaciar y representando en su espesor el volumen de descarga del glaciar. Cuando se han registrado las varvas de los lagos glaciares, se pueden correlacionar para crear una secuencia directora para un área. Se han establecido este tipo de secuencias en Escandinavia y América del Norte.

capas de hielo glacial en Escandinavia, hace unos 12.000 años. El método permitió hacer, por primera vez, un cálculo bastante fiable de la fecha del término de la última Era Glacial y, por tanto, hizo una aportación a la cronología arqueológica no sólo en Escandinavia sino también en otras muchas otras partes del mundo.

Se han hecho estudios similares en Norteamérica, por ejemplo en Wisconsin. Pero hay problemas para correlacionar los datos de Norteamérica y los de la Europa Septentrional (Finlandia y Suecia). En cuanto a las aplicaciones arqueológicas directas, la datación radiocarbónica y el trabajo con los anillos de los árboles resultan, por lo general, mucho más útiles.

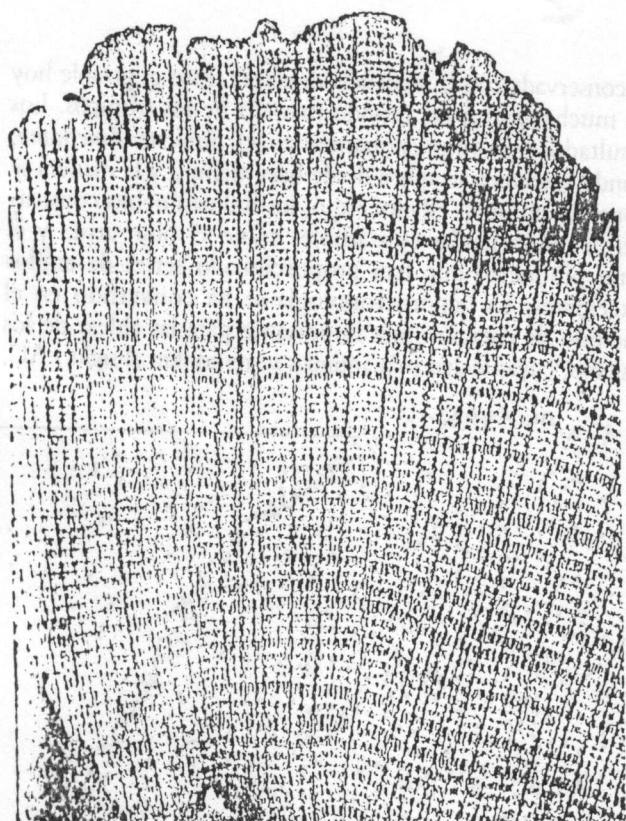
Datación por la Dendrocronología

En las primeras décadas de este siglo, un astrónomo americano, A. E. Douglass, creó la moderna técnica de datación por los anillos de crecimiento de los árboles (dendrocronología) —aunque buena parte de sus principios ya se habían comprendido mucho antes—. Trabajando con troncos bien conservados en el árido Suroeste Americano, Douglass, en 1930, pudo asignar fechas absolutas a muchos de los principales yacimientos de la zona, como Mesa Verde y Pueblo Bonito. Pero la técnica no se introdujo en Europa hasta finales de los años 30, y sólo en los años 60 el uso de procedimientos estadísticos y de ordenadores sentó las bases para el establecimiento de las largas cronologías de anillos de crecimiento, tan fundamentales para la arqueología moderna. Hoy en día, la dendrocronología tiene dos usos arqueológicos distintos: 1) como un medio fructífero de calibrar y corregir las fechas radiocarbónicas; y 2) como un método independiente de datación absoluta por derecho propio.

Bases del Método. La mayoría de los árboles producen

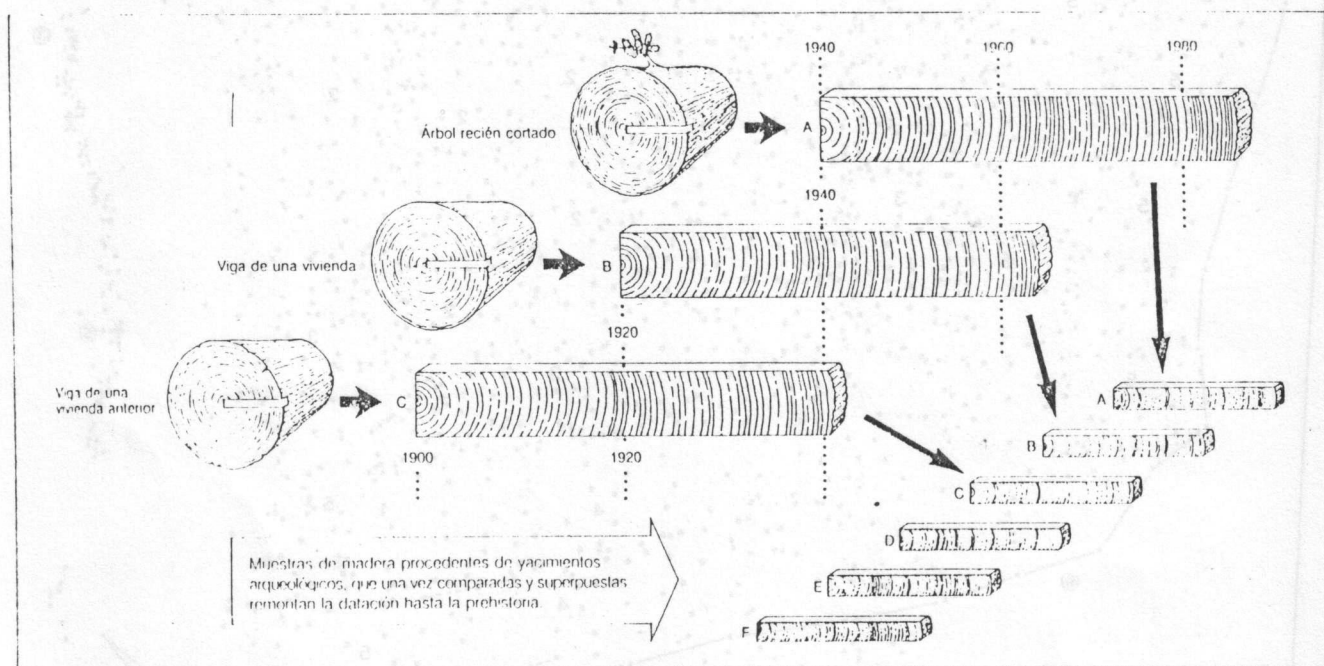
un nuevo anillo de madera cada año y esos círculos de crecimiento pueden verse con facilidad en un corte transversal del tronco de un árbol talado. Estos anillos no tienen el mismo grosor. En cada árbol variarán por dos razones. Primera, los anillos se hacen más estrechos a medida que aumenta la edad del árbol. Segunda, el crecimiento total del mismo cada año sufre las fluctuaciones del clima. En las regiones áridas, unas precipitaciones por encima de la media durante un año, pueden producir un anillo anual particularmente grueso. En zonas más templadas, la luz del sol y la temperatura pueden ser más decisivas que la lluvia, a la hora de afectar al crecimiento de los árboles. Aquí, un enfriamiento repentino en primavera puede dar lugar a un anillo estrecho.

Los dendrocronólogos miden y combinan estos anillos y crean un diagrama que indica el grosor de los anillos sucesivos de un árbol en concreto. Los árboles de la misma especie que crecen en la misma zona presentarán, por lo general, el mismo patrón de anillos, de forma que se puede comparar la secuencia del crecimiento de troncos cada vez más antiguos para elaborar una cronología de la zona. (No es necesario talar árboles para estudiar la secuencia de los anillos: puede extraerse una muestra utilizable perforando el árbol sin dañarlo.) Los dendrocronólogos pueden producir una secuencia continua y prolongada que se remonte desde la actualidad a cientos e incluso miles de años atrás, mediante la comparación de las secuencias de anillos de árboles vivos de distinta edad, así como de troncos más viejos. De esta forma, cuando se halla un tronco antiguo de la misma especie (es decir, un abeto Douglas en el Suroeste Americano o un roble en Europa), sería posible equiparar su serie de anillos de crecimiento de, digamos, 100 años, al tramo de 100 años correspondiente de la secuencia o cronología directora. Así, puede fecharse, por lo general, el momento de derribo de ese trozo de madera con un margen de error de un año.



Aplicaciones: 1) Las Series Directoras Prolongadas y el Radiocarbono. Quizá la mayor contribución de la dendrocronología a la datación arqueológica haya sido el establecimiento de secuencias prolongadas de anillos de crecimiento, con las que ha sido posible contrastar y calibrar las fechas radiocarbónicas. En Arizona se realizó un estudio pionero de una especie extraordinaria, el pino arista de California (*Pinus aristata*), algunos de cuyos ejemplares alcanzan una edad de unos 4.900 años —los seres vivos más viejos de la tierra—. Mediante la comparación de muestras procedentes de estos árboles vivos con anillos de pinos muertos, conservados en el árido entorno de la región, algunos científicos —diridos por E. Schulman y, más tarde, por C. Wesley Ferguson— elaboraron una secuencia ininterrumpida que se remontaba desde la actualidad al 6700 AC. Más adelante, en el apartado relativo al radiocarbono, veremos cómo se ha utilizado esta secuencia para las tareas de calibración.

La investigación realizada en el Suroeste Americano se ha visto completada recientemente por los estudios europeos de los anillos de crecimiento del roble, que a menudo se conserva en buen estado en los depósitos anegados. En la actualidad, dos series independientes del roble, en Irlanda del Norte y Alemania Occidental, se remontan de forma ininterrumpida al pasado lejano, en el caso irlandés hasta el 5300 AC, aproximadamente, y en el alemán en torno al 7500 AC. Los científicos que realizaron este trabajo —Michael

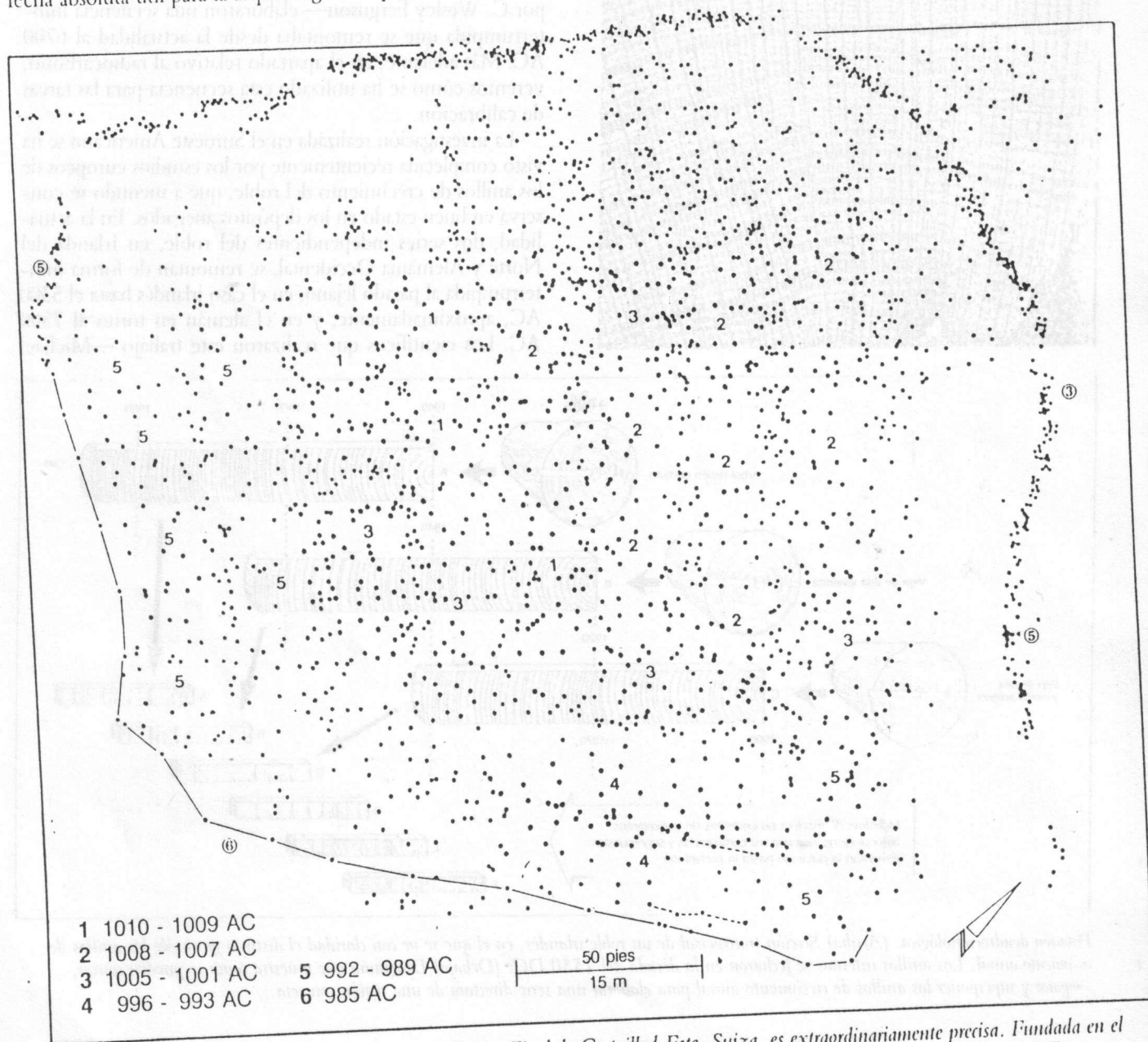


Datación dendrocronológica. (Arriba) Sección transversal de un roble irlandés, en el que se ve con claridad el distinto grosor de los anillos de crecimiento anual. Los anillos internos se fecharon en la década del 1550 DC. (Debajo) Diagrama que muestra cómo se pueden contar, comparar y superponer los anillos de crecimiento anual para elaborar una serie directora de una región concreta.

Baillie, en Belfast, Bernhard Becker, en Stuttgart— también han tenido éxito en la comparación de ambas secuencias, creando una cronología absoluta fiable de la Europa central y occidental, para calibrar las fechas de radiocarbono y para aplicar en la datación dendrocronológica directa.

Aplicaciones: 2) La Datación Dendrocronológica Directa. Donde las gentes del pasado utilizaron troncos de una especie que forme parte de alguna de las series dendrocronológicas actuales, como el roble, se puede obtener una fecha absoluta útil para la arqueología comparando la made-

ra conservada con la secuencia directora. Esto es posible hoy en muchas partes del mundo más allá de los trópicos. Los resultados son impresionantes en el *Suroeste Americano*, donde la técnica se aplica desde hace tiempo y la madera se conserva en buen estado. Aquí, los indios Pueblo construyeron sus viviendas con árboles como el pino arista y el pino piñonero, que han proporcionado series de anillos excelentes. La dendrocronología se ha convertido en el método de datación más importante para las aldeas de los Pueblo, cuyas fechas más antiguas se remontan al siglo I AC,



La datación dendrocronológica del asentamiento del Bronce Final de Cortaillod-Este, Suiza, es extraordinariamente precisa. Fundada en el 1010 AC con un núcleo de cuatro casas (fase 1), la aldea fue ampliada cuatro veces y se le añadió una empalizada en el 985 AC.

aunque el principal período de construcción llegó mil años más tarde.

Un breve ejemplo del Suroeste servirá para destacar la precisión e implicaciones del método. En su precursor trabajo, A. E. Douglass había establecido que Betatakin, una residencia en un acantilado del Noroeste de Arizona, data del 1270 DC, aproximadamente. Jeffrey Dean, que volvió al yacimiento en los años 60, recogió 292 muestras de anillos de crecimiento y las utilizó para documentar no sólo la creación del yacimiento en el 1267 DC, sino también su crecimiento habitación por habitación y año a año, hasta que llegó a su apogeo a mediados de la década de 1280, poco antes de ser abandonado. La estimación del número de ocupantes por habitación también hizo posible calcular la tasa de crecimiento de la población de Betatakin hasta un máximo de unas 125 personas. De este modo, la dendrocronología puede llevar a consideraciones más generales que los simples problemas de datación.

En la *Europa central y occidental*, las series directoras sobre el roble permiten, en la actualidad, una datación igual de precisa del desarrollo de los palafitos del Neolítico y la Edad del Bronce, como el de Cortaillod en Suiza. En ocasiones, las cronologías locales siguen siendo "flotantes" —sus series limitadas no han sido asociadas a la secuencia directora principal.

En muchas partes del mundo se están ampliando gradualmente las series directoras y se están incluyendo en ellas las cronologías flotantes. En el área del Egeo, por ejemplo, se dispone ahora de una secuencia directora que se remonta a la época altomedieval (al período bizantino), con una serie flotante anterior, de varios siglos, para el período Clásico. A su debido tiempo, se encontrará sin duda el vínculo entre ambas.

Limitaciones. A diferencia del radiocarbono, la dendrocronología no es un método de datación universal debido a dos factores básicos:

- 1 sólo es aplicable a árboles de regiones exteriores a los trópicos, donde los marcados contrastes estacionales producen anillos anuales bien definidos;
- 2 para una datación dendrocronológica directa, se limita a la madera de aquellas especies: a) que hayan proporcionado una serie directora que se remonte hacia atrás desde la actualidad, y b) que la gente haya utilizado realmente en el pasado.

Además, hay que tener en cuenta problemas importantes de interpretación. Una fecha dendrocronológica se refiere al momento de tala de un árbol. Éste se determina comparando los anillos exteriores (la albura) con una secuencia regional. Donde haya desaparecido toda o la mayor parte de la albura, no se podrá identificar la fecha de tala. Pero incluso disponiendo de una fecha precisa, el arqueólogo tiene que determinar —basándose en el contexto y en los procesos postdeposicionales— cuánto tiempo tardó la madera en pasar a formar parte del depósito arqueológico. Los troncos pueden ser más antiguos o más recientes que la estructura a la que acabaron incorporándose, dependiendo de si fueron reutilizados de otra parte o si fueron empleados para hacer reparaciones en una estructura construida mucho antes. Como siempre, la mejor solución consiste en tomar muchas muestras y comprobar cuidadosamente los datos en el yacimiento.

Pese a estas reservas, la dendrocronología parece que se convertirá en la técnica de datación más importante, junto con el radiocarbono, para los últimos 8.000 años, en las zonas áridas y templadas.

RELOJES RADIATIVOS

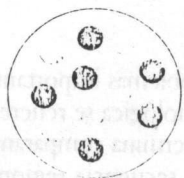
Muchos de los avances más importantes en la datación absoluta, desde la Segunda Guerra Mundial, proceden del empleo de lo que podríamos llamar "relojes radiactivos", basados en un fenómeno regular y muy difundido en la naturaleza, la desintegración radiactiva (ver cuadro). El más popular de estos métodos es el radiocarbono, que constituye hoy en día la principal herramienta de datación para los últimos 50.000 años, aproximadamente. La termoluminiscencia (TL), una técnica de datación que se basa indirectamente en la desintegración radiactiva, coincide con el radiocarbono en el período de tiempo para el que resulta útil, aunque tiene potencial para datar épocas anteriores —como la resonancia electrónica del "spin", una técnica nueva relacionada con la TL—. Sin embargo, el potasio-argón, la datación por las venas del uranio y la datación por las huellas de fisión son los

principales métodos radiactivos para los períodos anteriores al que abarca el radiocarbono. En los apartados siguientes expondremos cada uno de estos métodos.

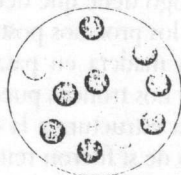
La Datación Radiocarbónica

El radiocarbono es el método de datación más útil para el arqueólogo. Como veremos, tiene sus limitaciones, tanto en relación a su precisión como al intervalo de tiempo para el que resulta útil. Los propios arqueólogos también son la causa de errores importantes, debido a los desacertados procedimientos de muestreo y al descuido en la interpretación. Sin embargo, el radiocarbono ha transformado nuestra comprensión del pasado, ayudando a los arqueólogos a esta-

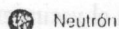
LOS PRINCIPIOS DE LA DESINTEGRACIÓN RADIACTIVA



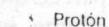
Átomo de Carbono-12



Átomo de Carbono-14



Neutrón

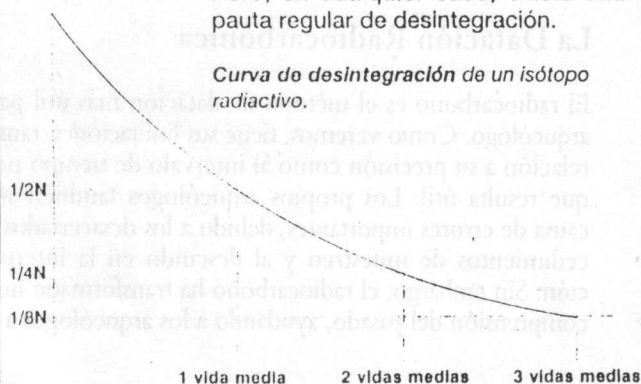


Protón

Como la mayoría de los demás elementos, el carbono existe en más de una forma. Tiene tres isótopos: el primero es el más común, con seis protones y seis neutrones en su núcleo y, por tanto, con un peso atómico de 12 (C^{12}); el segundo tiene siete neutrones en el núcleo y su peso atómico es 13 (C^{13}); el tercer isótopo posee ocho neutrones y su peso atómico es 14 (C^{14}). De los tres, el C^{14} o radiocarbono es el único inestable; se desintegra en el entorno para producir N^{14} (nitrógeno con un peso atómico de 14), emitiendo débiles radiaciones beta mientras lo hace. Esta desintegración radiactiva se produce de forma constante. De hecho, todos los procesos de desintegración radiactiva, sean más rápidos o más lentos que el del radiocarbono, presentan un modelo exponencial similar.

El tiempo que tardan en desintegrarse la mitad de los átomos de un isótopo radiactivo se denomina vida media. En otras palabras, tras una vida media quedarán la mitad de los átomos; después de dos sólo queda la cuarta parte de la cantidad original del isótopo y así sucesivamente. En el caso del C^{14} , su vida media se ha establecido en 5.730 años. Para el U^{238} (el uranio con peso atómico 238) es de 4.500 millones de años. Para ciertos isótopos, la vida media es de una milésima de segundo. Pero, en cualquier caso, existe una pauta regular de desintegración.

Curva de desintegración de un isótopo radiactivo.

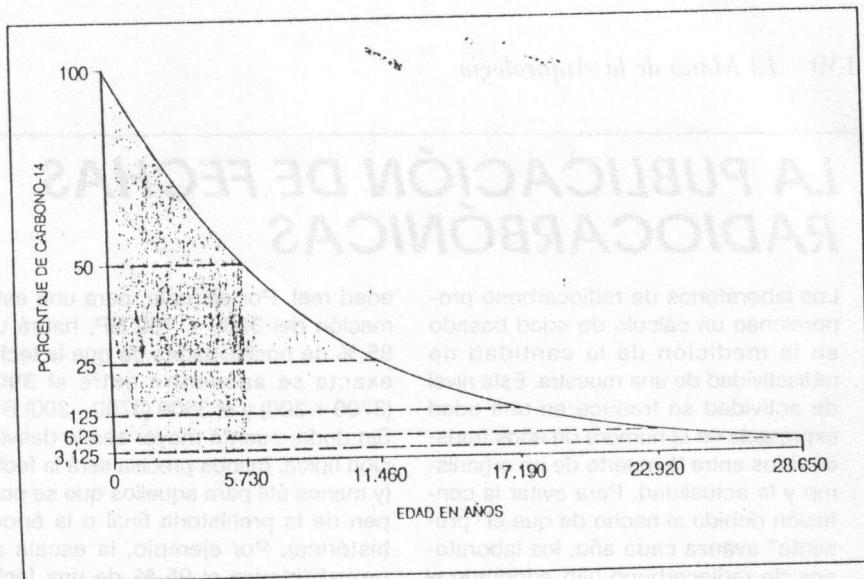
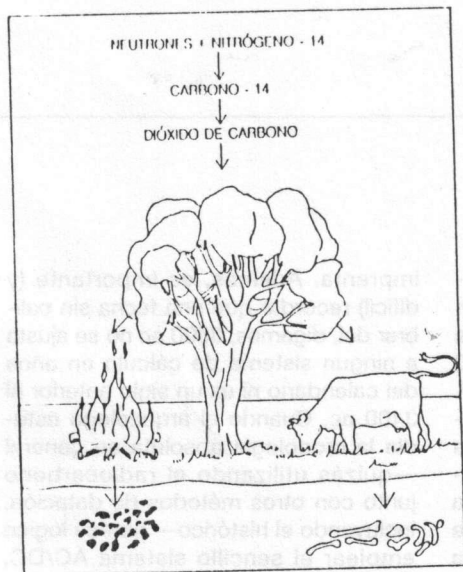


blecer, por primera vez, una cronología fiable de las culturas del mundo.

Historia y Bases del Método. En 1949, el químico americano Willard Libby publicó las primeras fechas radiocarbónicas. Durante la Segunda Guerra Mundial había sido uno de los científicos que estudiaban la radiación cósmica, las partículas subatómicas que bombardean la tierra constantemente, produciendo electrones de alta energía. Estos neutrones reaccionan con los átomos de nitrógeno de la atmósfera para producir átomos de carbono-14 (C^{14}) o radiocarbono, que es inestable debido a la presencia de ocho neutrones en el núcleo en lugar de los seis habituales en el carbono corriente (C^{12}) (ver cuadro siguiente). Esta inestabilidad da lugar a su desintegración radiactiva a un ritmo constante. Libby calculó que la mitad del C^{14} de cualquier muestra tardaba 5.568 años en desintegrarse —su vida media— aunque recientes investigaciones indican que la cifra más exacta es de 5.730 años (por coherencia, los laboratorios utilizan todavía los 5.568 años para la vida media; la diferencia no importa demasiado ahora que tenemos una escala temporal radiocarbónica corregida: ver más adelante).

Libby se dio cuenta de que la desintegración del radiocarbono a un ritmo constante se equilibraría debido a su producción continua por la radiación cósmica y que, por tanto, la proporción de C^{14} de la atmósfera seguiría siendo la misma a lo largo del tiempo. Además, esta concentración atmosférica estable de radiocarbono se transmite de modo uniforme a todos los seres vivos a través del dióxido de carbono. Las plantas lo absorben durante la fotosíntesis y son consumidas por los animales herbívoros que, a su vez, son devorados por los carnívoros. Sólo cuando muere una planta o un animal cesa la absorción de C^{14} y su concentración comienza a descender debido a la desintegración radiactiva. De este modo, Libby comprendió que, conociendo el ritmo de desintegración, o vida media del C^{14} , se podría calcular la edad de una planta o un tejido animal muerto midiendo la cantidad de radiocarbono que quedara en una muestra.

El gran logro práctico de Libby consistió en diseñar un método preciso de medición. (Para empezar, las huellas de C^{14} son muy pequeñas y se reducen a la mitad después de 5.730 años. Por tanto, tras 23.000 años sólo se dispone, para su medición, de un dieciséisavo de la minúscula concentración del C^{14} de la muestra). Libby descubrió que cada átomo de C^{14} se desintegra emitiendo partículas beta y consiguió medir estas emisiones utilizando un contador Geiger. Ésta es la base del método convencional aplicado, aún hoy, por muchos laboratorios de radiocarbono. Las muestras suelen consistir en materiales orgánicos hallados en yacimientos arqueológicos, como carbón vegetal, madera, semillas y otros restos de plantas, y huesos humanos o animales. La medición exacta de la actividad del C^{14} en una



(Izquierda) El radiocarbono (carbono-14) se produce en la atmósfera y es absorbido por las plantas a través del dióxido de carbono y por los animales al alimentarse de plantas u otros animales. La absorción de C^{14} cesa cuando la planta o animal muere. (Derecha) Tras el fallecimiento, la cantidad de C^{14} se descompone a un ritmo conocido (el 50 % después de 5.730 años, etc.). La medición de la cantidad que queda en la muestra proporciona la fecha.

muestra es perjudicada por los errores de recuento, la radiación cósmica de fondo y otros factores que aportan incertidumbre a los cálculos. Esto significa que las fechas radiocarbónicas van acompañadas invariablemente de una tasa de error probable: la expresión \pm (desviación típica) inherente a toda fecha de radiocarbono (ver cuadro).

A finales de los años 70 y principios de los 80, se produjo un avance importante en el método convencional, con la introducción, en algunos laboratorios, de contadores especiales de gas capaces de hacer mediciones a partir de muestras muy pequeñas. En el método convencional se necesitan unos 5 g de carbón puro ya descontaminado, lo que significa una muestra original de unos 10-20 g de madera o carbón vegetal o 100-200 g de hueso. El equipo especial sólo precisa de unos pocos cientos de miligramos de carbón.

Varios laboratorios han adoptado ahora un método mucho más radical, la espectrometría del acelerador de partículas (AMS), que requiere muestras todavía más pequeñas. La AMS cuenta los átomos de C^{14} directamente, haciendo caso omiso de su radiactividad. Se reduce el tamaño mínimo de la muestra, por lo menos en principio, a sólo 5-10 mg —permitiendo de este modo que se muestreen y se fechen directamente materiales orgánicos valiosos, como la Sábana Santa de Turín (ver más adelante)—. Además, el lapso de tiempo fechable por radiocarbono puede aumentar, teóricamente, de 50.000 a 80.000 años utilizando la AMS, aunque resulta difícil de conseguir, debido en parte a la contaminación de la muestra.

La Corrección de Fechas Radiocarbónicas. Uno de los principios básicos del método radiocarbónico ha resultado no ser demasiado correcto. Libby dio por sentado que la concentración de C^{14} en la atmósfera había permanecido constante a lo largo del tiempo; pero hoy sabemos que ha variado, debido en gran parte a los cambios en el campo magnético terrestre. El método que demostró la inexactitud —la dendrocronología— también ha proporcionado los medios para corregir o calibrar las fechas radiocarbónicas.

Las fechas de radiocarbono obtenidas a partir de los anillos de los árboles demuestran que antes del 1000 AC, aproximadamente, las fechas expresadas en años radiocarbónicos son cada vez más jóvenes en relación a los años calendáricos reales. En otras palabras, antes del 1000 AC, los árboles (y todos los demás seres vivos) estaban expuestos a concentraciones mayores del C^{14} de la atmósfera de lo que lo están en la actualidad. Mediante la obtención sistemática de fechas de radiocarbono a partir de las largas series directoras del pino arista y el roble (ver páginas anteriores), los científicos han sido capaces de comparar las edades radiocarbónicas con las de los anillos de crecimiento (en años calendáricos) para elaborar curvas de calibración que se remontan al año 7000 AC, aproximadamente. La revista *Radiocarbon* publica las curvas más actualizadas. En principio, éstas permiten a los arqueólogos corregir una fecha radiocarbónica mediante su correlación con una fecha calendárica. Muy a grandes rasgos, las edades radiocarbónicas difieren cada vez más de las

LA PUBLICACIÓN DE FECHAS RADIOCARBÓNICAS

Los laboratorios de radiocarbono proporcionan un cálculo de edad basado en la medición de la cantidad de radiactividad de una muestra. Este nivel de actividad se traduce en una edad expresada en el número de años transcurridos entre la muerte de un organismo y la actualidad. Para evitar la confusión debida al hecho de que el "presente" avanza cada año, los laboratorios de radiocarbono han adoptado el año 1950 como su "presente" y todas las fechas radiocarbónicas se expresan en años BP o años antes del presente ("*before the present*"), que quiere decir antes de 1950. De este modo, en las publicaciones científicas, las fechas radiocarbónicas aparecen de esta forma:

3700 ± 100 BP (P 685)

La primera cifra es el año BP (es decir, antes de 1950 DC). Le sigue el error probable asociado, conocido como desviación típica (ver más adelante). Finalmente, el número de análisis del laboratorio va entre paréntesis. Cada laboratorio tiene su propia letra clave (p. ej., P para Filadelfia y Q para Cambridge, Inglaterra).

Como hemos visto, hay varios factores que impiden el cálculo exacto de la actividad radiocarbónica de una muestra y, en consecuencia, existe un error estadístico o desviación típica (que puede no haber sido calculada con exactitud; ver texto principal) asociada a todas las fechas radiocarbónicas. De este modo, cuando una fecha radiocarbónica se expresa como 3700 ± 100 BP, esto quiere decir que habría un 68% de probabilidades —dos de tres— de que el cálculo correcto de la fecha radiocarbónica se encontrase entre el 3800 y el 3600 BP. Dado que también existe una posibilidad entre tres de que la fecha correcta no entre en este intervalo, se aconseja a los arqueólogos que amplíen este último en dos desviaciones típicas, es decir, duplicar la desviación para que haya un 95 % de probabilidades de incluir la

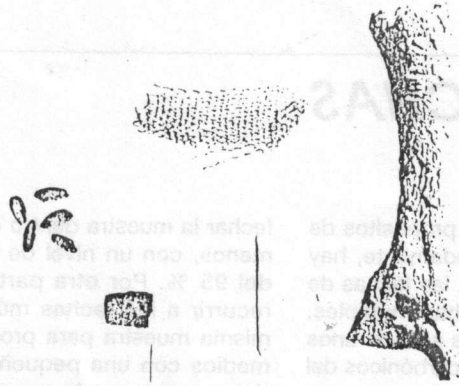
edad real. Por ejemplo, para una estimación del 3700 ± 100 BP, habrá un 95 % de posibilidades de que la fecha exacta se encuentre entre el 3900 (3700 + 200) y el 3500 (3700 - 200) BP. Sin duda, cuanto mayor sea la desviación típica, menos precisa será la fecha (y menos útil para aquellos que se ocupen de la prehistoria final o la época histórica). Por ejemplo, la escala de probabilidades al 95 % de una fecha del 3700 ± 150 BP abarca el período de tiempo que va del 4000 al 3400 BP, 200 años más que en una fecha expresada en ± 100 años.

La forma de las fechas arriba expuestas es un resultado del laboratorio. Representa la edad estimada sin corregir de la muestra y se basa en el supuesto —que ahora se considera erróneo— de que el nivel de radiocarbono producido en la atmósfera ha sido constante a lo largo del tiempo. Así, siempre que sea posible se deberán corregir las fechas radiocarbónicas en años calendáricos reales. Para aclarar si una fecha ha sido o no corregida, los arqueólogos suelen seguir una de estas dos convenciones en sus publicaciones:

| | Sin corregir | Corregido |
|--------------|--------------|------------|
| «científico» | BP | Cal. AC/DC |
| «histórico» | ac/dc | AC/DC |

La convención "científica" (utilizada y promovida por los laboratorios de radiocarbono) tiene la ventaja de ser muy clara, pero tiene el inconveniente de que no facilita la discusión de una fecha sin calibrar en años AC o DC. La convención "histórica" es menos incómoda y por este motivo es la preferida por la mayoría de los arqueólogos. Sin embargo, el modo de distinguir las fechas, utilizando simplemente abreviaturas en minúscula (ac/dc) y en mayúscula (AC/DC), es susceptible de incongruencias editoriales y errores de

impresión. Además, es importante (y difícil) recordar que una fecha sin calibrar del, digamos, 3500 ac no se ajusta a ningún sistema de cálculo en años del calendario ni es un siglo anterior al 3400 ac. Cuando el arqueólogo estudia la cronología absoluta en general —quizás utilizando el radiocarbono junto con otros métodos de datación, incluyendo el histórico— parece lógico emplear el sencillo sistema AC/DC, siempre que se haya tratado de corregir las fechas radiocarbónicas incorporadas a la cronología y que esto se haya hecho constar con claridad desde un principio.



Se pueden fechar muestras minúsculas mediante el método de la AMS: semillas carbonizadas, fragmentos de lienzo, huesos pequeños (metacarpiano), carbón vegetal.

idades reales antes del 1000 AC, de forma que para el 5000 AC, en años calendáricos, la edad radiocarbónica es 900 años más joven. Así, una fecha calculada en años radiocarbónicos del 4100 AC sería, una vez calibrada, del 5000, aproximadamente. Este retroceso de muchas fechas es lo que ha dado lugar a la Segunda Revolución Radiocarbónica (ver páginas anteriores).

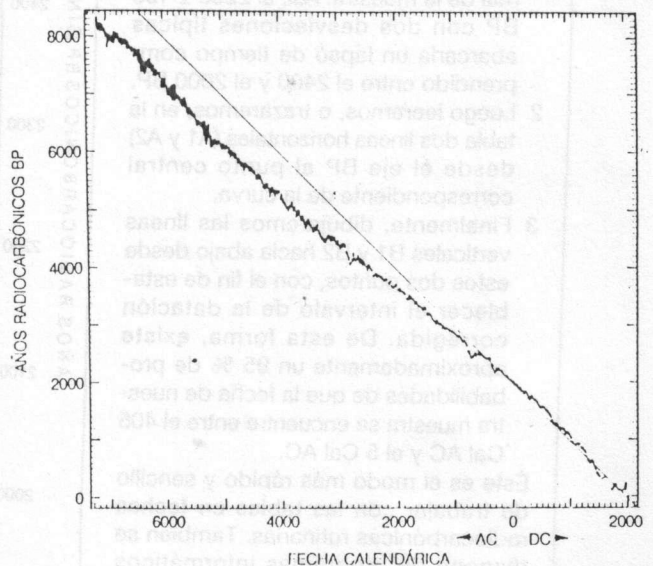
La corrección no es cuestión sencilla: hasta el 2500 AC, aproximadamente, la curva acreditada internacionalmente es la de Stuiver y Pearson (1986), pero para el período anterior se está determinando una curva que no va más allá del 1000-5000 AC. Por otra parte, hay oscilaciones a corto plazo en la curva y, de vez en cuando, secciones de la misma que discurren tan horizontalmente que dos muestras con la misma edad en años radiocarbónicos podrían, estar distanciadas por 400 años calendáricos, problema especialmente molesto para el período del 800-400 AC en años calendáricos. Para ser precisos, hay que calibrar no sólo la fecha radiocarbónica principal (p. ej., 2200 BP) sino también su desviación típica (2200 ± 100 BP), lo que dará lugar a un intervalo de edad en años calendáricos (ver cuadro). Algunos intervalos serán más restringidos y precisos que otros, dependiendo del punto en que la curva es cortada por los valores correspondientes a la desviación típica de la fecha radiocarbónica. El aspecto más importante es que se debería indicar, en cualquier publicación, si se ha corregido o no un resultado radiocarbónico y, si se ha hecho, con qué sistema o curva concretos.

Contaminación e Interpretación de Muestras Radiocarbónicas. Aunque las fechas de radiocarbono tienen ciertos márgenes inevitables de error intrínsecos al sistema, es probable que los cálculos erróneos procedan de un muestreo mal hecho y de una interpretación incorrecta por parte del arqueólogo, así como de unos procedimientos de laboratorio inadecuados.

Las principales causas de error en el campo son las siguientes:

1. *La contaminación antes del muestreo.* Los problemas de contaminación de la muestra en el terreno pueden ser serios. Por ejemplo, el agua del suelo de un yacimiento anegado puede disolver los materiales orgánicos y también depositarlos, cambiando de este modo su composición isotópica; la formación de concreciones minerales en torno a la materia orgánica también puede producir carbonato cálcico, carente por completo de radiocarbono, y aumentar falsamente la edad radiocarbónica aparente de un ejemplar, mediante una auténtica "disolución" del C^{14} existente. Estos problemas pueden atajarse en el laboratorio.

2. *La contaminación durante o después del muestreo.* Todas las muestras radiocarbónicas deberían ser cerradas herméticamente dentro de un envase limpio, como una bolsa de plástico, en el momento de su recogida. Deberían ser etiquetadas detalladamente en la parte exterior del recipiente; las etiquetas de cartón en el interior pueden ser una fuente importante de contaminación. Habría que colocar un envase dentro de otro: una bolsa de plástico bien cerrada, dentro de otra sellada independientemente, puede ser un procedimiento acertado para la mayoría de los materiales. Pero las muestras de carbón o madera que puedan conservar alguna estructura de anillos de crecimiento deberían ser almacenadas en un recipiente sólido. Siempre que sea posible se excluirá cualquier carbón moderno, como el papel, que puede resultar fatal. Sin embargo, no siempre se pueden evitar las raíces modernas o la tierra: en ese caso, es mejor



Curva de corrección del radiocarbono de Stuiver y Pearson, basada en el roble irlandés. La línea recta indica la escala ideal 1:1 entre la fecha radiocarbónica y la calendárica.

CÓMO CORREGIR LAS FECHAS RADIOCARBÓNICAS

Aunque los laboratorios de radiocarbono suelen proporcionar fechas corregidas de sus muestras, muchas veces los propios arqueólogos deben hacerlo ellos mismos recurriendo, por lo general, a una tabla de calibración. La curva de calibración dendrocronológica que aparece en el diagrama ilustra la relación existente entre los años radiocarbónicos (BP) y las muestras de anillos de crecimiento fechadas en años calendáricos reales (Cal AC/DC). La línea central de la curva se corresponde con la estimación media de la fecha, mientras que las otras dos indican el margen de error probable de su desviación típica. Para calcular el intervalo temporal corregido de una muestra de radiocarbono, fechada en el 2200 ± 100 BP, debemos dar los pasos siguientes:

- 1 En primer lugar, transformaremos la datación radiocarbónica en un marco de tiempo definido por dos desviaciones típicas, asegurando así el 95 % de probabilidades de que el intervalo corregido incluya la fecha real de la muestra. Así, el 2200 ± 100 BP con dos desviaciones típicas abarcaría un lapso de tiempo comprendido entre el 2400 y el 2000 BP.
- 2 Luego leeremos, o trazaremos, en la tabla dos líneas horizontales (A1 y A2) desde el eje BP al punto central correspondiente de la curva.
- 3 Finalmente, dibujaremos las líneas verticales B1 y B2 hacia abajo desde estos dos puntos, con el fin de establecer el intervalo de la datación corregida. De esta forma, existe aproximadamente un 95 % de probabilidades de que la fecha de nuestra muestra se encuentre entre el 405 Cal AC y el 5 Cal AC.

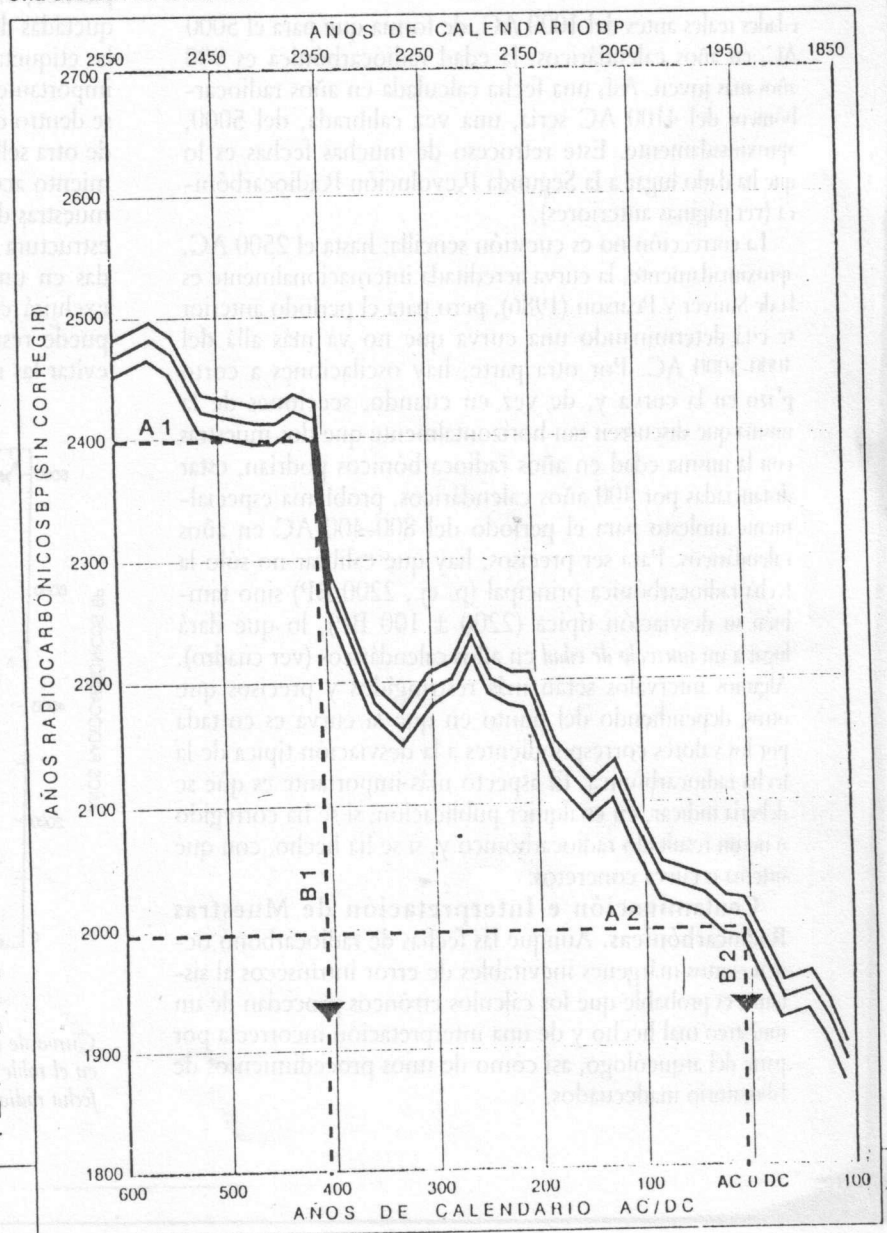
Éste es el modo más rápido y sencillo de trabajar con las tablas en fechas radiocarbónicas rutinarias. También se dispone de programas informáticos para conversiones algo más precisas (aunque no significativamente).

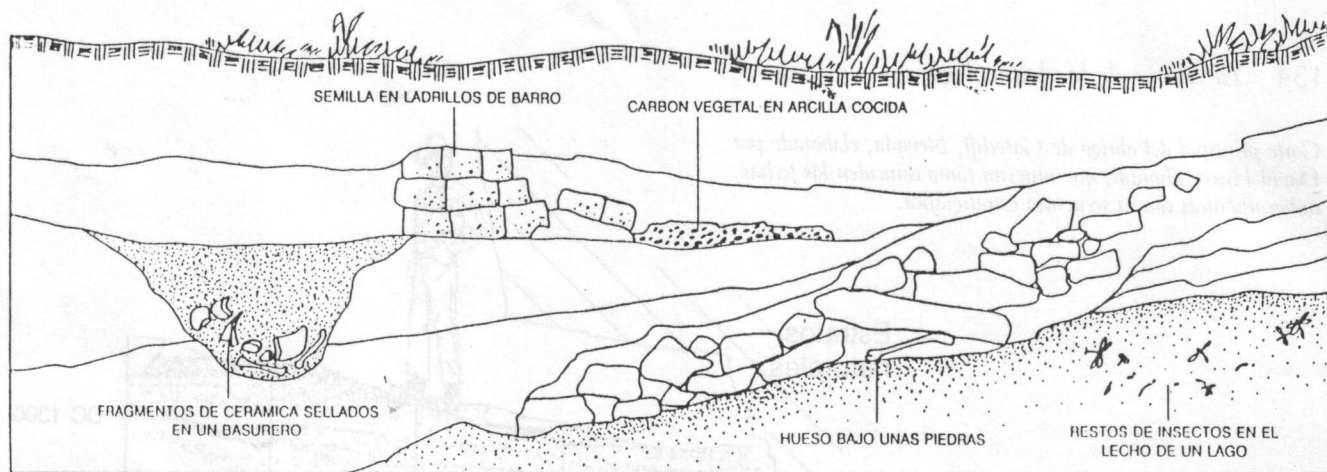
Salta a la vista que un intervalo temporal corregido del 405 Cal AC al 5 Cal AC resulta demasiado amplio para ser

útil en la mayoría de los propósitos de la arqueología. Afortunadamente, hay dos formas de reducirlo: las fechas de alta precisión y las fechas múltiples. Las primeras, asequibles sólo en unos pocos laboratorios radiocarbónicos del mundo, pueden dar dataciones con un error realista de ± 20 años que, tras su calibración, permite, por lo general,

fechar la muestra dentro de un siglo o menos, con un nivel de probabilidad del 95 %. Por otra parte, se puede recurrir a las fechas múltiples de la misma muestra para producir valores medios con una pequeña desviación típica —esperando que el laboratorio haya medido con precisión las desviaciones típicas de las fechas rutinarias.

Una sección de la curva de calibración de Stuiver y Pearson (1986).





Las muestras para la datación radiocarbónica deberían obtenerse, cuando fuese posible, en el tipo de contextos aquí expuestos —donde el material a fechar haya quedado sellado en un nivel estable—. El excavador debe determinar con claridad el contexto estratigráfico de la muestra antes de que el material sea enviado al laboratorio para su datación.

incluirlas, junto con una nota para el laboratorio, donde se puede resolver el problema.

La posterior aplicación de cualquier material orgánico —como el pegamento o la cera de carbón— también es nefasta (aunque el laboratorio puede ser capaz de remediar el desastre). Dado que el proceso de la fotosíntesis continúa en la muestra, se deben almacenar en la oscuridad los recipientes más importantes. No es raro encontrarse con un mantillo verde en las bolsas de muestras de algunos proyectos. Indica automáticamente la contaminación de la misma.

3. *El contexto de deposición.* La mayoría de los errores en la datación radiocarbónica surgen porque el excavador no ha comprendido por completo los procesos postdeposicionales del contexto en cuestión. A no ser que se sepa cómo llegó el material orgánico a la posición en que fue hallado y cómo y cuándo (en relación al yacimiento) quedó sepultado, es imposible realizar una interpretación exacta. La primera norma de la datación radiocarbónica debe ser que el excavador no someta una muestra a datación a no ser que esté seguro de su contexto arqueológico.

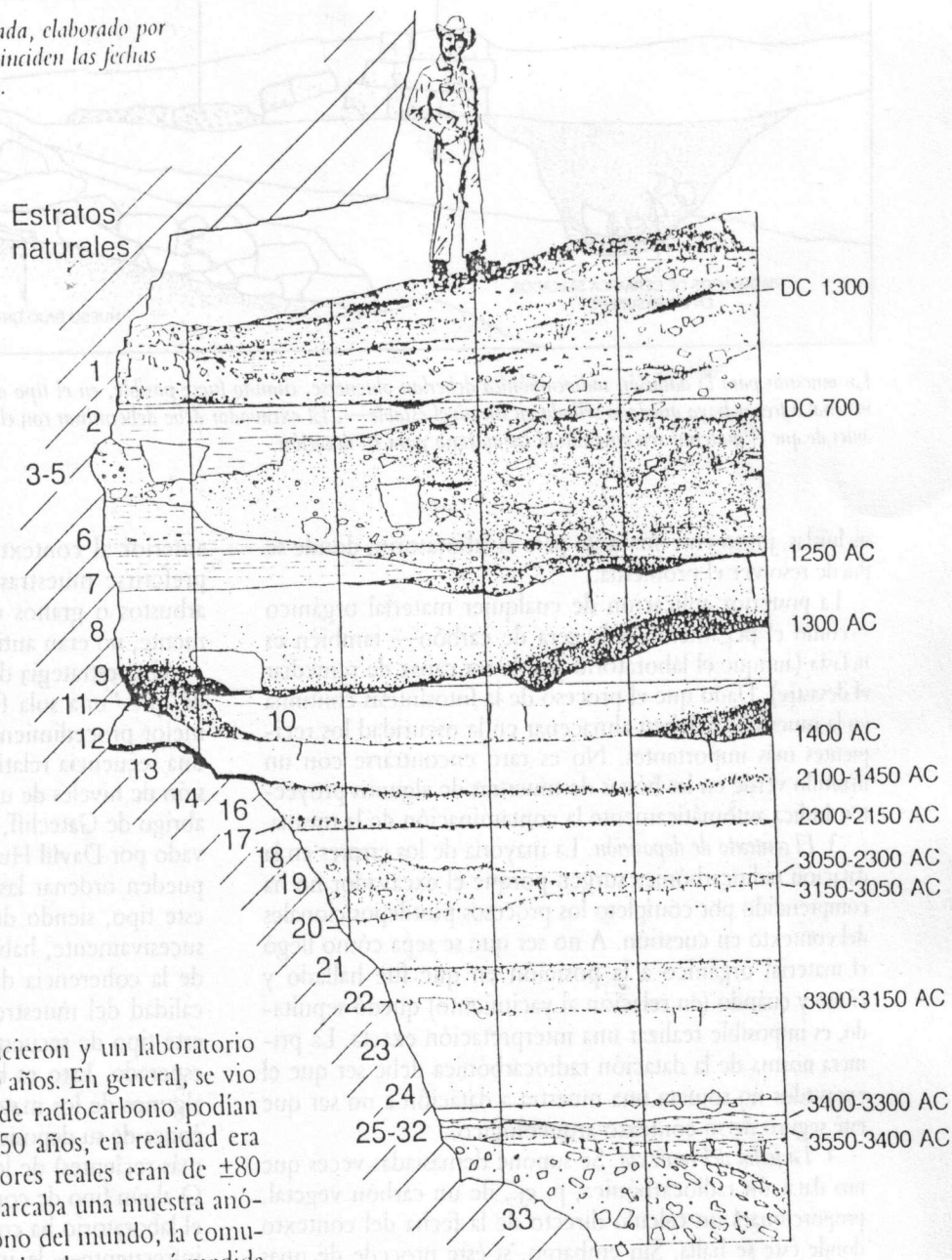
4. *La fecha del contexto.* Se supone demasiadas veces que una datación radiocarbónica, p. ej., de un carbón vegetal, proporcionará un cálculo directo de la fecha del contexto donde éste se halla. Sin embargo, si éste procede de unas vigas de techo que podían haber tenido una antigüedad de varios siglos cuando se destruyeron por el fuego, entonces se está fechando una construcción primitiva, no el contexto de su destrucción. Existen numerosos ejemplos de este tipo de problema, uno de los más notables es la reutilización de esos troncos o incluso de madera fósil (p. ej., el “roble de turbera”), cuya fecha radiocarbónica podría ser varios siglos

anterior al contexto en cuestión. Por esta razón, suelen preferirse muestras con una vida corta, como ramas de arbustos o granos de cereal carbonizados que, probablemente, no eran antiguos en el momento de su deposición.

Una estrategia de muestreo recordará el acertado dicho de que “una sola fecha no fecha”: se necesitan varias. El mejor procedimiento de datación consiste en trabajar con una secuencia relativa interna —por ejemplo, con la sucesión de niveles de un yacimiento bien estratificado, como el abrigo de Gatecliff, en el Monitor Valley de Nevada, excavado por David Hurst Thomas y sus colaboradores—. Si se pueden ordenar las muestras en una secuencia relativa de este tipo, siendo de fecha más antigua los inferiores y así sucesivamente, habrá entonces una comprobación interna de la coherencia de los resultados del laboratorio y de la calidad del muestreo de campo. Algunas de las fechas de este tipo de secuencias pueden resultar más antiguas de lo esperado. Esto es bastante lógico —como ya explicamos, algunos de los materiales pueden haber sido “viejos” en la época de su deposición—. Pero si son más jóvenes (es decir, más recientes) de lo que se pensaba, entonces algo va mal. O algún tipo de contaminación ha afectado a las muestras, o el laboratorio ha cometido un error grave o —lo que no es infrecuente— la interpretación estratigráfica está equivocada.

Aunque se pueden atribuir muchos de los problemas de las fechas radiocarbónicas al solicitante, datos recientes sugieren que son los propios laboratorios de radiocarbono los que pueden sobrestimar la precisión de sus fechas. En un estudio comparativo, más de 30 laboratorios analizaron la misma muestra. Mientras unos calcularon su error con una

Corte principal del abrigo de Gatecliff, Nevada, elaborado por David Hurst Thomas, que muestra cómo coinciden las fechas radiocarbónicas con la secuencia estratigráfica.



exactitud razonable, otros no lo hicieron y un laboratorio cometió errores sistemáticos de 200 años. En general, se vio que, aunque algunos laboratorios de radiocarbono podían alcanzar niveles de precisión de ± 50 años, en realidad era más prudente asumir que sus errores reales eran de ± 80 años o más. Como este estudio abarcaba una muestra anónima de laboratorios de radiocarbono del mundo, la comunidad arqueológica no tiene forma de saber en qué medida hay que subestimar los errores o cuál es la alteración sistemática de las fechas radiocarbónicas de algunos laboratorios. Sería mejor recomendar a los arqueólogos que tratasen a los laboratorios de radiocarbono como a los proveedores de cualquier otro tipo de servicio y que comprobasen la exactitud y la precisión prometidas en los datos que proporcionan. Muchos laboratorios conocen sus desviaciones anteriores y se les podría pedir que proporcionasen errores nuevos y más reales para sus dataciones previas.

Aplicaciones: El Impacto de la Datación Radiocarbónica. Si queremos responder a la pregunta "¿Cuán-

do?" en arqueología, el radiocarbono ha proporcionado, sin duda, el método más útil de hallar una respuesta. La mayor ventaja es que puede ser utilizado en cualquier parte y cualquier clima, mientras haya material de origen orgánico (es decir, vivo). El método funciona igual de bien en Sudamérica y Polinesia que en Egipto o Mesopotamia y nos traslada a 50.000 años atrás y, potencialmente hasta 80.000 utilizando la técnica de la espectrometría del acelerador de partículas (AMS) —aunque, por lo que respecta al otro

extremo de la escala temporal, es demasiado impreciso para ser útil en los 400 años del pasado más reciente.

El empleo del método en un yacimiento concreto ya ha sido ejemplificado al referirnos al abrigo de Gatecliff, Nevada. A mayor escala, el radiocarbono ha sido incluso más importante para establecer, por vez primera, cronologías generales de las culturas del mundo que carecían antes de escalas temporales propias (como los calendarios). La corrección del radiocarbono ha incrementado —no disminuido— este éxito. Como vimos en el apartado anterior sobre Calendarios y Cronologías Históricas, la calibración ha ayudado a confirmar la validez de una cronología radiocarbónica independiente para la Europa prehistórica, libre de vínculos falsos con la cronología histórica egipcia.

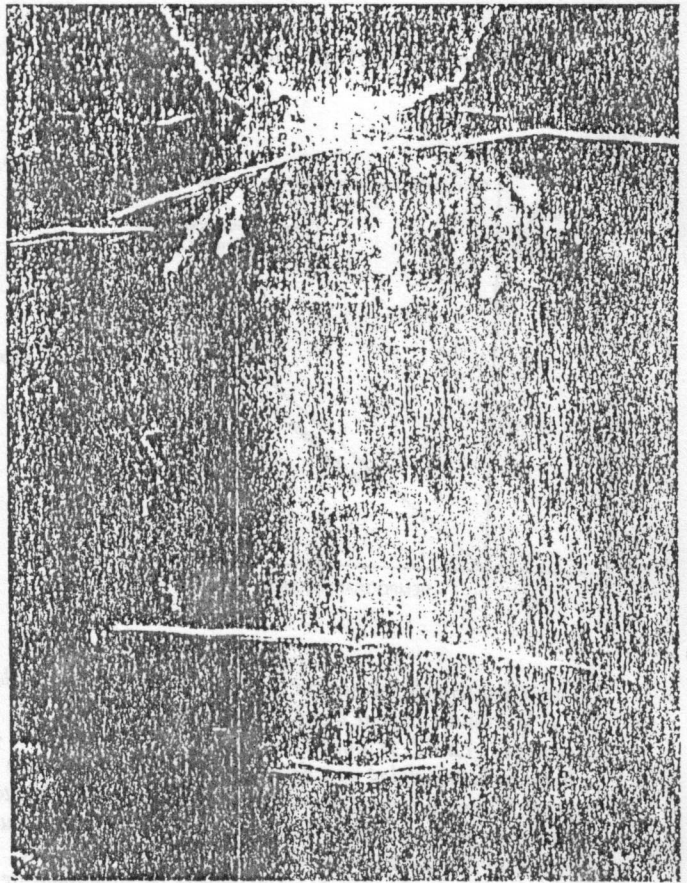
En la actualidad, la datación radiocarbónica mediante la técnica de la AMS está creando nuevas posibilidades. Por primera vez se pueden fechar objetos preciosos y obras de arte, debido a que todo lo que se necesita son muestras diminutas. En 1988, la datación por AMS resolvió la antigua controversia sobre la edad de la Sábana Santa de Turín, un trozo de lienzo con la imagen de un hombre que muchos creían sinceramente ser la impronta del cuerpo de Cristo. Laboratorios de Tucson, Oxford y Zurich la situaron en el siglo XIV DC, en absoluto en la época de Cristo. Además, ahora es posible fechar un simple grano de trigo o una semilla de fruta. Una lectura de AMS de una pepita de uva procedente de Hambledon Hill, en el sur de Gran Bretaña, demuestra que las uvas —y, probablemente, también las vides— habían llegado a esta zona del mundo en torno al 3500 AC en años calendáricos, más de 3000 años antes de lo que se había supuesto hasta entonces.

Posiblemente el radiocarbono seguirá conservando su puesto como la herramienta de datación más importante para los materiales orgánicos de los últimos 50.000 a 80.000 años. Sin embargo, para los materiales inorgánicos, la termoluminiscencia se está convirtiendo en una técnica nueva muy útil.

La Datación por Termoluminiscencia

La termoluminiscencia (TL) tiene dos ventajas sobre el radiocarbono: puede fechar cerámica, el material inorgánico más abundante en los yacimientos arqueológicos de los últimos 10.000 años; y puede, en principio, fechar materiales orgánicos (como el sílex quemado) de hasta 50.000-80.000 años de antigüedad, el límite del radiocarbono. Pero la TL es menos precisa que éste en la exactitud de sus fechas.

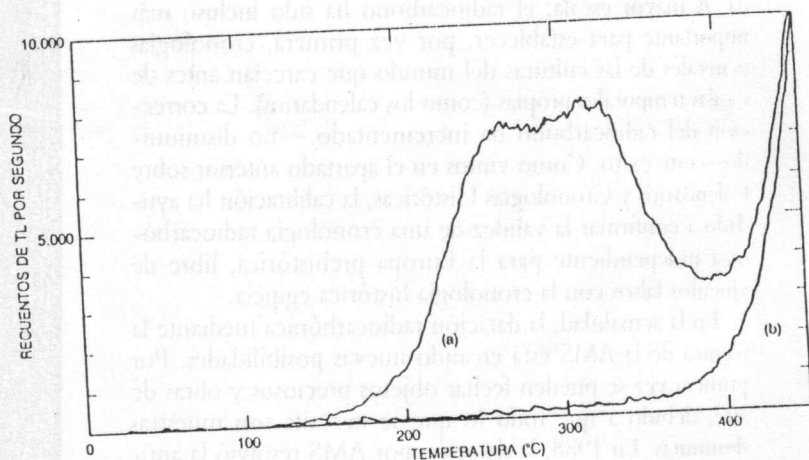
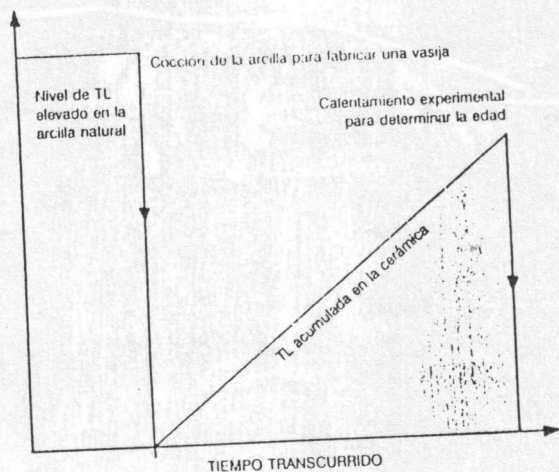
Bases del Método. Los materiales con una estructura cristalina, como la cerámica (alfarería y terracota), contienen pequeñas cantidades de elementos radiactivos, sobre todo de uranio, torio y potasio radiactivo. Éstos se desintegran a



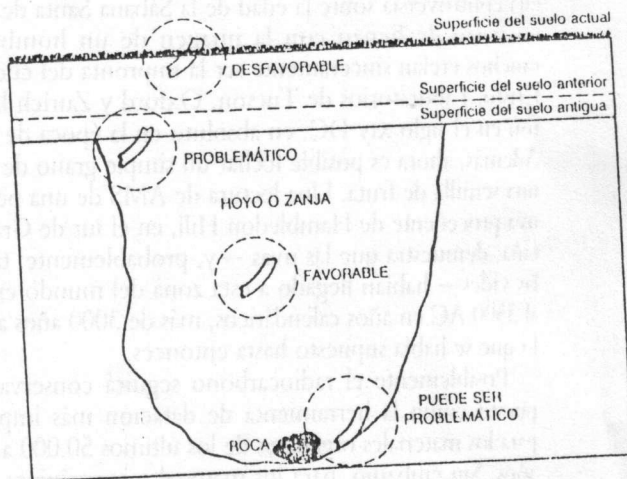
Vista parcial de la Sábana Santa de Turín, que reproduce la imagen de la cabeza de un hombre. La datación radiocarbónica de la AMS, una vez corregida, ha dado como resultado un intervalo temporal para el lienzo del 1260-1390 DC.

un ritmo constante y conocido, emitiendo radiaciones alfa, beta y gamma que bombardean la estructura cristalina y desplazan a los electrones, que quedan atrapados entonces en grietas de la red cristalina. A medida que pasa el tiempo, quedan aprisionados cada vez más electrones. Sólo cuando se calienta el material rápidamente a 500 °C o más, pueden escapar los electrones retenidos, reajustando el reloj a cero y, mientras lo hacen, emiten una luz conocida como termoluminiscencia.

En el caso de la cerámica, el reloj de la TL se habrá puesto a cero cuando fue cocida. Midiendo la cantidad de TL emitida al calentar una muestra a 500 °C o más, se puede calcular la edad del objeto desde su primera cocción. Para dar con la fecha, hay que medir el contenido radiactivo de la muestra. Además hay que establecer la capacidad de atrapar electrones en la misma, sometiéndola en el laboratorio a una dosis de radiación conocida, calentándola a unos 500 °C y midiendo entonces la emisión de TL.



Datación por termoluminiscencia. (Arriba a la izquierda) El reloj de TL de la cerámica se pone a cero cuando se cuece la vasija por primera vez. La TL se acumula hasta que se vuelve a calentar el cacharro en la actualidad para determinar su edad. (Arriba a la derecha) Curvas de termoluminiscencia observadas en el laboratorio. La curva (a) representa la luz emitida cuando se calienta la muestra por primera vez. La curva (b) es la luz no termoluminiscente registrada durante un segundo cualquier muestra). La luz adicional observable cuando se calienta cualquier muestra. La luz adicional emitida por primera vez es la TL que se quiere medir para determinar una fecha. (Derecha) Situaciones favorables y desfavorables en las muestras de TL. Por ejemplo, los resultados serán inexactos si la roca o subsuelo próximos a la muestra del fondo tienen un nivel de radiactividad apreciablemente distinto del que tiene el relleno del foso o zanja.

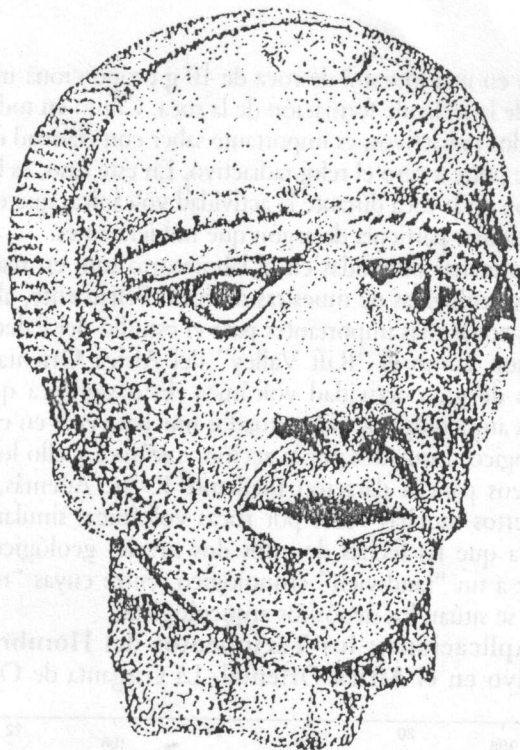


Es vital distinguir la radiactividad procedente de las impurezas del interior de la muestra, que es la base de la datación por TL, de aquella originada en fuentes tales como el suelo que la rodea. En condiciones ideales, la radiactividad del suelo se mide en el yacimiento enterrando una pequeña cápsula que contenga un material sensible a la radiación y que se deja allí durante, aproximadamente, un año. Donde esto no resulte posible, puede hacerse una determinación más rápida empleando un contador de radiaciones, o recoger muestras de suelo en bolsas de plástico y enviarlas al laboratorio junto con el objeto a datar. Cuando no se puede determinar la radiactividad del entorno inmediato, por ejemplo, para un objeto que no está *in-situ*, la fecha de TL es mucho menos exacta.

Aplicaciones. Un buen ejemplo de la aplicación arqueológica de la TL lo constituye la datación de una terracota conocida como la cabeza de Jemaa, procedente del aluvi6n de un mina de esta6n cerca de la meseta de Jos, en Nigeria. La cabeza y otros ejemplares similares pertenecen a

la cultura Nok, pero estas esculturas no podían ser fechadas con precisión en el yacimiento epónimo, debido a la inexistencia de una fecha radiocarbónica verosímil. Un análisis de TL de la cabeza la situó en el año 1520 ± 260 AC, permitiendo que ésta y otras cabezas de terracota similares obtuvieran, por primera vez, una cronología firme.

El desarrollo del método de la TL tiene un potencial incluso mayor para fechar artefactos elaborados hace más de 50.000 años (más allá del límite básico del radiocarbono). En esta época tan antigua no aparece cerámica ni hay artefactos de arcilla cocida. Pero el método se puede aplicar a los materiales líticos con una estructura cristalina, siempre que fuesen calentados, en el momento de su elaboración, a una temperatura en torno a los 500 °C. De esta forma, la piedra emite TL geológica y el reloj se reajusta a cero. Por consiguiente, la medición de su edad en TL fecha en realidad su uso arqueológico. En la práctica, el sílex quemado ha resultado ser un material muy esclarecedor. Por ejemplo, en Francia el método ha sido utilizado para datar útiles de



Cabeza de terracota de Jemaa, Nigeria, perteneciente a la cultura Nok. Una lectura de TL de la edad de la escultura ha proporcionado la primera fecha fiable para esta y otras terracotas procedentes de la región Nok. Altura 23 cm.

sílex de tipo Musteriense, encontrados en yacimientos ocupados por el hombre de Neanderthal (*Homo sapiens neanderthalensis*) en el Paleolítico Medio. La mayoría de las fechas se sitúan entre los 70.000 y los 40.000 años de antigüedad. Pese a lo limitado de su precisión, las fechas establecen un patrón muy útil de los instrumentos, que ha permitido mejorar nuestro conocimiento del Paleolítico Medio francés.

Hélène Valladas y sus colegas también han aplicado el método de la TL para fechar los útiles de sílex empleados en momentos diferentes tanto por los Neanderthales como por los primeros hombres de apariencia moderna (el *Homo sapiens sapiens*). Su investigación en las cuevas de Israel indica, de modo controvertido y un tanto sorprendente, que los Neanderthales llegaron a la zona decenas de miles de años después que los primeros humanos anatómicamente modernos. Esto, y otros trabajos afines, implican que los Neanderthales no fueron nuestros antepasados directos.

Además del material lítico calentado en épocas pasadas, se pueden obtener fechas de TL a partir de los sedimentos y los depósitos de carbonato cálcico de las cuevas (p. ej., las

estalagmitas y los travertinos), con los que se asocian los artefactos. En cuanto a los sedimentos, el reloj de TL se pone a cero al blanquearse con la luz en el momento en el que se depositan. Por lo que respecta al carbonato cálcico, la TL se empieza a acumular desde el instante en que el carbonato disuelto cristaliza para formar el depósito. La datación por TL ha demostrado, por ejemplo, que el suelo estalagmítico del yacimiento en cueva del Paleolítico Inferior de Caune de l'Arago, en el sur de Francia, se formó hace unos 350.000 años.

También existe una aplicación especial de la datación por TL: la identificación de objetos falsos de cerámica y terracota. La TL puede distinguir con facilidad una antigüedad genuina de una falsificación hecha en los últimos 100 años.

Limitaciones. La termoluminiscencia sigue teniendo varios problemas y sus fechas pocas veces tienen un margen de error inferior al 10 %. Sin embargo, el método de la TL es, por lo general, el más útil en aquellas circunstancias en que no se puede aplicar la datación radiocarbónica, bien por que no se disponga de muestras orgánicas adecuadas o porque el yacimiento esté fuera del radio de acción del radio-carbono.

La Resonancia Electrónica del "Spin"

En los últimos años se ha llegado a disponer de un método nuevo, la resonancia electrónica del "spin" (ESR), que permite contar los electrones atrapados en un hueso o una concha sin el calentamiento que precisa la técnica de la termoluminiscencia. Como en la TL, el número de electrones atrapados indica la edad del ejemplar. En el nuevo método, el objeto a datar se coloca dentro de un fuerte campo magnético. La energía absorbida por el objeto a medida que varía la fuerza del campo magnético proporciona un espectro a partir del cual se puede contar la cantidad de electrones atrapados. Este método tiene la ventaja sobre la TL de que no es destructivo. También necesita sólo muestras muy pequeñas, de menos de 1 g. Por otra parte, es menos sensible que la TL y no tan asequible.

La ESR ya ha demostrado su utilidad al ayudar a resolver la controversia que rodeaba la fecha de un cráneo hallado en 1959 en la Cueva de Petralona, en el norte de Grecia. La calcita ósea dio una fecha de 198.000 ± 40.000 años y el propio hueso otra de 127.000 ± 35.000 años. La reciente fecha del hueso se considera errónea debido a la recristalización desde su enterramiento, y parece haberse establecido una edad en torno a los 200.000 años para este polémico ejemplar. Aunque está todavía en sus primeras fases de desarrollo, es probable que la ESR se confirme en el futuro como una poderosa herramienta de datación, especialmen-

te para las muestras de huesos y dientes que se salgan del radio de acción de la datación radiocarbónica.

La Datación Mediante Potasio-Argón

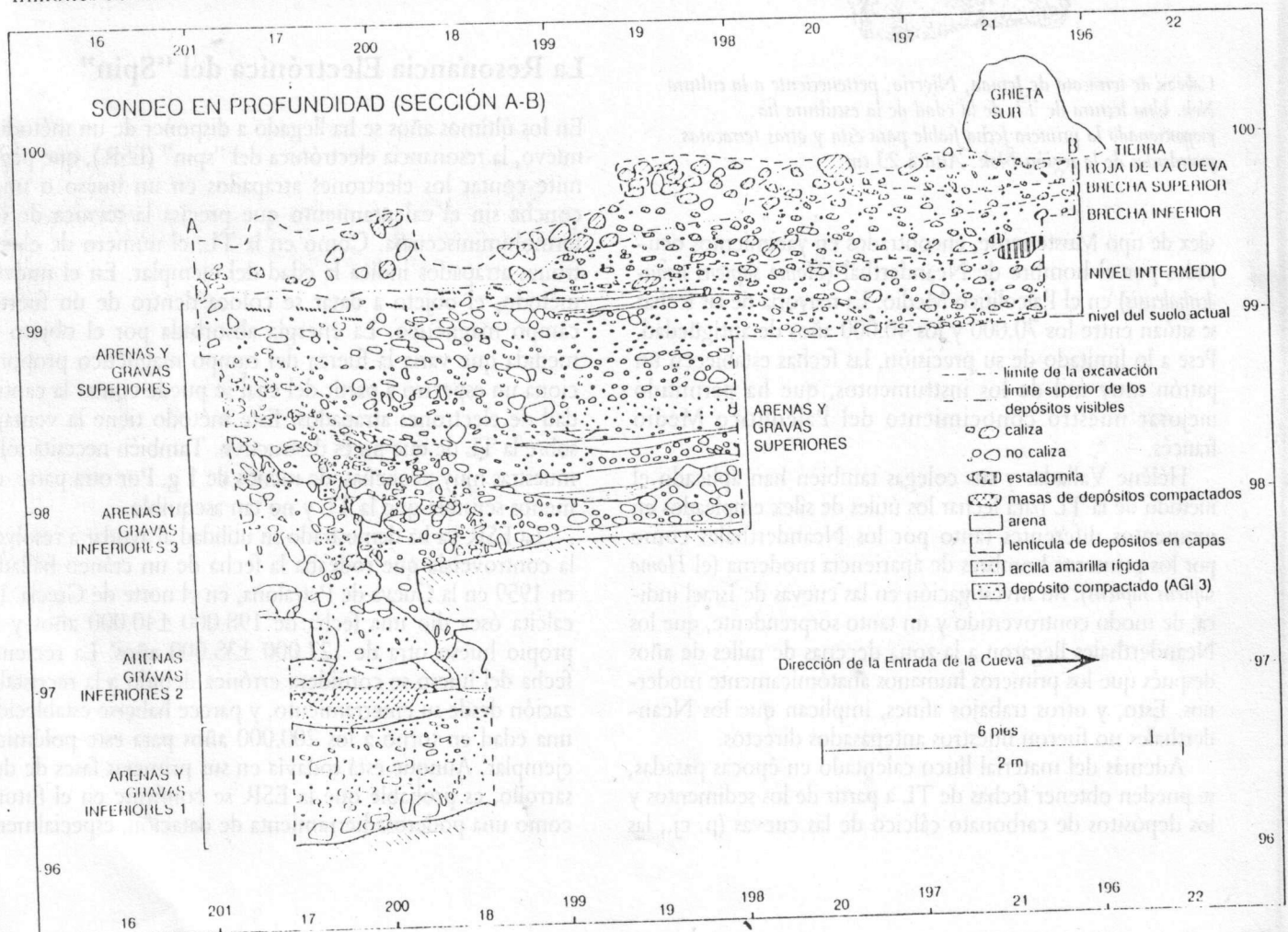
Los geólogos utilizan el método del potasio-argón (K-Ar) para fechar rocas de cientos e incluso miles de millones de años de antigüedad. También es una de las técnicas más adecuadas para datar yacimientos del hombre primitivo (homínidos) de África, que pueden llegar a los 5 millones de años. Se limita a las rocas volcánicas con una antigüedad no menor de, aproximadamente, 100.000 años.

Bases del Método. La datación mediante el potasio-argón, como la radiocarbónica, se basa en el principio de la desintegración radiactiva: en este caso, la lenta transformación del isótopo radiactivo potasio-40 (K^{40}) en el gas inerte argón-40 (Ar^{40}) dentro de las rocas volcánicas. Conociendo el ritmo de descomposición del K^{40} —su vida media ronda los 1300 millones de años— la medición de la cantidad de Ar^{40} con-

tenida en una muestra de roca de 10 g proporciona un cálculo de la fecha de formación de la roca. Como en todos los métodos radiactivos, es importante saber con claridad qué es lo que pone a cero el reloj radiactivo. En este caso, es la formación de la roca durante la actividad volcánica, que expulsa cualquier partícula de argón que hubiera antes.

Las fechas obtenidas en el laboratorio son, en realidad, fechas geológicas de muestras de roca. Felizmente, algunas de las zonas más importantes para el estudio del Paleolítico Inferior, como el "Rift Valley" del África Oriental, son zonas de gran actividad volcánica. Esto significa que los restos arqueológicos están situados muchas veces en estratos geológicos formados por la acción volcánica y ello los hace idóneos para la datación mediante K-Ar. Además, están cubiertos muchas veces por rocas volcánicas similares, de forma que las fechas de estos dos niveles geológicos dan lugar a un "sandwich" cronológico, entre cuyas "rebanadas" se sitúan los depósitos arqueológicos.

Aplicaciones: los Yacimientos del Hombre Primitivo en el África Oriental. La Garganta de Olduvai,



en Tanzania, es uno de los yacimientos más importantes para el estudio de la evolución de los homínidos, ya que ha proporcionado restos fósiles de *Australopithecus (Paranthropus) boisei*, *Homo habilis* y *Homo erectus* (ver pp. 148, 149) así como gran cantidad de artefactos líticos y huesos. Situada en el "Rift Valley", Olduvai es una zona volcánica, y su cronología de 2 millones de años se ha establecido con seguridad mediante la datación de K-Ar de los depósitos de ceniza volcánica endurecida (toba) y de otros materiales entre los que aparecen los restos arqueológicos (ver cuadro siguiente) El método de K-Ar también ha sido de enorme importancia en la datación de otros yacimientos antiguos del África Oriental, como el de Hadar, en Etiopía.

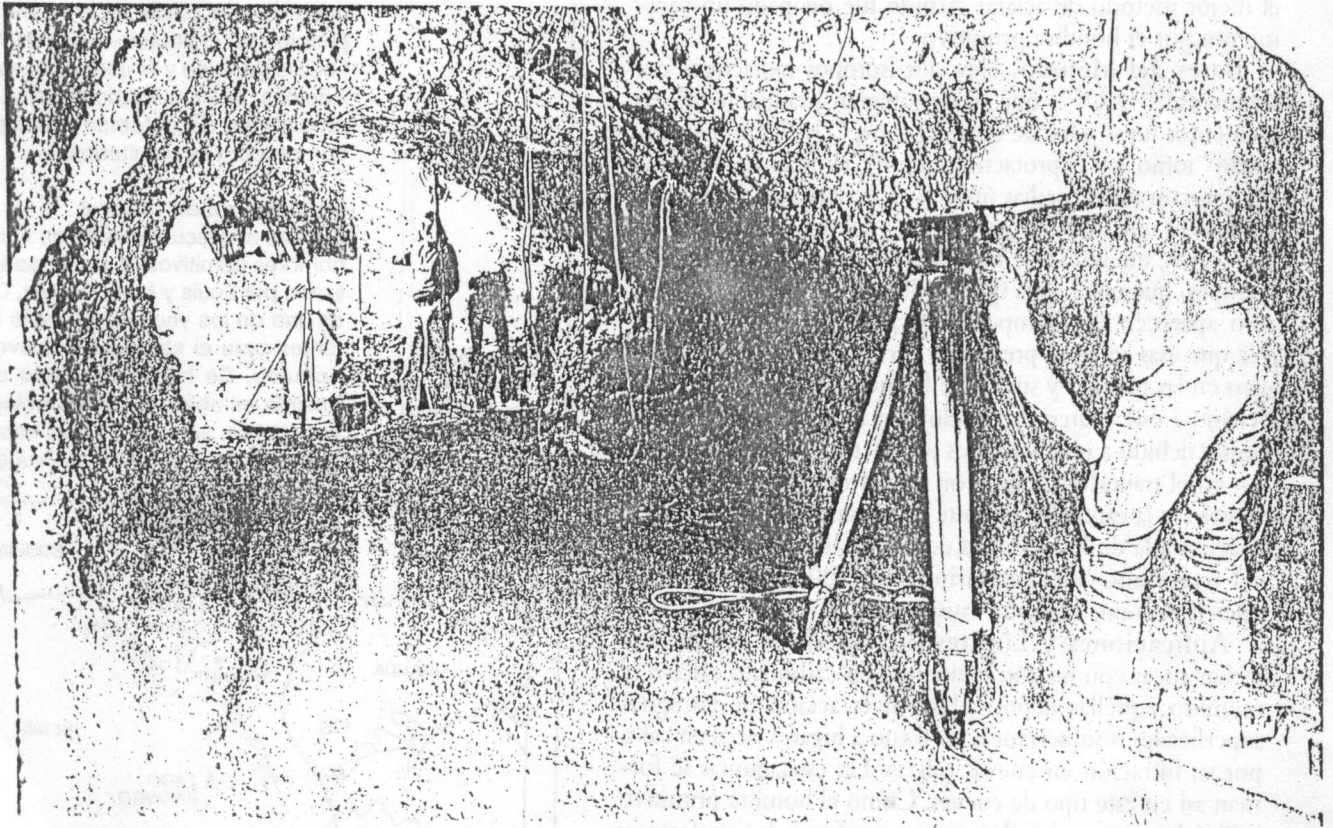
Limitaciones. Los resultados de la datación mediante K-Ar van acompañados, por lo general, de un margen de error, como en el caso de otros métodos basados en la radiactividad. Por ejemplo, la fecha de la Toba IB de Olduvai se ha calculado en $1,79 \pm 0,03$ millones de años. Un margen de error de 30.000 años parece, en un principio, muy grande,

pero de hecho es sólo del orden del 2 % de la edad total. (Hay que señalar que en este como en otros casos, el cálculo de error se refiere al proceso de recuento del laboratorio y no pretende evaluar otras fuentes de inexactitud motivadas por las diversas condiciones químicas de la deposición o por las incertidumbres de la interpretación arqueológica.)

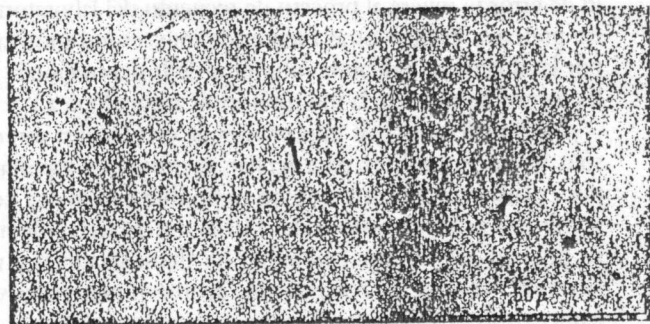
Las limitaciones más importantes de esta técnica son que sólo se puede utilizar para fechar yacimientos sepultados por coladas volcánicas y que no es posible casi nunca conseguir una precisión mayor del ± 10 %. La datación mediante potasio-argón, sin embargo, ha demostrado ser una herramienta clave en zonas donde aparecen materiales volcánicos apropiados.

La Datación mediante las Series del Uranio

Éste es un método basado en la desintegración radiactiva de los isótopos del uranio. Ha resultado ser especialmente útil



La datación por las series del uranio y la Cueva de Pontnewydd, Gales del Norte (izquierda, corte en profundidad; sobre estas líneas, la toma de mediciones en la cueva). La brecha inferior contenía la mayor parte de los hallazgos arqueológicos de este importante yacimiento paleolítico, incluyendo restos de homínidos, como un diente de Neandertal. El método de las series del uranio reveló que una estalagmita de la brecha tenía una antigüedad de más de 220.000 años. Un análisis de TL de la misma estalagmita confirmó este resultado, así como otra prueba de TL sobre un núcleo de sílex quemado —procedente de un estrato inmediatamente inferior a la brecha— que dio una edad cronológicamente coherente de 200.000 ± 25.000 años.



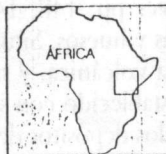
Ejemplos de huellas de fisión, tras ser tratadas con un ácido.

para el período 500.000-50.000 BP, que cae fuera del ámbito del radiocarbono. En Europa, donde hay escasas rocas volcánicas adecuadas para la datación por la técnica del potasio-argón, las series del uranio (series-U) pueden ser el mejor método de aclarar cuándo fue ocupado un yacimiento por el hombre primitivo.

Bases del Método. Hay dos isótopos radiactivos del uranio (U^{238} y U^{235}) que se desintegran gradualmente en elementos hijos. Dos de éstos, el torio (Th^{230} , también llamado "ionio") y el protactinio (Pa^{231}), también se descomponen, con vidas medias útiles para la datación. El aspecto esencial es que los isótopos "padres" del uranio son solubles en el agua, mientras que los hijos no. Esto quiere decir, por ejemplo, que en el agua que se filtra en las cuevas de caliza, sólo aparecen los isótopos de uranio. Sin embargo, una vez que esas aguas se precipitan para formar carbonato cálcico en las paredes y suelos de la cueva (suele llamarse travertino a este material), el reloj radiactivo empieza a funcionar debido a que ahora los productos hijos están atrapados en el travertino junto con los isótopos padres. Cuanta mayor sea la cantidad existente de productos subsidiarios en relación a la de los isótopos de uranio, mayor será la edad del travertino. Son necesarios unos 100 g de carbonato cálcico para una datación satisfactoria.

Aplicaciones y Límites. El método se utiliza para fechar rocas con un alto contenido en carbonato cálcico, a menudo aquéllas depositadas por la acción de las aguas superficiales o subterráneas en torno a lugares ricos en cal o por su filtración en cuevas calizas. Las estalagmitas se forman así en este tipo de cuevas. Como el hombre primitivo utilizó las grutas y los abrigos como refugio, los artefactos y huesos quedaron incrustados a menudo en una capa de carbonato cálcico o en otro tipo de sedimentos entre dos niveles de depósitos calcáreos.

La dificultad de determinar el orden correcto de deposición en una cueva es una de las razones por las que el método de las series-U tiende a dar resultados ambiguos. Por este y otros motivos, hay que muestrear varios niveles de depósitos en una cueva y examinar meticulosamente su



LA DATACIÓN DE NUESTROS ANTEPASADOS AFRICANOS

En el siglo XIX, Charles Darwin creía firmemente que el origen del hombre se encontraba en África y el siglo XX ha demostrado que tenía razón. Nuestros antepasados primitivos han sido descubiertos en varios yacimientos del este y sur de África (ver p. 149). Uno de los mayores triunfos de la cronología científica de la postguerra ha sido la exitosa datación y correlación de estos yacimientos —a partir de tres métodos principales: el potasio-argón (K-Ar), las huellas de fisión y el geomagnetismo—. Además, se ha utilizado la fauna como un sistema de datación relativa para comprobar sus resultados.

La Garganta de Olduvai

Gracias al descubrimiento de fósiles de hombres primitivos en la Garganta, realizado por Louis y Mary Leakey, Olduvai es uno de los yacimientos más importantes para el estudio de la evolución humana. Se ha demostrado que es posible establecer una cronología del yacimiento, sobre todo con base en la datación mediante K-Ar de los depósi-

Principales yacimientos de los homínidos primitivos en el África Oriental.



tos de ceniza volcánica endurecida (toba), entre los que se hallan los restos fósiles. Por ejemplo, se calculó la edad de la importante Toba IB del Estrato I en $1,79 \pm 0,03$ m.a. (millones de años).

Como en toda datación arqueológica, hay que comparar las estimaciones de las fechas proporcionadas por un método con las de otro para llegar a un resultado fiable. En el caso de la Toba IB, una lectura de las huellas de fisión dio una fecha de $2,03 \pm 0,28$ m.a., que entra dentro de los límites de confianza estadísticamente aceptables del resultado obtenido con el K-Ar.

La datación geomagnética demostró ser otro útil método de comprobación de la secuencia establecida por el K-Ar. Como explicamos en la p. 147,

ha habido inversiones periódicas de la dirección del campo magnético terrestre (convirtiéndose el Polo Norte en el Polo Sur y viceversa). Las partículas magnetizadas de la roca registraron esta serie de inversiones (de "normal" a "inversa" y otra vez "normal"). A partir de ello se dedujo que los Estratos I-III y parte del IV de Olduvai se inclúan en la llamada época Matuyama de polaridad inversa, con un período significativo de polaridad normal hace 1,87-1,67 millones de años, manifestado por primera vez en el yacimiento y conocido ahora, apropiadamente, como "episodio Olduvai". El descubrimiento de la misma secuencia de inversiones en otros yacimientos del África Oriental (p. ej., Turkana Oriental

y Omo) ha ayudado a correlacionar sus depósitos con los de Olduvai.

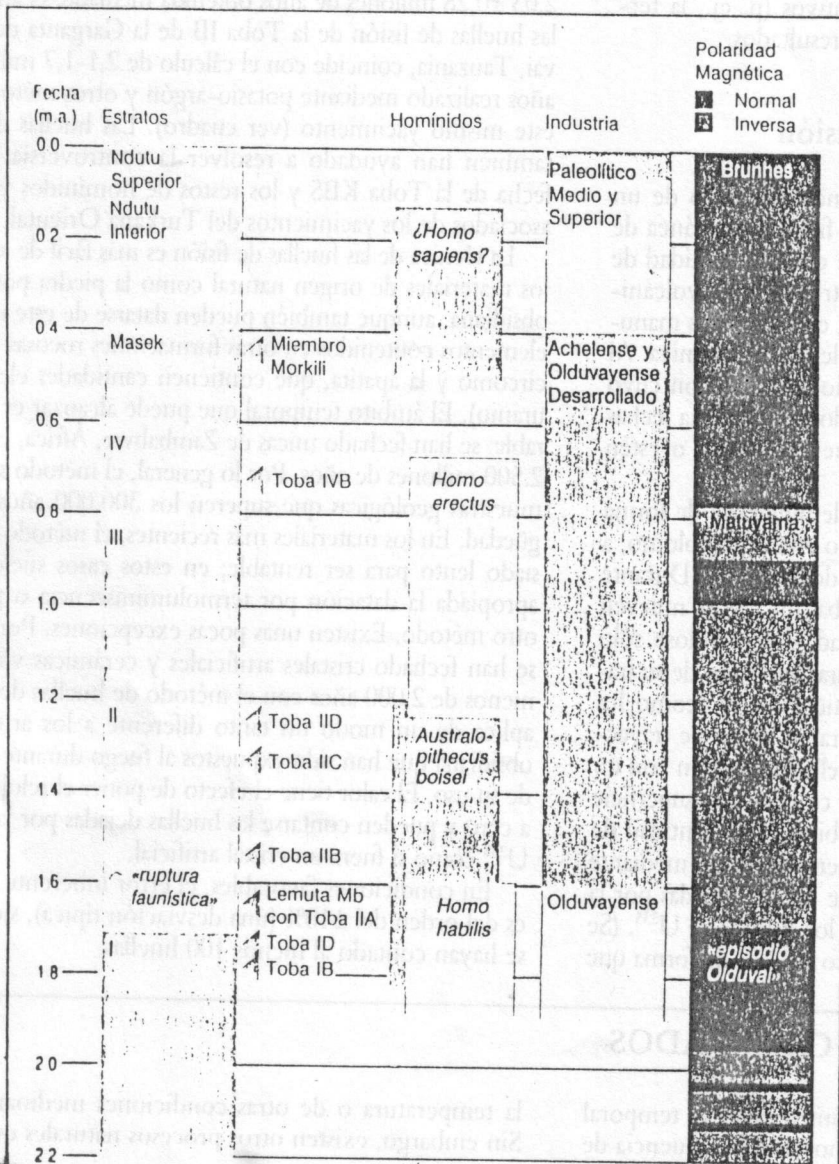
El método relativo de la datación faunística (bioestratigrafía), explicado en la p. 117-118, es un sistema nuevo de comprobación de la validez de estas secuencias. El árbol evolutivo de la familia de los suidos ha resultado ser uno de los más útiles, ayudando a confirmar las correlaciones entre los yacimientos del África Oriental, incluyendo Olduvai, derivadas de otros métodos de datación.

La Controversia sobre la Toba KBS

En ningún lugar es más evidente la necesidad de un cuidado extremo en la datación de los restos fósiles humanos que en el caso del cráneo "1470" de *Homo habilis* desenterrado por Richard Leakey en Turkana Oriental, Kenia, en 1972. Los resultados preliminares del K-Ar, proporcionados por un laboratorio británico, de la llamada Toba KBS, encima del depósito del cráneo, dieron una fecha en torno a los 2,6 m.a., al menos 0,8 m.a. anterior a los hallazgos de *H. habilis* de cualquier otro lugar. ¿Podía ser correcta la datación de K-Ar? Al principio, la comprobación mediante las Inversiones geomagnéticas y las huellas de fisión parecía apoyarlo. Pero existía el hecho preocupante de que las correlaciones de los fósiles de suidos con otros yacimientos daban una fecha que no excedía los 2 m.a. Y en 1974, un laboratorio americano presentó unas lecturas de K-Ar de la toba en torno a los 1,8 m.a.

La controversia continuó durante varios años hasta que uno de los científicos que habían publicado en un principio fechas de las huellas de fisión apoyando las lecturas más antiguas de K-Ar, volvió a realizar estos análisis y confirmó la estimación más moderna en torno a los 1,8 m.a. Finalmente, para resolver la cuestión, Leakey encargó a un laboratorio australiano que obtuviese fechas nuevas de K-Ar. El resultado fue una fecha, ahora aceptada por la mayoría, para la Toba KBS de $1,88 \pm 0,02$ m.a.

Estratigrafía esquemática de la Garganta de Olduvai, junto con los homínidos e Industrias del yacimiento y las inversiones magnéticas.



origen geológico. Sin embargo, el método ha demostrado ser muy útil. En la Cueva de Pontnewydd, al norte de Gales, las series-U probaron que la brecha que contenía la mayor parte de los hallazgos arqueológicos tenía una antigüedad de al menos 220.000 años. También se dató con este método el importante yacimiento de Bilzingsleben, en Alemania oriental, aquí el nivel de travertino que contenía los artefactos y restos de esqueletos humanos se fechó en torno a los 414.000 años, aunque quedan ciertas dudas, con varias mediciones de las series-U.

En circunstancias favorables, el método da lugar a fechas con un error implícito (desviación típica) de ± 12.000 años para una muestra de 150.000, y de unos ± 25.000 años para otra de 400.000. En la práctica, la inexactitud puede ser mayor de lo que hacen pensar estas cifras. Donde sea posible, deberán aplicarse métodos alternativos (p. ej., la termoluminiscencia) para comprobar los resultados.

La Datación de Huellas de Fisión

Éste es otro método basado en el funcionamiento de un reloj radiactivo. En esta ocasión, es la fisión espontánea de un isótopo del uranio (U^{238}) existente en gran cantidad de rocas y minerales, en la obsidiana y otros cristales volcánicos, en los meteoritos vítreos (tectitas), en los vidrios manufacturados y en las inclusiones minerales de la cerámica. Al igual que la datación mediante potasio-argón —con cuyo alcance temporal coincide— el método proporciona fechas útiles a partir de rocas adecuadas que contengan o estén próximas a restos arqueológicos.

Bases del Método. Además de desintegrarse de forma natural hasta convertirse en un isótopo estable del plomo, a veces el U^{238} también se divide en dos mitades. Durante este proceso de fisión espontánea, ambas mitades se mueven independientemente a gran velocidad, deteniéndose sólo tras causar grandes daños a las estructuras a lo largo de su trayectoria. En los materiales que contienen U^{238} , como los cristales naturales, este daño se registra en forma de trayectorias llamadas *huellas de fisión*. Las huellas se cuentan con un microscopio óptico después de tratar con ácido la superficie pulida del cristal para mejorar la visibilidad. La cantidad de uranio existente en la muestra se determina luego mediante el recuento de un segundo grupo de huellas creadas por la fisión, provocada artificialmente, de los átomos de U^{235} . (Se conoce el porcentaje de U^{235} respecto al U^{238} , de forma que

el segundo recuento calcula indirectamente la cantidad de U^{238} presente.) Conociendo el ritmo de fisión del U^{238} , se llega a una fecha —el momento en que el reloj se puso a cero— al comparar el número de huellas producidas espontáneamente con la cantidad de U^{238} de la muestra.

El reloj radiactivo se pone a cero cuando se forma el mineral o el cristal, bien en la naturaleza (como la obsidiana y las tectitas) o en el momento de su fabricación (como el vidrio artificial).

Aplicaciones y Límites. La técnica de las huellas de fisión es la más útil para los yacimientos paleolíticos de mayor antigüedad, especialmente donde no se puede aplicar el método del potasio-argón. Incluso donde sí es posible, las huellas de fisión proporcionan una confirmación independiente de los resultados del primero. Por ejemplo, la fecha de $2,03 \pm 0,28$ millones de años obtenida mediante el análisis de las huellas de fisión de la Toba IB de la Garganta de Olduvai, Tanzania, coincide con el cálculo de 2,1-1,7 millones de años realizado mediante potasio-argón y otros métodos para este mismo yacimiento (ver cuadro). Las huellas de fisión también han ayudado a resolver la controversia sobre la fecha de la Toba KBS y los restos de homínidos y objetos asociados de los yacimientos del Turkana Oriental, Kenia.

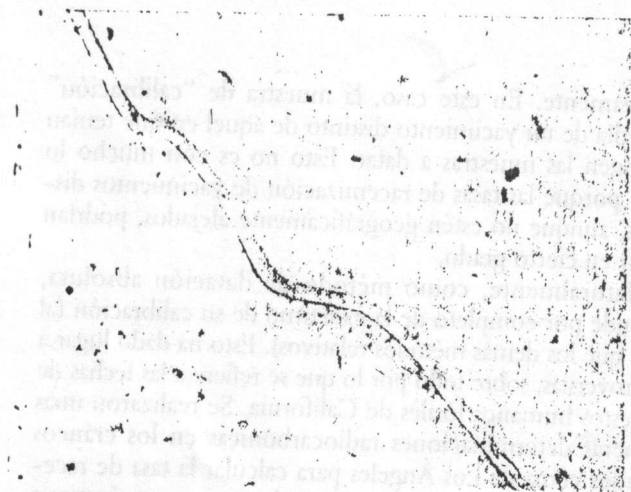
La técnica de las huellas de fisión es más fácil de aplicar en los materiales de origen natural como la piedra pómez y la obsidiana, aunque también pueden datarse de este modo los elementos contenidos en otras formaciones rocosas (p. ej., el circonio y la apatita, que contienen cantidades elevadas de uranio). El ámbito temporal que puede alcanzar es considerable: se han fechado micas de Zimbabue, África, en más de 2.500 millones de años. Por lo general, el método se aplica a muestras geológicas que superen los 300.000 años de antigüedad. En los materiales más recientes, el método es demasiado lento para ser rentable; en estos casos suele ser más apropiada la datación por termoluminiscencia o por algún otro método. Existen unas pocas excepciones. Por ejemplo, se han fechado cristales artificiales y cerámicas vidriadas de menos de 2.000 años con el método de huellas de fisión. Se aplica de un modo un tanto diferente a los artefactos de obsidiana que han sido expuestos al fuego durante o después de su uso. El calor tiene el efecto de poner el reloj radiactivo a cero y pueden contarse las huellas dejadas por la fisión del U^{238} como si fuera un cristal artificial.

En condiciones favorables, el error inherente al método es del orden del $\pm 10\%$ (una desviación típica), siempre que se hayan contado al menos 100 huellas.

MÉTODOS RELATIVOS CALIBRADOS

La desintegración radiactiva es el único proceso temporal totalmente regular que se conoce; no sufre la influencia de

la temperatura o de otras condiciones medioambientales. Sin embargo, existen otros procesos naturales que, aunque



La datación por hidratación de la obsidiana: una capa de hidratación visible en un artefacto de este material. El grosor de la capa aumenta con el paso del tiempo, pero no hay una tasa de crecimiento universalmente válida.

no son completamente uniformes, son lo bastante estables a lo largo del tiempo como para ser de utilidad para los arqueólogos. Ya hemos visto cómo los ciclos naturales anuales dan lugar a las varvas y anillos de crecimiento, que, por supuesto, son enormemente útiles ya que proporcionan fechas expresadas en años. Los procesos que constituyen la base de las tres primeras técnicas que se describen más adelante no se calibran en años de forma natural, pero, en principio, pueden producir fechas absolutas si se consigue calcular independientemente el ritmo de cambio inherente al proceso por medio de alguno de los métodos absolutos ya expuestos. En la práctica, como veremos, debe hacerse muchas veces una estimación nueva para cada yacimiento o región, debido a los factores medioambientales que influyen en su ritmo de cambio. Esto dificulta su empleo como métodos fiables de datación absoluta. Sin embargo, todavía pueden resultar de utilidad como simple medio de ordenar las muestras en una secuencia relativa, en la que se diferencian las más antiguas de las más recientes.

La Hidratación de la Obsidiana

Bases del Método y Limitaciones. Esta técnica fue aplicada por vez primera por los geólogos americanos Irving Friedman y Robert L. Smith. Se basa en el principio de que cuando la obsidiana (un vidrio volcánico utilizado a menudo de forma bastante similar al sílex para la fabricación de útiles) se rompe, comienza a absorber el agua que la rodea para formar una capa de hidratación que se puede medir en el laboratorio. Observando con un microscopio óptico la

sección de una lámina o lasca de obsidiana, la capa aparece como una zona distinta de la superficie. Su grosor aumenta con el tiempo.

Si el grosor de la capa se incrementa de modo uniforme, entonces, suponiendo que conozcamos la tasa de crecimiento y el grosor actual, deberíamos poder calcular el tiempo transcurrido desde que comenzó su desarrollo. El punto cero, el momento en que se empezó a formar la zona de hidratación, es aquél en el que el útil sobre lasca estaba recién terminado, al extraerlo del núcleo de obsidiana original o al golpearlo. Desgraciadamente, no hay un ritmo de crecimiento o hidratación con validez universal. En primer lugar, depende de la temperatura y la exposición a la luz solar directa durante mucho tiempo incrementa la hidratación. Además, las obsidianas de canteras distintas tienen composiciones químicas diferentes y esto puede afectar al análisis de conjunto. Por tanto, es necesario establecer una tasa de hidratación independiente para cada tipo de obsidiana encontrado en un área determinada y tener presente el factor temperatura, que debe ser tomado en consideración.

Para utilizar el método en la datación absoluta, hay que calibrarlo con una secuencia cronológica establecida para la región en cuestión (teniendo en cuenta los factores químicos y de temperatura). Las muestras a fechar han de proceder de uno o más contextos bien definidos que puedan ser datados con fiabilidad por otros medios. No se puede esperar que un único artefacto de obsidiana proporcione una fecha exacta. Por tanto, es más seguro utilizar un conjunto de unas 10 piezas, de forma que se pueda calcular por separado la fecha de cada una. Además de suministrar información cronológica directa, el método también puede ser útil para establecer las edades relativas de los distintos estratos de un yacimiento o región donde abunde la obsidiana.

Aunque sea apropiada sobre todo para los yacimientos y artefactos de los últimos 10.000 años (el período postglaciar), la hidratación de la obsidiana ha proporcionado fechas aceptables, en torno a los 120.000 años, para materiales del Paleolítico Medio procedentes de África Oriental.

Aplicaciones. Uno de los pioneros del método, Joseph Michels, ha llevado a cabo una de las aplicaciones más audaces del método hasta el día de hoy, en su estudio del área rural en torno al importante centro histórico de Kaminaljuyu, en Guatemala. Los yacimientos eran difíciles de fechar a partir de la cerámica encontrada en la superficie, que estaba muy desgastada, de forma que se intentaron datar midiendo la capa de hidratación de al menos cuatro artefactos de obsidiana de cada lugar. Si un mínimo de dos de las fechas de obsidiana coincidían con las fases cronológicas ya establecidas (que abarcaban desde el Formativo Inicial, 2500 AC aproximadamente, hasta el Postclásico Final, en torno al 1500 DC), se atribuía el yacimiento a ese momento. En el área principal de estudio se fecharon de

este modo unos 70 asentamientos rurales, en función de los datos obtenidos de un total de 288 muestras de obsidiana. Los resultados indicaron un aumento de la densidad del poblamiento rural hasta el período Clásico Tardío Inicial (600-800 DC), entonces se produjo una caída gradual y Kaminaljuyu comenzó a declinar.

La Racemización de Aminoácidos

Este método, aplicado por primera vez a principios de los 70 y aún en fase experimental, se utiliza para fechar huesos, tanto de seres humanos como de animales (sólo se necesitan 10 g). Su especial importancia reside en que puede ser aplicado a materiales de incluso unos 100.000 años, es decir, más allá del alcance temporal de la datación radiocarbónica.

Bases del Método. La técnica se basa en el hecho de que los aminoácidos, que componen las proteínas presentes en todos los seres vivos, pueden existir en dos formas idénticas como imágenes reflejadas en un espejo, llamadas enantiómeros. Éstos se diferencian en su estructura química, manifiesta en el efecto que causan en la luz polarizada. Los que hacen girar una luz polarizada hacia la izquierda son *levo*-enantiómeros o L-aminoácidos; los que la hacen rotar hacia la derecha son *dextro*-enantiómeros o D-aminoácidos.

Los aminoácidos existentes en las proteínas de los organismos vivos contienen sólo L-enantiómeros. Tras la muerte, éstos se transforman en D-enantiómeros (se racemizan) a un ritmo constante. La tasa de racemización depende de la temperatura y, por tanto, es probable que varíe de un yacimiento a otro. Pero datando por radiocarbono muestras de hueso apropiadas de un yacimiento concreto y midiendo las proporciones relativas de las formas L y D de las mismas, se podría calcular cuál es la tasa de racemización. Por tanto, esta calibración se utiliza para fechar muestras de hueso de los niveles más antiguos del yacimiento, que están fuera del alcance temporal del radiocarbono.

Aplicaciones y Límites. El ácido aspártico tiene la tasa de racemización más rápida de todos los aminoácidos estables y es el que se suele escoger para fechar muestras de hueso. Por ejemplo, en la Cueva de la Bahía de Nelson, en la provincia del Cabo, Suráfrica, varias muestras con una relación de D/L ácido aspártico de 0,167, dieron edades radiocarbónicas en torno a los 18.000 años. Esto permitió calcular el ritmo de conversión, calibrándose la tasa de racemización de ese yacimiento. Después, se hicieron cálculos de esa relación en muestras de huesos humanos del importante yacimiento de Klasies River Mouth en la misma zona, dando porcentajes de D/L ácido aspártico de 0,474 a 0,548 para los niveles inferiores (18 y 19). A partir de estos valores, se calcularon edades de unos 90.000 y 110.000 años res-

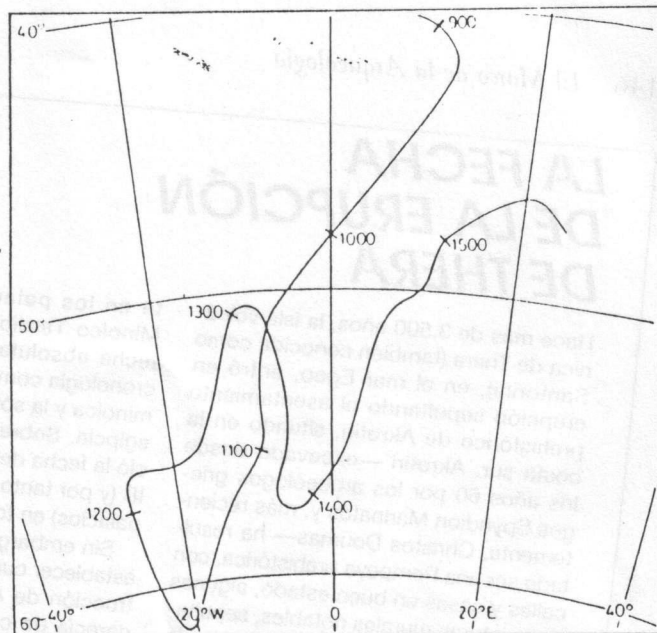
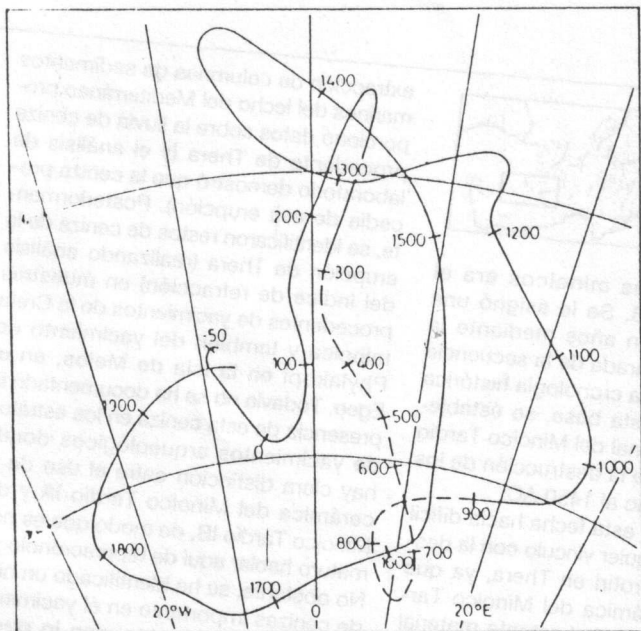
pectivamente. En este caso, la muestra de "calibración" procedía de un yacimiento distinto de aquel en que tenían su origen las muestras a datar. Esto no es con mucho lo ideal, porque las tasas de racemización de yacimientos distintos, aunque no estén geográficamente alejados, podrían diferir en cierto grado.

Naturalmente, como método de datación absoluta, depende por completo de la exactitud de su calibración (al igual que los demás métodos relativos). Esto ha dado lugar a controversias, sobre todo por lo que se refiere a las fechas de los restos humanos fósiles de California. Se realizaron unas primeras determinaciones radiocarbónicas en los cráneos hallados cerca de Los Ángeles para calcular la tasa de racemización del ácido aspártico, que luego proporcionaron edades de nada menos que 48.000 años para otros restos cerca de San Diego —que hacían pensar que la colonización de América era muy anterior a la que se había supuesto (Capítulo 11)—. Dataciones radiocarbónicas más recientes de los huesos de Los Ángeles, mediante el método de la AMS, han alterado esa estimación, reduciendo los cálculos de edad de los restos de California a menos de 8.000 años.

Datación por la Tasa de Cationes

En los últimos años se ha desarrollado una interesante técnica nueva que permite, por primera vez, la datación directa de las tallas y grabados en roca; también es aplicable en potencia a los artefactos paleolíticos que tengan una pátina gruesa que haya sido causada por su exposición al polvo del desierto.

Bases del Método. En condiciones desérticas, se forma una pátina en las superficies rocosas expuestas al polvo del desierto. Esta pátina se compone de minerales arcillosos, óxidos e hidróxidos de manganeso y hierro, partículas muy pequeñas y oligoelementos y una cantidad muy escasa de materia orgánica. Este método de datación se basa en el principio de que los cationes de ciertos elementos (es decir, los átomos con carga de aquellas moléculas que se combinan con iones de óxidos e hidróxidos de carga opuesta para crear componentes estables) son más solubles que los de otros y se lixivian en la pátina superficial más rápidamente que los elementos menos solubles y, por tanto, su concentración disminuye con el tiempo. El método requiere simplemente de la medición de la tasa de esos cationes móviles, por lo general de potasio (K) y calcio (Ca), respecto a los cationes más estables del titanio (Ti). Se supone que esa tasa disminuye proporcionalmente al tiempo (generando una curva similar a las curvas de desintegración de los isótopos radiactivos ya mencionados). Sin embargo, los pioneros de la técnica, Ronald Dorn y sus colegas no pretenden que haya una tasa de disminución fija (como en los procesos de desin-



La datación por la dirección magnética. Se pueden utilizar los cambios de posición del norte magnético, reconstruidos aquí para Gran Bretaña (izquierda) y el Suroeste Americano (derecha), para fechar estructuras de arcilla cocida, como los hornos, que conservan inalterada la dirección del norte magnético en el momento de su cocción.

tegración radiactiva); el método ha de ser corregido para cada área utilizando otros métodos de datación.

Aplicaciones. Los grabados en rocas (petroglifos) de la Gran Cuenca Occidental (en la región del Coso del Condado de Inyo, California) ofrecen un ejemplo de datación por la tasa de cationes. Ronald Dorn y David Whitley analizaron sus pátinas. Las muestras utilizadas para su calibración fueron: a) ciertos suelos de yacimientos de la zona, para establecer la relación actual $K+Ca:Ti$; b) pátinas de la línea de costa elevada del cercano Lago de Scarles (fechadas independientemente por métodos geológicos en 10.500 años); y c) pátinas de rocas de afloraciones volcánicas del área que se habían formado entre 3 millones y 39.000 años atrás, según el potasio-argón. Se utilizaron estas diversas dataciones para establecer una curva de calibración del cambio en la tasa de cationes y permitieron asignar a la pátina de los petroglifos una edad de 6.400 años (con un margen de desviación típica entre el 5.600 y el 8.600). Esta fecha casi duplica la antigüedad que se había asignado en un principio a estas estructuras.

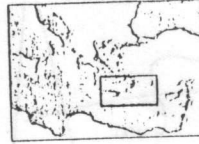
Limitaciones. Este método todavía no ha sido aplicado de forma generalizada y no se sabe con seguridad en qué condiciones climáticas se puede dañar o destruir la pátina de la piedra, ni tampoco qué variaciones climáticas podrían afectar al proceso de cambio en la tasa de cationes. Sin embargo, esta técnica es muy prometedora para la datación de los hallazgos superficiales de regiones áridas.

La Datación Arqueomagnética

La datación arqueomagnética (o paleomagnética) ha sido hasta ahora de escasa utilidad en la arqueología, debido en parte a que no se han realizado trabajos suficientes en las distintas regiones.

Bases del Método. El campo magnético terrestre cambia constantemente tanto en dirección como en intensidad. Los archivos históricos de Londres, París y Roma han permitido a los científicos reconstruir los cambios en la dirección del norte magnético observados en esos lugares, a partir de lecturas de brújulas de los últimos 400 años. Los científicos también han sido capaces de reconstruir esos cambios en épocas anteriores en Europa y otras áreas, estudiando la magnetización de las estructuras de arcilla cocida (hornos, chimeneas, hogares) de períodos antiguos, que han sido fechadas independientemente, por ejemplo, por radiocarbono. (Siempre que la arcilla haya sido cocida a 650-700 °C y no se haya vuelto a calentar, las partículas de hierro que contiene adoptan definitivamente la dirección e intensidad del campo magnético terrestre en el momento de la cocción. Este principio es conocido como magnetismo termorremanente (TRM).) De este modo se puede elaborar un esquema de las variaciones temporales en la dirección magnética, que se puede utilizar para fechar otras estructuras de arcilla cocida de edad desconocida, cuyo TMR se mide y después se compara con un punto concreto (fecha)

LA FECHA DE LA ERUPCIÓN DE THERA



Hace más de 3.500 años, la isla volcánica de Thera (también conocida como Santorini), en el mar Egeo, entró en erupción sepultando el asentamiento prehistórico de Akrotiri, situado en la costa sur. Akrotiri —excavado desde los años 60 por los arqueólogos griegos Spyridion Marinatos y, más recientemente, Christos Doumas— ha resultado ser una Pompeya prehistórica, con calles y casas en buen estado, algunas con pinturas murales notables, sepultado todo ello bajo muchos metros de ceniza volcánica. La propia erupción presenta problemas y oportunidades de datación muy interesantes. Ya en 1939, Marinatos sugirió que la erupción de Thera era la responsable de la destrucción de los palacios minoicos de Creta (40 km al sur), muchos de los cuales fueron abandonados en el Bronce Final. Esta idea provocó un debate que continúa.

En primer lugar, se puede enfocar el problema en función de la **cronología relativa** que ofrece la evolución de los estilos cerámicos. Existe una secuencia estilística firme de la cerámica minoica y se descubrió que el estilo más reciente

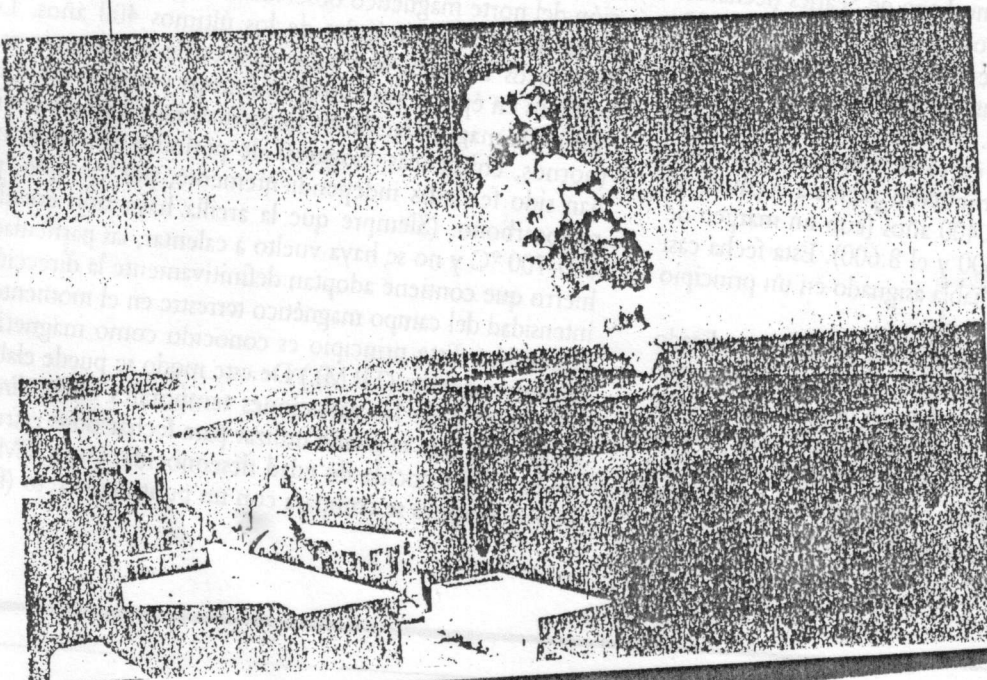
en los palacios minoicos era el Minoico Tardío IB. Se le asignó una fecha absoluta en años mediante la cronología comparada de la secuencia minoica y la sólida cronología histórica egipcia. Sobre esta base, se estableció la fecha del final del Minoico Tardío IB (y por tanto de la destrucción de los palacios) en torno al 1450 AC.

Sin embargo, esta fecha hacía difícil establecer cualquier vínculo con la destrucción de Akrotiri en Thera, ya que carecía de cerámica del Minoico Tardío IB, aunque tenía bastante material del estilo Minoico Tardío IA. Así, muchas investigaciones llegaron a la conclusión de que la erupción de Thera no tenía nada que ver con la destrucción de los palacios minoicos, que bien podría haber sido posterior. Por esta razón parecía satisfactorio fechar la erupción de Thera en el Minoico Tardío IA, quizá en torno al 1500 AC (utilizando de nuevo la cronología cretense basada en Egipto). Pero otros expertos creían que los efectos de la erupción de Thera se habrían sentido en muchos lugares. Aquí, sin duda, les sirvieron de gran ayuda los **análisis de tephra**. La

extracción de columnas de sedimentos marinos del lecho del Mediterráneo proporcionó datos sobre la lluvia de ceniza procedente de Thera (y el análisis de laboratorio demostró que la ceniza procedía de esa erupción). Posteriormente, se identificaron restos de ceniza de la erupción de Thera (realizando análisis del índice de refracción) en muestras procedentes de yacimientos de la Creta minoica y también del yacimiento de Phylakopi en la isla de Melos, en el Egeo. Todavía no se ha documentado la presencia de esta ceniza en los estratos de yacimientos arqueológicos donde hay clara distinción entre el uso de la cerámica del Minoico Tardío IA y del Minoico Tardío IB, de modo que es prematuro hablar aquí de tephrocronología. No obstante, se ha identificado un nivel de cenizas importante en el yacimiento de Trianda, en Rodas, con lo que el método ofrecerá una respuesta a su tiempo.

La **datación radiocarbónica**, en teoría, ayudaría a resolver el problema, pero la diferencia entre el 1500 AC y el 1450 AC es relativamente pequeña. Sin embargo, se han analizado muestras, incluyendo algunas de vida corta (cereal carbonizado, etc.) que no podían haber sido antiguas en el momento de la erupción. El valor medio obtenido a partir de estas muestras es el 1615 AC (tras su corrección). El intervalo temporal de una desviación típica, que implica una probabilidad del 65 %, va del 1630 al 1530 AC. (El intervalo no es simétrico respecto al valor medio debido a las irregularidades en la curva de calibración de esa época.) La fecha radiocarbónica apoya de este modo a la más antigua de las dos fechas en cuestión. Pero el asunto no queda así: en fechas recientes se ha demostrado que las erupciones volcánicas importantes tienen efectos globales (ya que el polvo lanzado a la atmósfera reduce la radiación solar que llega a la tierra). Estos pueden acusarse en anillos anormalmente finos durante un año o dos en las **secuencias dendrocronológicas**.

El volcán Thera todavía entra en actividad esporádicamente. El foco de las erupciones se encuentra en esta pequeña isla situada en el centro de la caldera semisumergida.

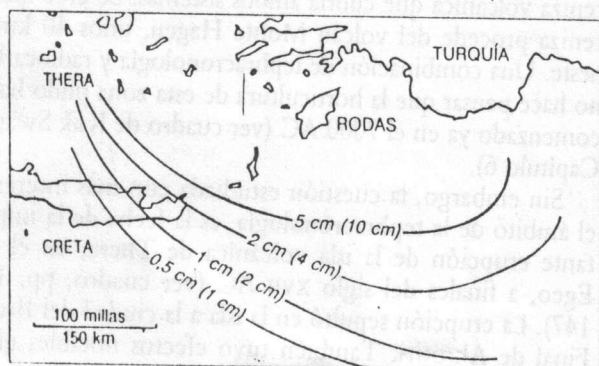


Se ha buscado estos efectos en el registro del pino arista de California a mediados del segundo milenio AC, proponiéndose uno de ellos, fechado con seguridad en el 1628-1626 AC, para la erupción de Thera. También se ha informado de la existencia de un anillo comparable en las series dendrocronológicas basadas en el roble irlandés.

Se ha demostrado de forma similar que las **columnas de hielo** revelan un máximo de acidez en las erupciones importantes observadas recientemente, cuando su escala es bastante grande como para ocasionar efectos globales. Una columna de hielo de Groenlandia presenta un máximo de este tipo para el 1390 AC, defendida como posible fecha de la erupción de Thera. Los trabajos más recientes en el yacimiento Dye 3 de Groenlandia han sugerido que sería más apropiado un máximo de acidez del 1645 AC. El problema es que no hay absolutamente nada en los anillos de crecimiento ni en las columnas de hielo que permita diferenciar una erupción volcánica importante de una zona del mundo de otra, salvo en su fecha. Así, hay que suponer una conexión antes de datar el acontecimiento en cuestión. Sin embargo, se espera encontrar a su debido tiempo una correlación entre la erupción de Thera, las secuencias dendrocronológicas y las columnas de sedimentos marinos.



Fresco de Akrotiri denominado "El Pescador".



Mapa que señala las líneas isopáquicas (curvas de nivel del mismo espesor) de la lluvia de tephra procedente de la erupción de Thera, fijadas a partir de las columnas de sedimentos marinos. Las cifras entre paréntesis dan una estimación del grosor correspondiente a la tephra que cayó en tierra firme.

de la secuencia directora. Hay que elaborar series directoras distintas para las variaciones en la *intensidad* magnética, que cambia independientemente de la dirección magnética.

Aplicaciones y Límites. Las variaciones regionales en el campo magnético global significan que se necesita una secuencia directora independiente para cada región. En cuanto a la dirección magnética, se han creado en unas pocas zonas del mundo, como Gran Bretaña y el Suroeste Americano, para los últimos 2.000 años. Una chimenea u horno de arcilla cocida de este período, medido *in situ* en un yacimiento de una de estas regiones, puede ser fechado con bastante precisión mediante el análisis de la dirección magnética. Sin embargo, una vez que se haya movido la estructura, no se podrá volver a comparar la dirección magnética antigua con la actual.

A diferencia del método direccional, la intensidad magnética se puede medir cuando la arcilla cocida está descontextualizada y, por tanto, se puede aplicar a la cerámica. El reciente estudio de cerámicas procedentes de distintas provincias de China ha proporcionado una secuencia directora para los últimos 4.000 años, pronosticando la posibilidad de fechar cerámicas chinas de edad desconocida. Pero hasta ahora, el método de la intensidad ha demostrado ser intrínsecamente menos exacto que el direccional.

Inversiones Geomagnéticas. Otro aspecto del arqueomagnetismo, importante para la datación del Paleolítico Inferior, es el fenómeno de las inversiones del campo magnético terrestre (el norte magnético se convierte en el sur magnético y viceversa). La inversión más reciente se produjo hace unos 700.000 años y se ha elaborado una secuencia de este tipo de fenómenos, que se remonta a varios millones de años, con ayuda del potasio-argón y otras técnicas de datación. El descubrimiento de parte de esta secuencia de inversiones en los estratos rocosos de los yacimientos africanos del hombre primitivo, ha resultado ser un buen sistema de verificación de los otros métodos de datación utilizados en esos yacimientos (ver cuadro anterior, La Datación de Nuestros Antepasados Africanos).

CORRELACIONES CRONOLÓGICAS

La comparación de los distintos métodos de datación constituye una de las vías más prometedoras para los futuros trabajos en cronología. La utilización de un método absoluto en apoyo de otro puede proporcionar, a menudo, resultados muy valiosos. Un ejemplo excelente es el modo en que se ha utilizado la datación por la dendrocronología para respaldar e incluso calibrar el radiocarbono, a resultados de lo cual este último ha ganado mucho en precisión y fiabilidad. También es aplicable el mismo comentario a la relación entre la datación relativa y la absoluta. Aunque son los

métodos absolutos los que proporcionan fechas reales en años, gran parte de la exactitud y consistencia interna de esas fechas (y, por tanto, de la posibilidad de reconocer y eliminar los resultados incorrectos) procede del marco proporcionado por el método de la datación relativa.

Los vínculos entre secuencias cronológicas que estén muy alejadas geográficamente (interrelaciones) pueden presentar dificultades serias. Las más comunes son las que dependen de la comparación de secuencias —por ejemplo, la comparación de series dendrocronológicas—. Desde luego, es válida para árboles cercanos o dentro de un área reducida; en una región mayor, deben tratarse con cuidado estas interrelaciones. Del mismo modo, la correlación de las series de varvas de Escandinavia y Norteamérica ha resultado problemática. Con estos métodos siempre existe el riesgo de llegar a una "correlación" entre secuencias que, aunque en principio parezca plausible, sea incorrecta.

Acontecimientos Globales

Uno de los medios más seguros de establecer una correlación entre secuencias consiste en localizar en ellas la aparición del mismo acontecimiento importante, uno con repercusiones geográficas generales, incluso a escala mundial.

Estos acontecimientos son, naturalmente, muy escasos y por lo general de naturaleza catastrófica. La caída de grandes meteoritos sobre la tierra entraría dentro de esta categoría. Las erupciones volcánicas a gran escala son mucho más corrientes. Cerca de los volcanes estos sucesos producen efectos acusados, con ríos de barro y lava y densas lluvias de ceniza, a menudo de consecuencias devastadoras para el hombre. A una distancia media, hasta de unos pocos cientos de kilómetros, todavía pueden tener un efecto notable, con "tsunamis" ("olas de marea", aunque en realidad no lo son) y lluvias de tephra (ceniza volcánica). Los científicos han tratado de correlacionar a media distancia los daños de los terremotos y las erupciones volcánicas, pero muchas veces ambos elementos no están vinculados. Las erupciones importantes también lanzan grandes cantidades de tephra a las capas superiores de la atmósfera, con efectos globales. Esta ceniza o polvo incrementa la acidez de la nieve que cae en las áreas polares y de este modo deja su huella en las columnas de hielo. También se ha percibido su efecto en los anillos de los árboles: al reducir la cantidad de radiación solar que llega a la tierra (y, por tanto, al reducir también la temperatura) el polvo volcánico hace descender el ritmo de crecimiento de los árboles durante un período breve pero significativo.

El campo en desarrollo de la tephra cronología está demostrando su utilidad. Su objetivo consiste en distinguir inequívocamente y, por tanto, fechar la tephra de las dis-

tintas erupciones volcánicas que puedan existir en los depósitos terrestres o en las columnas de sedimentos marinos. Los productos de cada erupción suelen ser bastante diferentes, de modo que el cálculo del índice de refracción puede ser suficiente para distinguir una ceniza de otra. En otros casos, las diferenciará el análisis de oligoelementos.

Cuando todos los yacimientos y objetos de una zona queden sepultados a la vez bajo un manto de ceniza volcánica —un efecto de "foto fija"—, se dispone de un método de datación muy preciso que se puede utilizar para correlacionar la edad de todos esos materiales arqueológicos. Entre otros ejemplos, se encuentra la gran erupción del Vesubio en el año 79 DC, que cubrió Pompeya, Herculano y otros asentamientos romanos (cuadro, Capítulo 1); la erupción del volcán Ilopango en El Salvador en torno al 260 DC, que sepultó asentamientos del Maya Inicial de la zona bajo 0,5-1 m de cenizas volcánicas. La erupción del Ilopango pudo haber trastornado la agricultura durante varios años e interrumpido la construcción de la pirámide del yacimiento de Chalchuapa, donde se aprecia claramente la detención de los trabajos.

Otro buen ejemplo de tephra cronología nos llega de Nueva Guinea, donde se ha establecido una conexión cronológica entre varios yacimientos por la presencia en ellos de hasta una docena de lluvias de ceniza identificables. Los arqueólogos australianos Edward Harris y Philip Hughes fueron capaces de relacionar el sistema hortícola de la Sierra de Mugumamp, en la provincia de las Tierras Altas Occidentales de Papua Nueva Guinea, con otro de Kuk Swamp, unos kilómetros al sur, debido a las características de la ceniza volcánica que cubría ambos sistemas. Se cree que la ceniza procede del volcán Monte Hagen, unos 40 km al oeste. Una combinación de tephra cronología y radiocarbono hace pensar que la horticultura de esta zona pudo haber comenzado ya en el 7000 AC (ver cuadro de Kuk Swamp, Capítulo 6).

Sin embargo, la cuestión estudiada con más interés en el ámbito de la tephra cronología, es la fecha de la importante erupción de la isla volcánica de Thera, en el mar Egeo, a finales del siglo XVII AC (ver cuadro, pp. 146-147). La erupción sepultó en la isla a la ciudad del Bronce Final de Akrotiri. También tuvo efectos notables en las islas próximas.

De la prolongada disputa sobre la fecha de la erupción de Thera se saca una moraleja importante y general. Sin duda, es demasiado común, cuando se está discutiendo un elemento de datación, dar por sentadas conexiones a larga distancia que no se pueden documentar. Por ejemplo, varios autores han tratado de vincular la erupción volcánica de Thera con las Plagas de Egipto, mencionadas en el Libro del Éxodo, en la Biblia. Resulta fascinante y merece ser investigado, pero cuando se usa en realidad

para fechar la erupción, como han hecho algunos, no es más que una equivalencia supuesta, una hipótesis disfrazada de datación.

Sin embargo, al mismo tiempo, el empleo combinado de varios métodos para fechar la erupción tiene un gran futuro. Por ejemplo, es perfectamente legítimo datar la erupción de modo aproximado aplicando el radiocarbono a las muestras de Thera y tratar luego de dar una fecha más precisa, incluso en años calendáricos, a partir de los indicios de las columnas de hielo o los anillos de los árboles. Los supuestos en los que se basa la correlación —que estos dis-

tintos tipos de evidencia nos hablan del mismo acontecimiento— nunca han de olvidarse. Sería mucho más satisfactorio si se pudieran encontrar rastros de tephra en las columnas de hielo y si los análisis pudiesen demostrar que procedían de la erupción en cuestión. Si se hiciera, las columnas de hielo de Groenlandia y el Antártico serían, en realidad, las responsables de dar la fecha exacta de un acontecimiento importante del Bronce Final del Egeo y, por tanto, de calibrar la datación de este período y esta zona a nivel general. Esto incluso podría llevar a modificaciones en la cronología histórica egipcia.

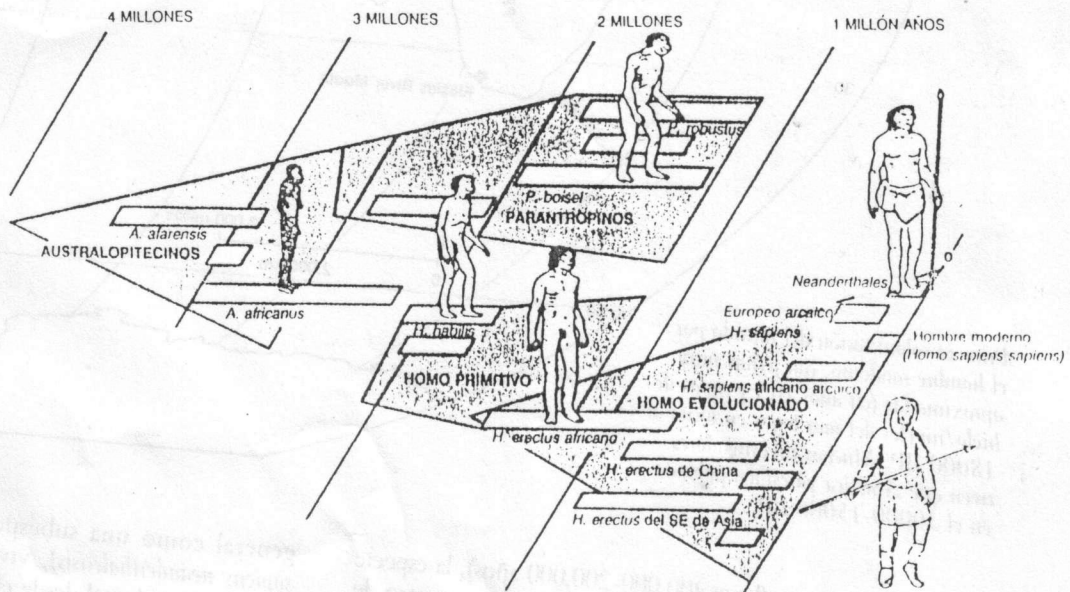
CRONOLOGÍA MUNDIAL

Como consecuencia de la aplicación de las diversas técnicas de datación ya expuestas, es posible resumir la cronología arqueológica mundial.

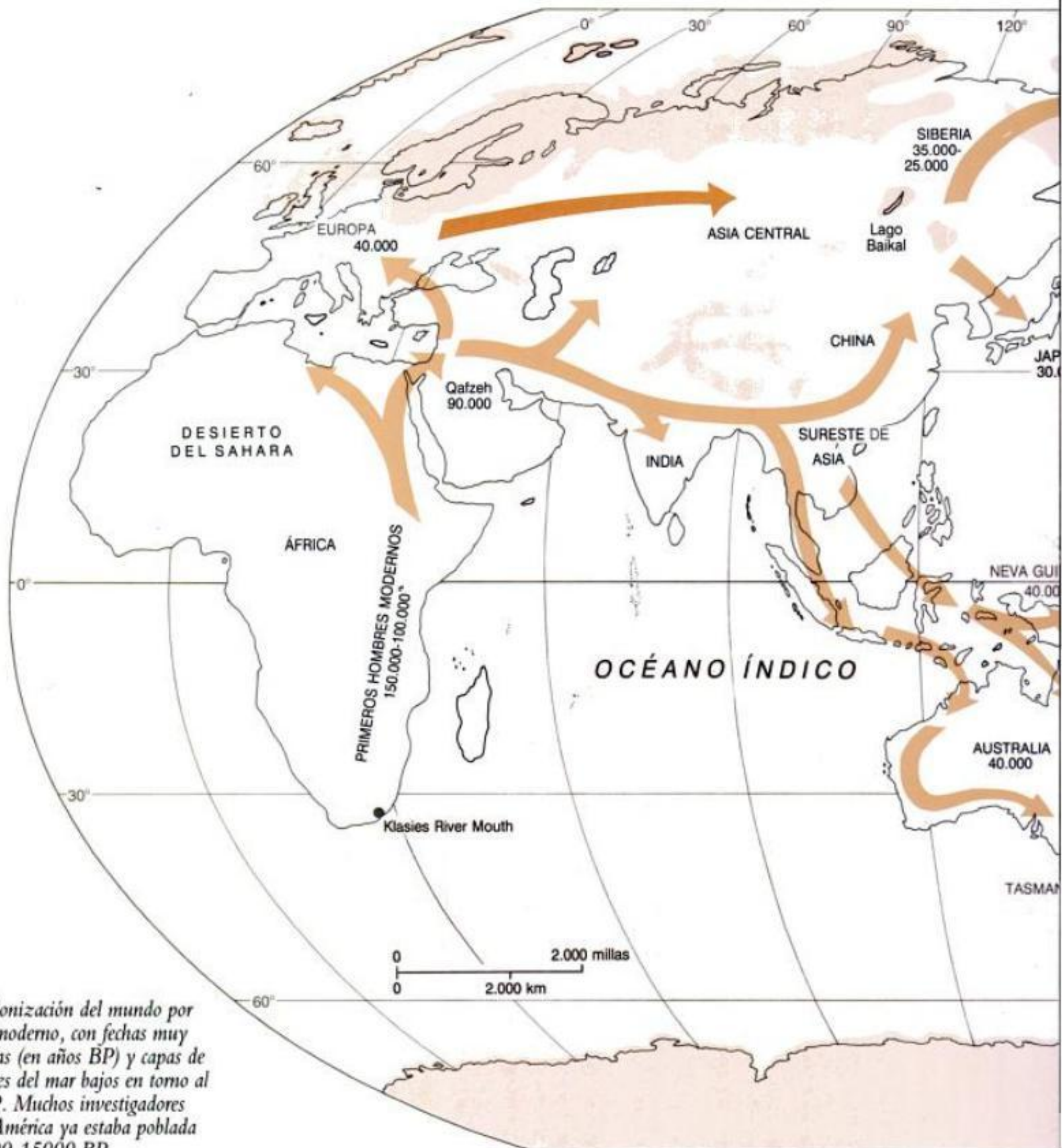
La historia del hombre, como la entendemos hoy en día, comienza en el África Oriental, con la aparición de los primeros homínidos del género *Australopithecus* hace unos 4 o 5 millones de años. Hace unos 2 millones de años, hay evidencias fósiles claras de los primeros ejemplares conocidos de nuestro propio género, el *Homo habilis*, en yacimientos como Koobi Fora (Kenia) y la Garganta de Olduvai (Tanzania). Los útiles líticos más antiguos (procedentes de Hadar, Etiopía) se fechan en torno a los 2,5 millones de años, pero no se sabe qué homínido los fabricó debido a que todavía no se han encontrado fósiles de *Homo habilis* de

esta época. Es posible que los australopitecinos también tuvieran una cultura instrumental antes o durante la época del *Homo habilis*. Los primeros conjuntos de utensilios, incluyendo útiles sobre lascas y sobre cantos, reciben el nombre colectivo de industria Olduvayense, ya que en la Garganta de Olduvai es donde están mejor representados.

El *Homo erectus* había aparecido en África Oriental hace, aproximadamente, 1,6 millones de años, el paso siguiente en la evolución humana. Estos homínidos tenían un cerebro mayor que el *Homo habilis*, su probable antepasado, y fueron los que fabricaron útiles líticos con una característica forma almendrada y tallados por ambas caras, denominados bifaces achelenses. Estos artefactos son la forma instrumental predominante durante el Paleolítico Inferior. Cuando se extin-



Los paleoantropólogos sostienen puntos de vista muy distintos sobre el modo en que se deben interpretar los restos fósiles en relación a la evolución humana. Este árbol genealógico presenta las evidencias como cuatro ramificaciones adaptativas: los australopitecinos, los parantropinos, el *Homo primitivo* y el *Homo evolucionado* (que incluye al hombre moderno).



Primera colonización del mundo por el hombre moderno, con fechas muy aproximadas (en años BP) y capas de hielo/niveles del mar bajos en torno al 18000 BP. Muchos investigadores creen que América ya estaba poblada en el 30000-15000 BP.

guió el *Homo erectus* (hace 400.000-200.000 años), la especie había colonizado el resto de África, el sur, este y centro de Asia y la Europa central y occidental.

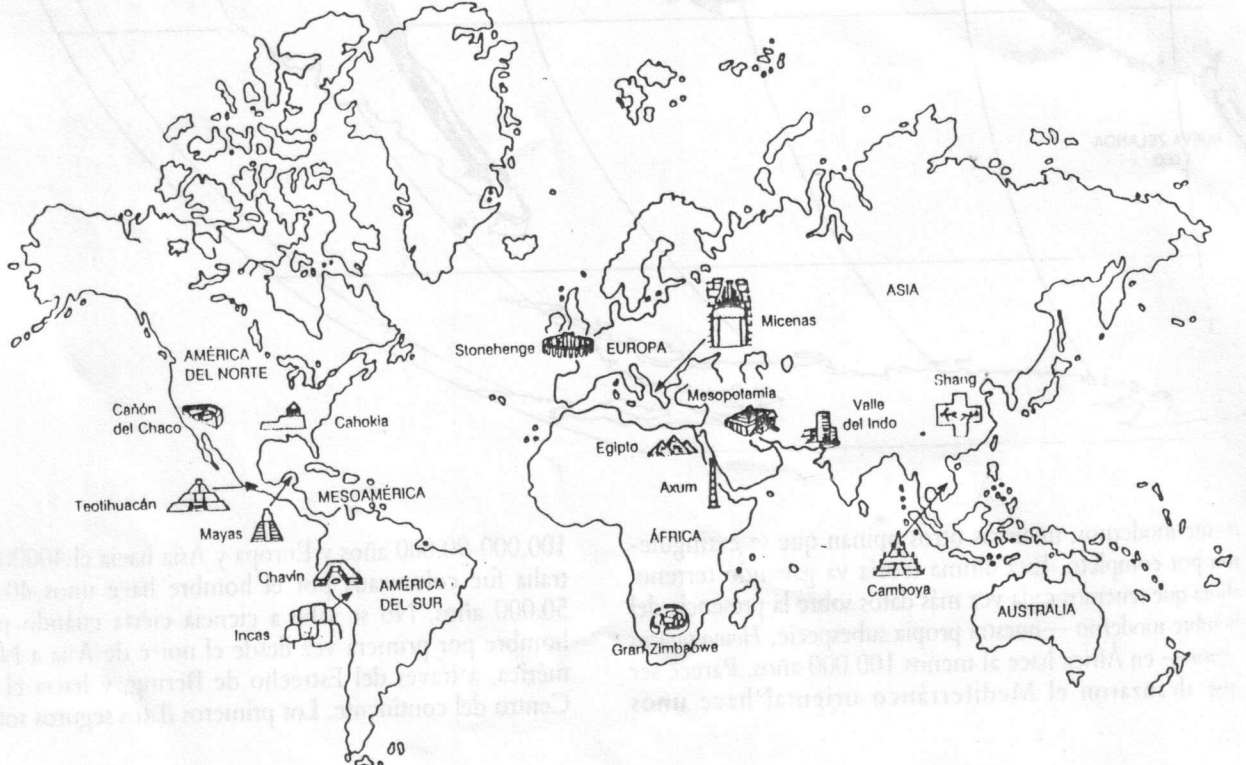
El Paleolítico Medio —que abarca aproximadamente desde el 200000 hasta el 40000 BP— presenció la aparición del *Homo sapiens*. Los Neanderthales, clasificados por lo

general como una subespecie del *Homo Sapiens* (*Homo sapiens neanderthalensis*), vivieron en Europa y en el Asia central y occidental desde el 130000 al 30000, aproximadamente. Su papel en la evolución humana posterior no está claro: algunos especialistas creen que los Neanderthales evolucionaron hasta convertirse, a su tiempo, en hombres total-



mente modernos, mientras otros opinan que se extinguieron por completo. Esta última teoría va ganando terreno, ahora que tenemos cada vez más datos sobre la presencia del hombre moderno —nuestra propia subespecie, *Homo sapiens sapiens*— en África hace al menos 100.000 años. Parece ser que alcanzaron el Mediterráneo oriental hace unos

100.000-90.000 años y Europa y Asia hacia el 40000. Australia fue colonizada por el hombre hace unos 40.000 o 50.000 años. No se sabe a ciencia cierta cuándo pasó el hombre por primera vez desde el norte de Asia a Norteamérica, a través del Estrecho de Bering, y hacia el Sur y Centro del continente. Los primeros datos seguros sobre los



| AÑOS DC/AC | PRÓXIMO ORIENTE | EGIPTO Y ÁFRICA | MEDITERRÁNEO | NORTE DE EUROPA | INDIA | E. DE ASIA Y PACÍFICO | MESO-AMÉRICA | AMÉRICA DEL SUR | NORTE-AMÉRICA |
|------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|
| 1500 | | Gran Zimbabwe | | | | | AZTECAS | INCAS | |
| 1000 | | | IMPERIO BIZANTINO | Estados Medievales | | Poblamiento de Nueva Zelanda | TOLTECAS | CHIMU | Cahokia Chaco |
| 500 | ISLAM | | | | | Estados (Japón) | MAYA TEOTIHUACÁN | | HOPEWELL |
| DC | | Ciudades (África) AXUM | IMPERIO ROMANO | IMPERIO ROMANO | | Gran Muralla (China) | | MOCHE | PUEBLOS |
| 500 | PERSIA BABILONIA | BAJA ÉPOCA | GRECIA CLÁSICA | EDAD DEL HIERRO | MAURYA | Hierro fundido (China) | | | |
| 1000 | ASIRIA | IMPERIO NUEVO | Hierro | | Hierro | Lapita (Polinesia) | OLMECAS | CHAVÍN | Maíz (Suroeste) |
| 1500 | HITITAS | IMPERIO MEDIO | MICÉNICO | EDAD DEL BRONCE | | SHANG (China) | | | |
| 2000 | Hierro | IMPERIO ANTIGUO (Pirámides) | MINOICO | Stonehenge | | | | | |
| 2500 | | PRIMERAS DINASTÍAS | | | INDO | Aldeas amuralladas (China) | | Templos-túmulo | |
| 3000 | SUMER Escritura | Ciudades (Egipto) | | | | | | Maíz, llama, algodón | |
| 3500 | Ciudades Vehículos con ruedas | | | | | | | | |
| 4000 | | | | | | | | | |
| 4500 | | | Cobre (Balcanes) | Megalitos | | | | | |
| 5000 | | | | Agricultura, cerámica | | | | | |
| 5500 | Irrigación | | | | | Arroz, Mijo (China) | Maíz | Mandioca | |
| 6000 | | | | | | | | | |
| 6500 | Cobre | Ganado bovino (N. de África) | Agricultura, cerámica | | | | Judías, calabacín, pimientos | Judías, calabacín, pimientos | |
| 7000 | Cerámica | | | | Agricultura | Jardines (Nueva Guinea) | | | |
| 7500 | | Cerámica (Sudán) | | | | | | Cerámica (Guayana) | |
| 8000 | Trigo, centeno etc. | | | | | | | | |
| 8500 | | | | | | | | | |
| 9000 | Ovejas | | | | | | | | |
| 9500 | | | | | | | | | |
| 10000 | | | | | | Cerámica (Japón) | | | |

Nacimiento de la producción de alimentos y la civilización. (Página anterior, arriba) Lugares donde fueron domesticadas por primera vez las especies más importantes. (Página anterior, abajo) Localización de las primeras arquitecturas monumentales en diversas regiones del mundo. (Sobre estas líneas) Tabla cronológica que resume el desarrollo cultural a nivel mundial y las primeras domesticaciones de ciertas plantas y animales.

primitivos americanos se remontan a unos 14.000 años, pero hay evidencias más problemáticas de que el continente fue poblado antes. Por ejemplo, el abrigo brasileño de Pedra Furada ha proporcionado recientemente pruebas discutibles de ocupación humana hace unos 30.000 años.

Antes del 10000 AC, la mayoría de las tierras del planeta, salvo los desiertos y la Antártida, estaban pobladas. La excepción más notable es el Pacífico, donde la Polinesia Occidental parece no haber sido colonizada hasta el primer milenio AC y la Polinesia Oriental lo fue de forma progresiva desde el 300 DC aproximadamente. En el año 1000 DC la colonización de Oceanía era completa.

Casi todas las sociedades mencionadas hasta ahora pueden ser consideradas como sociedades de cazadores-recolectores, compuestas por grupos relativamente pequeños, denominados a menudo *bandas* (ver Capítulo 5).

Cuando se estudia la historia o la prehistoria a nivel global, uno de los acontecimientos más significativos es el comienzo de la producción de alimentos, basada en especies vegetales domésticas y también (aunque en algunas zonas en menor medida) en especies animales domesticadas. Uno de los hechos más llamativos de la prehistoria mundial es que la transición desde la caza y la recolección a la producción de alimentos parece haberse producido de forma independiente en varias zonas y en todos los casos tras el término de la Era Glaciar, es decir, después del 10000 BP aproximadamente.

En el Próximo Oriente, podemos rastrear los orígenes de la transición antes incluso de esa fecha, debido a que el proceso debió haber sido gradual, una consecuencia (así como la causa) de la reestructuración de la organización social de las comunidades humanas. De todas formas, estaba en marcha en esa zona una agricultura estable, basada en el trigo y la cebada así como en las ovejas y cabras (y más tarde el ganado vacuno), en torno al 8000 AC. La agricultura se había difundido a Europa en el 6500 AC y está documentada en el sur de Asia en Mehgarh, Beluchistán, en torno a esas mismas fechas.

Parece haberse producido un desarrollo independiente, basado en un principio en el cultivo del mijo, en China, en el valle del Huang Ho, en torno al 5000 AC y, casi al mismo tiempo, surgió un foco aislado en el sureste de Asia, con la explotación del arroz. La situación de África, al sur del Sáhara, es más compleja debido a la diversidad medioambiental, pero el mijo y el sorgo ya se cultivaban en el tercer milenio AC. El cultivo de tubérculos y árboles en el Pacífico Occidental (Melanesia) ya se había desarrollado por esas fechas: en efecto, existen indicios muy anteriores del drenaje de terrenos para el cultivo de tubérculos.

En América, se dispuso de una gama diferente de cultivos. En Perú, el cultivo de judías, calabacines, pimientos y algunas hierbas pudo haber comenzado antes del 8000 AC

y, sin duda, estaba en marcha en esa zona y en Mesoamérica en el séptimo milenio AC. Otras especies de Sudamérica, como la mandioca y la patata, pronto se añadieron a esta lista, pero la planta de mayor impacto en la agricultura americana fue el maíz, cultivado por vez primera en México en torno al 5000 AC.

Estas innovaciones agrícolas fueron adoptadas con rapidez en algunas zonas (p. ej., en Europa), pero en otras, como Norteamérica, su impacto fue menos inmediato. Desde luego, en el cambio de era, las economías basadas en la caza y la recolección eran muy minoritarias.

No resulta fácil generalizar sobre las diversas sociedades de agricultores primitivos en las distintas partes del mundo. Pero en general, puede definírselas, al menos en sus primeras fases, como *sociedades segmentarias* (ver Capítulo 5): pequeñas comunidades sedentarias independientes, carentes de una organización fuertemente contralizada y pareciendo haber sido, en su mayoría, relativamente igualitarias. En algunos casos se relacionaban con sus vecinos mediante lazos tribales, mientras que en otros no existía una unidad mayor de este tipo.

En cada zona hay una gran diversidad, según el desarrollo de la agricultura. En muchas ocasiones, la economía agrícola experimentó un proceso de intensificación, en el que los métodos más productivos fueron acompañados por un incremento de población. En estos casos, existía por lo general un contacto cada vez mayor entre áreas diferentes, coparticipes de unos intercambios crecientes. A menudo, las unidades sociales se hicieron también menos igualitarias, manifestando diferencias en el *status* y la posición personal, que los arqueólogos definen con la expresión *sociedades jerarquizadas*. A veces resulta apropiado utilizar el término *jefatura* (Capítulo 5).

Sin embargo, estos términos se suelen limitar a las sociedades no urbanas. La revolución urbana, la siguiente transformación importante que identificamos, no es sólo un cambio en el tipo de asentamiento: refleja profundas transformaciones sociales. La primera de ellas es el nacimiento de *sociedades estatales*, que presentan instituciones de gobierno mucho más diferenciadas que las jefaturas y a menudo conocen la escritura. Los primeros estados aparecen en el Próximo Oriente en torno al 3500 AC, en Egipto sólo un poco más tarde y en el Valle del Indo hacia el 2500 AC. En el Cercano Oriente, el nacimiento de centros conocidos, como Ur, Uruk y más tarde Babilonia, señaló el período de las primeras ciudades-estado mesopotámicas y fue seguido en el primer milenio AC de una época de grandes imperios, sobre todo los de Asiria y la Persia Aqueménida. En Egipto, es posible seguir el continuo desarrollo de las tradiciones culturales y políticas durante más de 2.000 años, desde la era de las pirámides del Imperio Antiguo hasta el poder imperial del Egipto del Imperio Nuevo. En el límite occidental

del Próximo Oriente, surgieron otras civilizaciones: la Minoica y la Micénica en Grecia y el Egeo durante el segundo milenio AC y la etrusca y romana en el primer milenio AC. En el extremo opuesto de Asia, surgen estados con centros urbanos en China, antes del 1500 AC, marcando los inicios de la civilización Shang. Casi al mismo tiempo, Mesoamérica presencié la aparición de los olmecas, la primera de una larga serie de civilizaciones de la América Central, que incluye a la Maya, Zapoteca, Tolteca y Azteca. En la costa sudamericana del Pacífico, las civilizaciones Chavín (desde el 900 AC), Moche y Chimú sentaron las

bases del vasto y poderoso Imperio Inca, que floreció en el siglo XV DC.

El complejo siguiente es el más conocido de la historia escrita, con la aparición del mundo clásico de Grecia y Roma, así como de China y más tarde del Islam, el Renacimiento europeo y la aparición de las potencias coloniales. Desde el siglo XVIII se viene produciendo la independencia de las antiguas colonias, primero en América y después en Asia y África. Ahora hablamos no sólo de estados, sino de naciones y, sobre todo en la época colonial, de imperios.

RESUMEN

La respuesta a la pregunta "¿Cuándo?" en arqueología se compone de dos elementos principales. Los métodos de datación relativa nos permiten determinar si una cosa es *relativamente* más antigua o más reciente que otra. Los métodos absolutos hacen posible dar una fecha en años. La datación arqueológica como tal es más fiable cuando se han utilizado conjuntamente los dos métodos, p. ej., cuando el orden relativo asignado a los niveles de una excavación se puede confirmar con fechas absolutas para cada estrato. Donde sea posi-

ble, deberían contrastarse los resultados de un método absoluto con los de otro, p. ej., el radiocarbono con la dendrocronología, las series del uranio con la termoluminiscencia.

Para terminar, la precisión de la datación que se logra para cada período ayuda a determinar el tipo de preguntas que hacemos sobre el pasado —para el Paleolítico, cuestiones sobre el cambio a largo plazo; para épocas posteriores, preguntas que se suelen interesar más por las variaciones a corto plazo del desarrollo humano a nivel mundial.

Lecturas Adicionales

Los títulos siguientes constituyen una buena introducción a las técnicas de datación más importantes utilizadas por los arqueólogos: Aitken, M.J. 1990. *Science-based Dating in Archaeology*. Longman: London & New York.
Bowman, S.G.E. 1990. *Radiocarbon Dating*. British Museum Publications: London.
Brothwell, D.R. & Higgs, E.S. (eds.). 1969. *Science in Archaeology*. (2ª ed.) Thames and Hudson: London; Praeger: New York. (Capítulos 1-8). (Hay traducción castellana: *Ciencia en arqueología*. México. 1980)

Fleming, S. 1976. *Dating in Archaeology: A Guide to Scientific Techniques*. Dent: London; St Martin's Press: New York.
Michael, H.N. & Ralph, E.K. (eds.). 1971. *Dating Techniques for the Archaeologist*. MIT Press: Cambridge, Mass.
Michels, J.W. 1973. *Dating Methods in Archaeology*. Seminar Press: New York.
Parkes, P.A. 1986. *Current Scientific Techniques in Archaeology*. Croom Helm: London & Sidney.
Tite, M.S. 1972. *Methods of Physical Examination in Archaeology*. Seminar Press: London & New York. (Capítulos 3-6.)