

El hombre primitivo.

En los libros escolares de ciencias naturales y sociales se enseña, en términos categóricos, que hay un tronco común del cual se originaron los grandes simios (pongidae) y los homínidos (hominidae); sin embargo, la verdad es que tal "tronco común" no pasa de ser una conjetura evolucionista de carácter dogmático. También se afirma que en determinado momento de la supuesta evolución biológica, los dos grupos se separaron y cada uno presentó su propia evolución; los "pongidae" dieron origen a los gorilas, chimpancés y orangutanes; y los "hominidae" u homínidos desembocaron en el "homo sapiens" (hombre actual).

Se considera que el "hombre primitivo", u hombre prehistórico, es el homo sapiens anterior al apareamiento de la escritura; y se dice que éste pertenece a un periodo de tiempo que va desde hace unos 150 000 años hasta hace aproximadamente 6 000 años (momento en el que se cree que se produjeron los primeros documentos escritos).

Todo esto contrasta enormemente con el relato del Génesis, cuya cronología arroja unos 6 000 años atrás como el punto inicial de la existencia humana o de la creación del hombre. Por consiguiente, cabe preguntarse: ¿Dónde se encuentra la verdad, en el Génesis o en la antropología evolutiva (disciplina que estudia el origen y la supuesta evolución de la humanidad)? ¿Estará la verdad repartida entre ambas fuentes de conocimiento? ¿Se hallará la verdad en otra u otras fuentes diferentes?



Fuentes históricas.

La Historia estudia la vida de los seres humanos a lo largo del tiempo, desde la aparición de los primeros hombres hasta nuestros días. Para medir el tiempo histórico es necesario establecer un año que nos sirva de referencia. En la cultura occidental el tiempo histórico se ha medido a partir del supuesto momento del nacimiento de Cristo; así hablamos de la época de antes de Cristo (aC) y de la época de después de Cristo (dC). Sin embargo otras culturas tienen como año de referencia otro acontecimiento histórico distinto, como es el caso de los musulmanes, que consideran nuestro año 622 dC como el año uno, o año de la Hégira (la Huida: cuando el profeta Mahoma tuvo que abandonar la ciudad de La Meca).

Los principales datos que se utilizan para reconstruir la Historia son textos escritos de épocas pasadas. Pero muchos teóricos aseguran que la mayor parte de la vida de nuestros antepasados se desarrolló en un período en que el hombre aún no había inventado la escritura, por lo que, según ellos, la mayor parte de la historia humana ha de ser reconstruida a partir de escasos restos materiales que se han conservado. Ese período, que hipotéticamente comprende muchos miles de años, recibe el nombre de Prehistoria. La Historia propiamente dicha comienza con la aparición de la civilización y de la escritura, hace unos cinco o seis mil años. La Historia ha sido dividida en cuatro edades para facilitar su estudio (según criterio occidental): Edad Antigua, Edad Media, Edad Moderna y Edad Contemporánea.

Conocer la vida de nuestros antepasados presenta grandes dificultades a los investigadores, ya que cuanto más lejana es la civilización menos información se puede encontrar. Los datos que permiten reconstruir el pasado del hombre se denominan "**fuentes históricas**", y se dividen en dos tipos:

- Fuentes escritas, que pueden ser fuentes directas, si se trata de documentos escritos en la misma época que se investiga, o fuentes indirectas, si fueron elaboradas en un periodo posterior.
- Fuentes arqueológicas, que son restos materiales, como fósiles, instrumentos, cerámica, partes de edificios, etc.

La Arqueología es un método de reconstrucción del pasado, centrado en la búsqueda de restos materiales. Es una herramienta fundamental para estudiar aquellas poblaciones humanas de las que no hay testimonio escrito. Las excavaciones arqueológicas permiten sacar a la luz gran cantidad de datos sobre el pasado del territorio, y, en general, éstos son tanto más imprecisos cuanto mayor antigüedad tienen. Un yacimiento arqueológico es utilizado por los expertos como si fuera un libro misterioso, lleno de enigmas y

rompecabezas; de ahí la obligada y pródiga faceta conjetural de la inmensa mayoría de las interpretaciones arqueológicas.

Arqueología.

La Arqueología (del griego «archaios», viejo o antiguo, y «logos», ciencia o estudio) es una disciplina académica que estudia los cambios que se producen en la sociedad, a través de restos materiales distribuidos en el espacio y el tiempo. Debe abandonarse la visión tradicional de Arqueología como ciencia auxiliar de la Historia, pues la Arqueología se ocupa de la Prehistoria (de la cual no se ocupa la Historia), ya que pretende complementar con documentos materiales aquellos períodos insuficientemente iluminados por las fuentes escritas.



El quehacer arqueológico comienza por la Prospección, o exploración de un territorio en busca de indicios materiales que muestren la existencia de un yacimiento (enclave geográfico donde se hallan restos de interés arqueológico); la prospección busca conocer el modelo de poblamiento de los grupos humanos en una época concreta o a través del tiempo. Tras la prospección viene la Excavación, la cual supone alterar el terreno para descubrir en él objetos de importancia arqueológica, por lo que se exige minuciosidad, prudencia y una buena documentación (informe escrito, fotografías, etc.) de las tareas y hallazgos excavatorios; pues la arqueología es una actividad destructiva irreversible ya que supone la alteración del lecho arqueológico y no es posible excavar lo mismo más de una vez. Tras la excavación se llega, finalmente, al Procesamiento de los datos y objetos obtenidos, el cual implica un análisis exhaustivo de los mismos, la aplicación de métodos de limpieza apropiados, uso de tecnología de laboratorio, el siglado (catalogado e identificación mediante claves o siglas) y el registro (inventario completo de todos los hallazgos); precisamente los denominados "métodos de datación arqueológica" forman parte prominente de los trabajos de procesamiento.

Datación arqueológica.

Como se sabe, la Arqueología no es un mero juego intelectual basado en la búsqueda de objetos del pasado. Intenta explicar los orígenes de la humanidad y su desarrollo a través del tiempo, contribuyendo en la medida de lo posible a dar respuesta a una vieja cuestión existencial que siempre ha espoleado al hombre: ¿De dónde venimos? (las otras dos cuestiones existenciales son: ¿Por o para qué estamos aquí? y ¿Hacia dónde vamos?).

La mayor parte de los arqueólogos han sido afectados por la visión evolucionista de los acontecimientos, por lo que suponen la existencia de un gran periodo de tiempo denominado Prehistoria e intentan elucidar al máximo los detalles de ese hipotético lapso ancestral de la vida humana. En su mayoría, pues, desean probar de manera incontestable la procedencia simiesca del ser humano; pero dicha pretensión se ha topado con muchos escollos, como veremos más adelante. Por otra parte, hay arqueólogos que intentan despejar la incógnita planteada por las aseveraciones de algunos grupos ufológicos acerca de un supuesto origen extraterrestre de la vida humana; también hay arqueólogos que creen en el relato del Génesis y desean confirmar el punto de vista creativo de dicho relato.

Los datos arqueológicos obtenidos de un pasado remoto de la humanidad se consideran de exquisita importancia, puesto que acercan a los científicos a la contestación de la pregunta "¿de dónde venimos?". Pero sucede que es mucho más fácil datar yacimientos romanos o egipcios, por ejemplo, que yacimientos

pertenecientes al denominado "periodo paleolítico" de la prehistoria. La razón principal de esto estriba en que los yacimientos de épocas más recientes aportan una gran cantidad de objetos e inscripciones, mientras que los yacimientos prehistóricos aportan una cantidad mínima de materiales y ninguna clase de grabado alfabético. Por lo tanto, los yacimientos considerados prehistóricos requieren el uso de una multitud de sistemas de datación arqueológica.



Los métodos o sistemas de datación arqueológica son agrupados en dos grandes categorías, de acuerdo con los resultados cronológicos estimados por los profesionales: Métodos de datación absoluta y métodos de datación relativa. Los métodos de datación absoluta arrojan fechas de datación del yacimiento muy cercanas a la realidad, es decir, con una aproximación muy exacta; el problema es que en este tipo de datación sólo es posible constatar el error cronológico cometido cuando se trata de yacimientos de materiales muy cercanos a nuestro tiempo y, por lo tanto, pertenecientes a una época histórica bastante reciente. No obstante, a veces nos encontramos con yacimientos que aportan reliquias de un pasado relativamente cercano en el tiempo y sin embargo son muy difíciles de datar en términos absolutos (o con precisión); tal es el caso de algunos descubrimientos arqueológicos efectuados en el Próximo Oriente, los cuales, aunque ofrecen una amplia documentación (con tablillas escritas y fechadas), los historiadores todavía son incapaces de sincronizar sus fechas con los sistemas de cómputo actuales (es decir, con nuestros calendarios modernos). Por lo tanto, los supuestos métodos de datación absoluta, al estar condicionados en general por una mala estimación del error cronométrico cometido, se convierten en muchos casos en simples dogmas de fe datacionales.

Los métodos de datación relativa se consideran poco fiables a priori, con un margen de error bastante amplio y, consecuentemente, una mala aproximación a la realidad. Entre estos métodos figuran los siguientes: la estratigrafía, la tipología, las huellas geológicas, la hidratación de la obsidiana y la racemización de los aminoácidos. Por lo tanto, no nos detendremos en ellos.

Datación absoluta.

Los métodos de datación absoluta se suponen fiables a priori, con un margen de error bastante pequeño y, consecuentemente, una buena aproximación a la realidad. Entre estos métodos destacan los siguientes: la dendrocronología, el carbono-14, la RES, el potasio-argón, el uranio-plomo, la termoluminiscencia y las huellas de fisión. Sin embargo, tales suposiciones de fiabilidad son más dogmáticas que reales, ya que pueden producir, y de hecho producen (sobre todo las dataciones radiométricas), errores colosales.

Dendrocronología.

La Dendrocronología es una técnica de datación que tiene como finalidad la creación de cronologías a partir del estudio de los anillos de crecimiento de los árboles, los cuales son un reflejo de las condiciones medioambientales y de las variaciones del ecosistema. Desde tiempos ancestrales, los árboles han tenido un peso importante en la cultura de muchos pueblos. Incluso ahora nos sentimos atraídos por los árboles y parte del turismo se desplaza para ver grandes árboles centenarios, como el "Hyperion" (el secuoya milenaria de California).

Por tanto, los árboles siempre han sido importantes, ya sea como parte fundamental del paisaje o como estructuras vivientes con personalidad propia. Pero son algo más que simples ornamentos, pues pue-

den vivir durante muchos años y son un importante registro viviente de los cambios climáticos que les han ido afectando (a ellos y al entorno) a lo largo del tiempo. Los troncos de los árboles hablan por sí solos, pero hay que aprender su lenguaje para entenderlos. La Dendrocronología es la rama de la ciencia que estudia, a través de los troncos de los árboles, estas variaciones a lo largo del tiempo. La propia palabra se define a sí misma: en griego "dendron" quiere decir "árbol", "crono" significa "tiempo" y "logo" se puede traducir por "conocimiento".

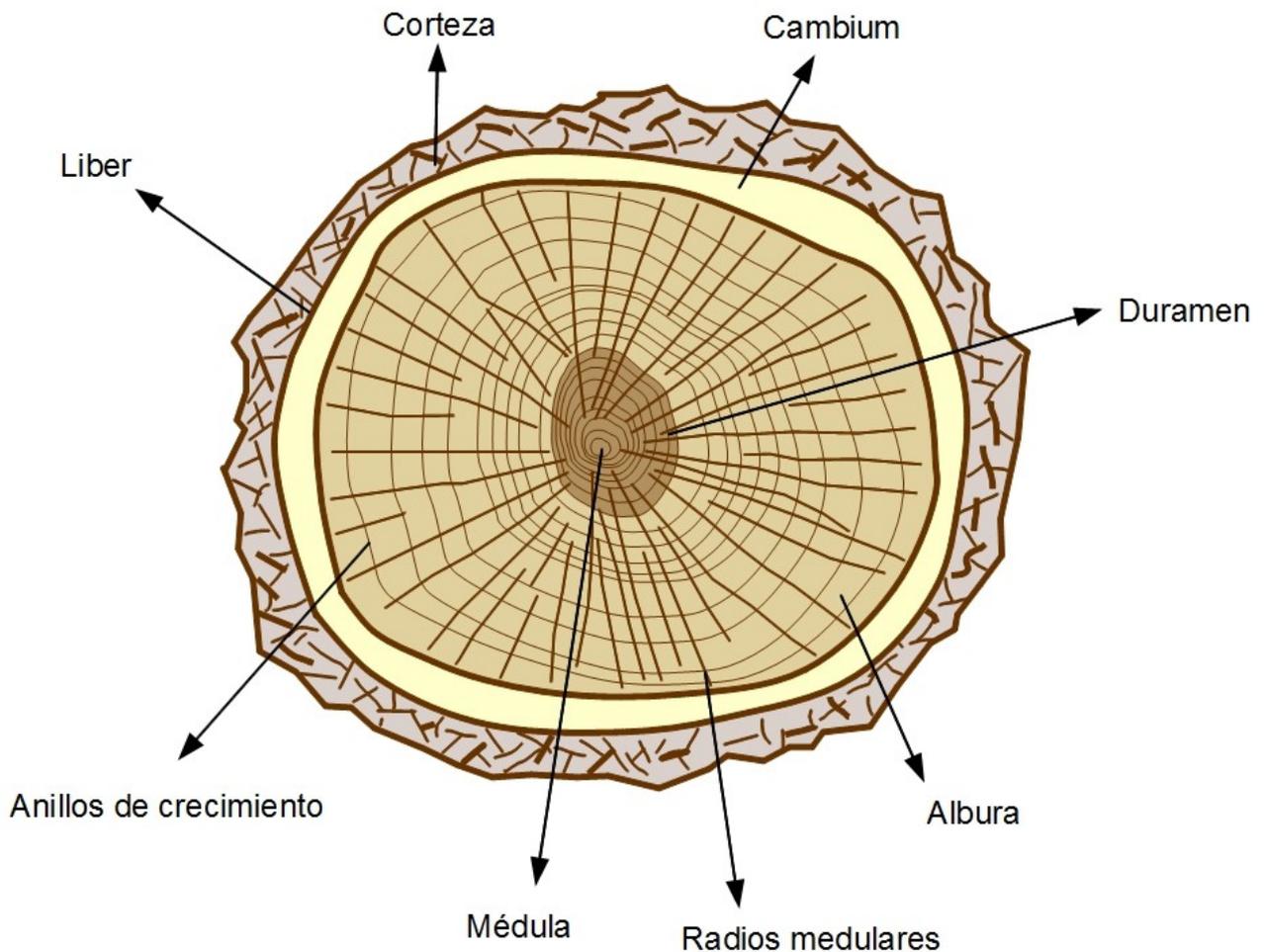


Los árboles, del mismo modo que todos los organismos vivos, experimentan un crecimiento durante su vida. El crecimiento se debe a la formación y expansión de nuevas células, que dan lugar a nuevos tejidos y órganos. En los árboles, el crecimiento se lleva a cabo sólo en unas zonas concretas de su organismo denominadas "meristemos". Los meristemos están formados por agrupaciones de células que tienen una elevada capacidad para dividirse y generar nuevas células, que a su vez formarán nuevos tejidos. Hay dos tipos de meristemos: los "meristemos primarios", que son los primeros en actuar y los responsables del crecimiento en altura, y los "meristemos secundarios", que actúan después de aquéllos y regulan el crecimiento en grosor.

El meristemo secundario está constituido por una fina capa de células, que envuelven el árbol por debajo de la corteza. Su actividad produce capas de madera por debajo de la corteza. De modo que el árbol experimenta un crecimiento en grosor o centrífugo, siendo la última parte formada la que se encuentra justo debajo de la corteza. Pero el crecimiento de los árboles no es continuo: se detiene cuando las condiciones son desfavorables y se reinicia cuando las condiciones climáticas vuelven a ser favorables. Cada vez que se detiene el crecimiento, queda una marca visible en la madera que forma los conocidos anillos de crecimiento. Cada anillo corresponderá a un ciclo de crecimiento, dentro del grosor del árbol.

Los ciclos de crecimiento de los árboles están altamente determinados por las condiciones ambien-

tales a las que se ve sometido el árbol en cuestión. En regiones climáticas con estaciones bien diferenciadas unas de otras, como ocurre en la zona del Mediterráneo, se forma un anillo por año porque cada año presenta condiciones favorables y condiciones desfavorables; la producción de nueva madera es rápida al principio de la primavera porque la temperatura es suficientemente elevada y hay disponibilidad de agua, pero a medida que avanza el verano la producción va disminuyendo a causa de la escasez de agua y se detiene totalmente en otoño e invierno, cuando las temperaturas son demasiado bajas. Las diferencias en la velocidad de formación quedan reflejadas en las características de la madera (mayor o menor grosor, diferente coloración de la madera según la época de crecimiento, etc.) y esto es lo que nos permite percibir la diferenciación de los anillos.



NOTA:

El corte transversal de un árbol, o tronco leñoso, presenta las siguientes capas, aproximadamente concéntricas, de fuera adentro:

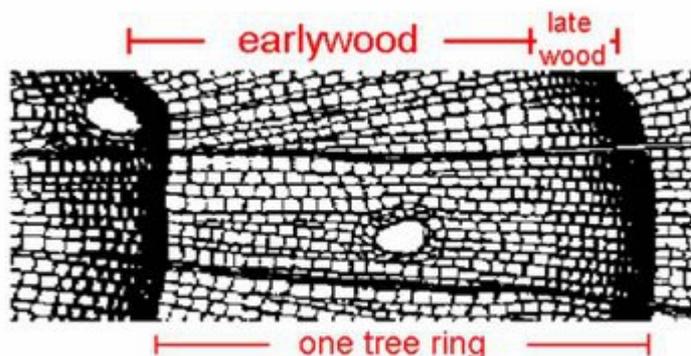
CORTEZA o corcho: compuesta por células muertas. Sirve como capa de protección y está constituida, como se ha dicho, por tejido muerto.

LÍBER: Capa encargada de conducir la denominada "savia elaborada" del árbol, haciéndolo en sentido descendente (desde las hojas hacia las raíces). Esta savia elaborada consiste en los alimentos fabricados en la fotosíntesis y el oxígeno absorbido del aire usado en la respiración. El líber puede tener fibras largas y muy fuertes, las que en algunos casos constituyen la materia prima de la que se obtienen fibras comerciales. La savia elaborada está compuesta principalmente por agua, azúcares, aminoácidos, fitohormonas y minerales disueltos, que constituyen el alimento de las células no fotosintéticas de la planta.

CÁMBIUM: Es una capa de células vivas que son las que se produce el crecimiento en grosor del tallo. Este cámbium puede ser muy delgado. Este meristemo secundario de células, difícil de observar a simple vista, es donde continuamente se forman y multiplican las células del leño. El crecimiento en grosor del tronco en esta

zona origina capas concéntricas de células de madera o xilema, haciéndolo en gran proporción hacia el interior, y células de liber secundario y corteza secundaria, en escasa proporción hacia el exterior. Periódicamente dichas capas conforman los llamados anillos de crecimiento, discernibles unos de otros debido a la presencia más o menos nítida de capas de corteza secundaria.

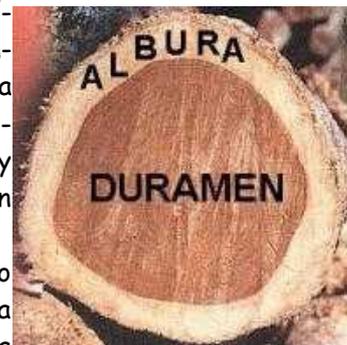
ANILLOS DE CRECIMIENTO: Marcan las etapas de crecimiento anual del árbol. Se deben al crecimiento de la actividad vegetativa en primavera y verano. ¿Cómo se forman estos anillos? La parte interna del anillo se forma en la estación de crecimiento y se llama "madera temprana" (earlywood), y la externa "madera tardía" (latewood). La estación de crecimiento varía de unos lugares a otros; por ejemplo, la madera temprana se forma a principios del verano en Canadá y en otoño en algunas especies del Mediterráneo. Pero en regiones que no están marcadas por diferencias estacionales acusadas, el desarrollo de estos anillos es relativamente imperceptible.



RADIOS MEDULARES: Son láminas delgadas formadas por un tejido que sirve para almacenar y distribuir los nutrientes que aporta la savia descendente o elaborada. En un corte transversal de un tronco se observan estos radios medulares cuya función primordial es la de almacenar sustancias de reserva (almidones sobre todo).

ALBURA: Se puede considerar como la "madera viva" de un árbol, ya que es un tejido biológicamente activo cuya función primordial es la conducción de agua con sales minerales desde las raíces al follaje (sentido ascendente). La "savia bruta" es un nutriente para las plantas compuesta por agua y sales minerales. La planta recoge con sus raíces la savia bruta del suelo y ésta asciende por la albura de su tallo hacia las hojas. En comparación con el duramen o corazón, la albura es de color más claro, más liviana y suave, y es muy susceptible al ataque de hongos e insectos. El término popular con el que se le conoce es "lo blanco de la madera".

DURAMEN: Es la madera de la parte interior del tronco; es de color más oscuro y también es la más resistente y durable. El duramen es el lugar donde la planta va almacenando las sustancias de deshecho; es decir, se convierte en la parte muerta del árbol. Localizada en la zona central del tronco. Representa la parte más antigua del árbol, y tiende a ser de color oscuro y de mayor durabilidad natural.



MÉDULA: Es la parte central de árbol y está constituida por un tejido poroso. Su tamaño disminuye al envejecer el árbol. Está formada por células débiles o muertas, a veces de consistencia corchosa. Su diámetro varía entre menos de un milímetro hasta más de un centímetro, según la especie. Se puede usar para hacer tapones para botellas (mal llamados "tapones de corcho").

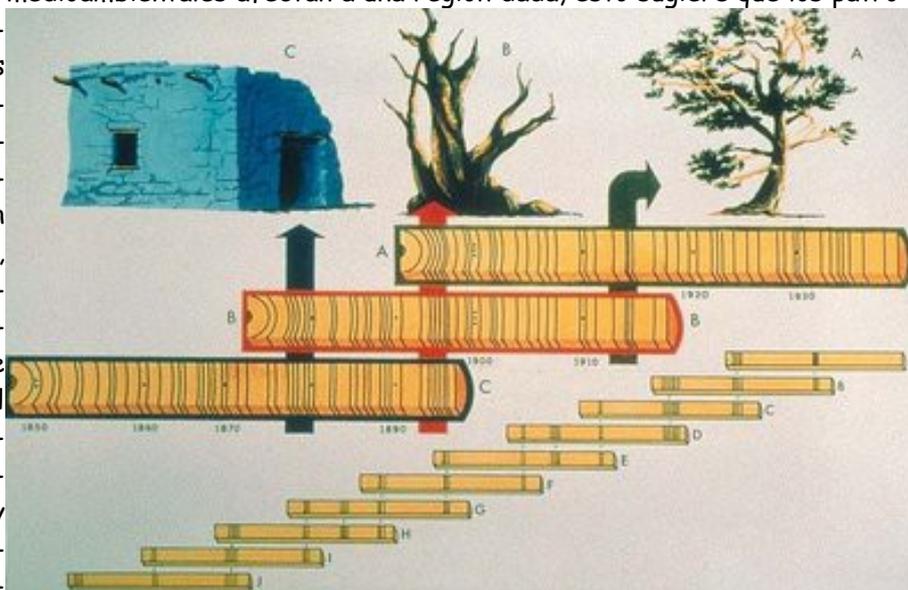
NOTA (bis):

¿Cómo se realiza la toma de muestras y la datación en dendrocronología? Hay que tener presente que la anchura de los anillos depende principalmente de la humedad disponible y la temperatura. La situación se complica cuando hay otros árboles cercanos y se desata una competición por el espaciado de las raíces, la luz y los nutrientes. Es por esto que los árboles que crecen en los márgenes boscosos son los que mejor registran cambios climáticos. Especies diferentes de árboles responden de forma diferente a las condiciones medioambientales, y de esta manera los factores involucrados pueden aislarse e identificarse fácilmente. Normalmente para este tipo de estudios se seleccionan árboles que crecen en áreas que están sometidas a un cierto estrés medioambiental, ya que, si el clima no afecta al crecimiento, no podemos extraer ninguna señal de que haya ocurrido un cambio en el mismo. Al recoger las muestras normalmente nos concentramos en estas zonas sensibles a los cambios, aunque debemos tener en cuenta otros factores, también involucrados, como la pendiente, el mayor o menor grado de exposición, la topografía, orientación, insolación, riesgo de inundación, etc.

Las muestras han de estar lo más intactas posible, por lo que no deben poseer restos de incendios, enfermedades, actividad humana (cortes), etc. El número de muestras dependerá del caso (aconsejable 10-20 ár-

boles por especie). El muestreo ha de ser lo más representativo posible. Si hay un árbol que no creció durante un año determinado, se retirará del recuento. Acto seguido las muestras se llevan al laboratorio, donde se realiza lo que se llama la "datación-cruzada".

Sabiendo que los mismos factores medioambientales afectan a una región dada, esto sugiere que los patrones característicos de anchura de anillos serán comunes en unos y otros proporcionando así pistas que permiten detectar los cambios climatológicos producidos en la zona. Relacionando y analizando las variaciones en las características de estos anillos, especialmente los de zonas sometidas a condiciones extremas, podemos correlacionar varios grupos de anillos y así identificar el año en el que el anillo se formó. Siguiendo estos patrones de comparación se pueden relacionar regiones enteras y establecer una cronología (generalmente de atrás hacia delante, es decir, desde fechas actuales a pretéritas; y siempre para una región geográfica muy pequeña). Estas edades se pueden a su vez comparar con otras escalas cronológicas conocidas y tal vez determinar así más exactamente su edad.



Si intentamos calibrar las edades medidas en anillos individuales con su edad real (contando anillos) y las comparamos con métodos de datación de Carbono-14 veremos que no coinciden, ya que el contenido de ^{14}C (o Carbono-14) en la atmósfera varía con el tiempo. Esto verdaderamente entorpece la labor si deseamos obtener datos cronológicos de más de un milenio de antigüedad.

Después de realizar la datación cruzada se pueden medir otras propiedades, como la densidad de los anillos y su contenido en isótopos (oxígeno y carbono), entre otras. Este último análisis nos permite extraer información acerca de cambios en la composición de la atmósfera y patrones de precipitación.

Una consecuencia directa de esta técnica es la de poder interpretar o reconstruir temperaturas del pasado midiendo ciertas propiedades de los anillos. La temperatura del aire se puede asociar con el crecimiento de los anillos en lugares en los que el crecimiento de los árboles está limitado, bien latitudinalmente o por altitud (Kullman 1998, Kroner 1999).

Medidas de estos parámetros en anillos de árboles que crecen en regiones donde la temperatura afecta su crecimiento muestran que en el siglo XX se produjo un calentamiento anormal no replicable durante los últimos 1500 años. Se cree que actualmente el crecimiento de anillos no está dado únicamente por la temperatura, sino por el aumento de dióxido de carbono en la atmósfera (Gregory C. Wiles, 1996).

Según el consenso general de expertos, la datación dendrocronológica viene a ser la técnica más fiable que existe para fechar muestras de antigüedad inferior a unos pocos centenares de años. Por eso, como comenta, en parte, la revista DESPERTAD del 22-9-1986, páginas 21-26 (publicada en español y otros idiomas por la Sociedad Watch Tower Bible And Tract):

«Los que han empleado el radiocarbono para fechar han resuelto normalizar sus fechas con la ayuda de muestras de madera datadas por la cuenta de los anillos anuales de los árboles, en especial los del pino aristado, que vive por centenares y hasta miles de años en la región sudoeste de los Estados Unidos. A este campo de estudio se le llama dendrocronología.

Por lo tanto, ya no se cree que el reloj de radiocarbono dé una cronología absoluta, sino una de fechas relativas. Para obtener la edad verdadera, la fecha de radiocarbono tiene que ser corregida mediante la cronología basada en los anillos arbóreos. Por esto, al resultado de una medición de radiocarbono se le conoce como "fecha de radiocarbono". Al someter esta fecha a cotejo por una curva de calibración basada en los anillos arbóreos se deduce la fecha absoluta.

Esto es válido hasta donde se pueda considerar confiable la cuenta de los anillos del pino aristado.

CORTE TRANSVERSAL DE UN TRONCO Y TOCÓN



Ahora se presenta el problema de que el árbol viviente más antiguo cuya edad se conoce se remonta solamente hasta el año 800 E.C. Para extender la escala, los científicos tratan de parear por superposición el pa-

trón de anillos gruesos y delgados de madera muerta de los alrededores. Juntando 17 restos de árboles caídos, aseguran poder remontarse a más de 7.000 años en el pasado.

Pero las mediciones por los anillos arbóreos tampoco subsisten por sí solas. A veces hay incertidumbre en cuanto a dónde exactamente colocar un trozo de un árbol muerto, y por eso, ¿qué hacen? Solicitan que se le haga una medición de radiocarbono y luego se basan en ésta para colocarla en su lugar. Esto nos recuerda a dos cojos que tienen una sola muleta y se turnan para usarla; mientras uno la usa, el otro se apoya en él para mantenerse en pie.

Uno tiene que preguntarse cómo es posible que se hayan preservado trozos de madera al aire libre por tanto tiempo. Parecería más probable que las fuertes lluvias se los hubieran llevado, o que alguien que pasara los hubiera recogido para usarlos como leña o darles otro uso. ¿Qué impidió su putrefacción, o que fueran atacados por los insectos? Es verosímil que un árbol vivo resista los estragos del tiempo y el clima, y que a veces uno de ellos viva mil años o más. Pero ¿qué hay de la madera muerta? ¿Subsistió por seis mil años? Raya en lo increíble. Sin embargo, en esto se basan las fechas de radiocarbono más antiguas.

A pesar de esto, los expertos en radiocarbono y los dendrocronólogos se las han arreglado para poner a un lado dudas de esa índole y conciliar las diferencias e inconsecuencias, y se sienten satisfechos con el compromiso a que han llegado. Pero ¿qué hay de sus clientes, los arqueólogos? No siempre están contentos con las fechas que reciben para las muestras que envían. En [una] conferencia [celebrada en] Upsala uno de ellos se expresó así: "Si una fecha obtenida mediante el carbono 14 apoya nuestras teorías, la ponemos en el cuerpo del texto. Si no la contradice enteramente, la ponemos a pie de página. Y si es completamente 'inoportuna', la abandonamos"».

Después de haber visto que la técnica mejor reputada para obtener fechas exactas (la dendrocronología) es más bien inexacta a partir de dos o tres siglos en el pasado, tenemos que concluir que de nada nos sirve ésta para la datación prehistórica. Los supuestos restos arqueológicos del denominado "hombre prehistórico o primitivo" no pueden ser estudiados cronológicamente mediante la dendrocronología.

Termoluminiscencia.

Se conoce por termoluminiscencia a toda emisión de luz, independiente de aquella provocada por la incandescencia, que emite un sólido aislante o semiconductor cuando es calentado. Se trata de la emisión de una energía previamente absorbida como resultado de un estímulo térmico. Esta propiedad física, presente en muchos minerales, es utilizada como técnica de datación.

La técnica arqueológica de fechar cuarzo se le llama Datación por termoluminiscencia. La radiación que cae sobre la tierra desde el espacio (los rayos cósmicos) produce cambios en la estructura cristalina del cuarzo, que se acumula con el tiempo. Cuando se calienta cuidadosamente el cuarzo, la estructura cristalina vuelve a la normalidad; pero cuando lo hace, emite luz. Cuanto más tiempo han sido radiados, más luz emiten los granos de cuarzo. Al medir las longitudes de onda, y compararlas con elementos previamente datados, se puede obtener el tiempo que ha estado expuesto a la intemperie el cuarzo, uno de los elementos más comunes de la corteza terrestre.

Actualmente la termoluminiscencia se aplica para fechar cerámica, pero también otros materiales que hayan sido expuestos al calor o hayan sufrido un calentamiento importante en su fabricación o durante su utilización; caso del sílex quemado y las estructuras líticas de los hogares. Por lo tanto, los expertos creen que una de las principales ventajas de este método de datación consiste en que lo que se fecha es siempre una actividad humana, a saber, el calentamiento del mineral (la cocción de la cerámica, por ejemplo), y no algo que quizás es anterior o posterior, como sí puede ocurrir con el Carbono-14.

Sus defectos, que no son pequeños, llegan de lo sofisticado del método y de la necesidad de un conocimiento exacto de las condiciones de enterramiento de la muestra. Esta última exigencia demanda que el muestreo sea preparado con antelación, porque no se puede destinar al análisis cualquier fragmento. Como contrapartida, los entendidos aseguran que en las mejores condiciones favorables (hecho fortuito y sumamente improbable, porque no se puede saber con certeza cuál es error cometido), se puede conseguir un intervalo de fechas con un 90% de aproximación respecto a la edad absoluta.



NOTA:

A partir de la Wikipedia y de otras fuentes, podemos decir que la termoluminiscencia (TL) ha proporcionado un método de datación arqueológico para determinar fundamentalmente la edad de elementos artificiales de construcción y de cerámica que han sido sometidos a calentamiento, como cristales y lozas. Se basa en las alteraciones que provocan las radiaciones ionizantes (radiación cósmica y radiactividad del entorno) en las estructuras cristalinas de los minerales; aumentando la termoluminiscencia de éstos con el tiempo de exposición a la radiación. Para poder emplear este método es necesario que el elemento que va a ser datado (cerámica, piedra de horno, etc.) contenga minerales termoluminiscentes (normalmente cuarzo) y que se haya visto sometido a una temperatura superior a 500 °C.

La termoluminiscencia (TL) es la emisión de luz por parte de ciertos minerales o sustancias cristalinas cuando son calentados. Esta emisión no debe confundirse con la producida por la incandescencia. Para que se produzca este fenómeno (la TL) se deben de cumplir tres requisitos: 1) El material ha debido recibir radiación durante un cierto periodo de tiempo; 2) Debe ser un material aislante o semiconductor; 3) Hay que calentar el material.

La radiación ionizante provoca, al incidir sobre un material, que los electrones y los huecos electrónicos (ver NOTA-bis siguiente) puedan quedar atrapados en imperfecciones de la red cristalina (trampas), entre la banda de conducción y la banda de valencia. Cuanto mayor es el tiempo de exposición a la radiación, mayor es el número de electrones y huecos que pueden quedar atrapados en las trampas. Al calentar el material, los electrones y los huecos se "liberan", volviendo a su estado natural y deshaciéndose del exceso de energía que habían adquirido, emitiendo tal exceso en forma de fotones. La fluorita, el apatito y la calcita son ejemplos de minerales termoluminiscentes.

La datación por termoluminiscencia parte de la base de que todo cuerpo que ha sido sometido a una determinada temperatura pierde su termoluminiscencia al haber "liberado" a los electrones de las trampas. Dichas trampas volverán a albergar a electrones a medida que reciban de nuevo radiación. Por ende, la edad en años (a) de un objeto que ha sido calentado (cerámica, por ejemplo) será igual a la cantidad de radiación absorbida por el objeto desde su horneado ancestral o paleodosis (p) dividida por la cantidad de radiación que se supone que recibe al año o dosis anual (d):

$$a = p/d$$

La dosis anual (d) proviene de dos fuentes, una interna (i) y otra externa (e). La dosis de radiación interna (i) se corresponde con emisiones de partículas alfa, partículas beta y rayos gamma procedentes del uranio (U), torio (Th), potasio (K) y rubidio (Rb) radiactivos presentes en el elemento que se quiere datar.

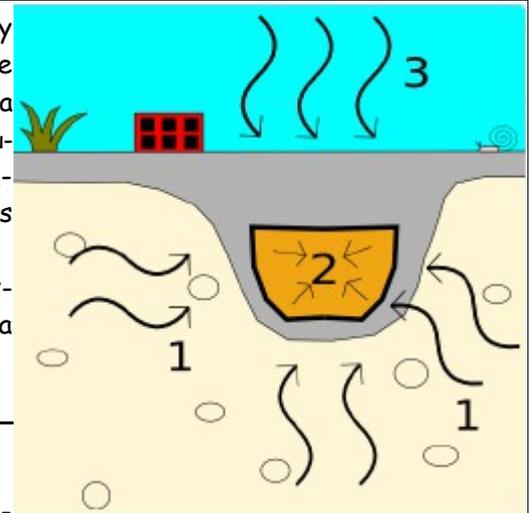
La dosis de radiación externa (e) proviene de los rayos cósmicos y de los núcleos radiactivos presentes en el sedimento. Debido a que las partículas alfa y beta tienen poca capacidad de penetración, a la muestra que se va a datar se le eliminan en profundidad 2 mm de su superficie, por lo que ya sólo hay que tener en cuenta a los rayos gamma. Se asume, como hipótesis irreal, que la dosis suministrada por los rayos cósmicos es constante.

Por consiguiente, teniendo en cuenta que la dosis de radiación externa (e) queda reducida al sumatorio de la radiación cósmica (c) y la radiación gamma (g), obtenemos:

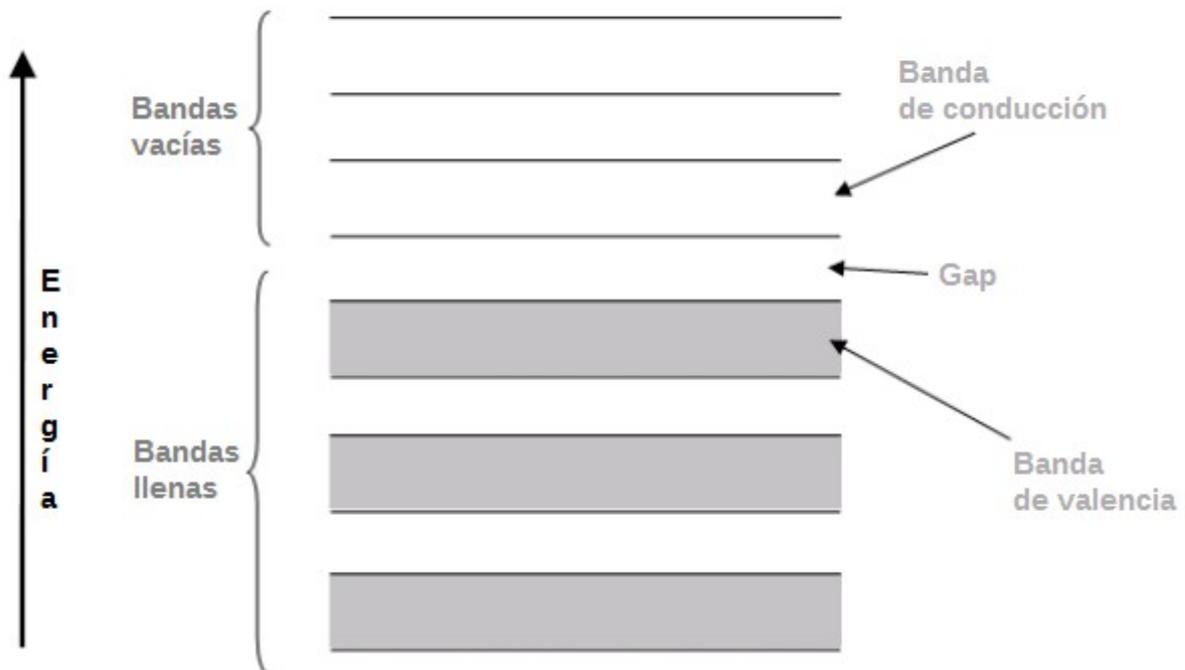
$$d = i + e = i + (c + g)$$

NOTA-bis:

Cuando una gran cantidad de átomos se unen, como en las estructuras sólidas, el número de orbitales de valencia (los niveles de energía más altos, correspondientes en el modelo atómico de Rutherford a la capa electrónica más externa) es tan grande y la diferencia de energía entre cada uno de ellos tan pequeña que se puede considerar como si los niveles de energía conjunta formarían bandas continuas más bien que niveles de energía en solitario como ocurre en los átomos aislados. Sin embargo, debido a que algunos intervalos de energía no contienen orbitales, independiente del número de átomos agregados, se crean ciertas brechas energéticas entre las diferentes bandas.



Esquema de un fragmento de cerámica en un yacimiento arqueológico donde se muestran los distintos tipos de radiación ionizante que inciden sobre ella: 1, radiactividad del entorno; 2, radiactividad emitida por la propia cerámica y 3, rayos cósmicos.



Representación esquemática de las bandas de energía en un sólido.

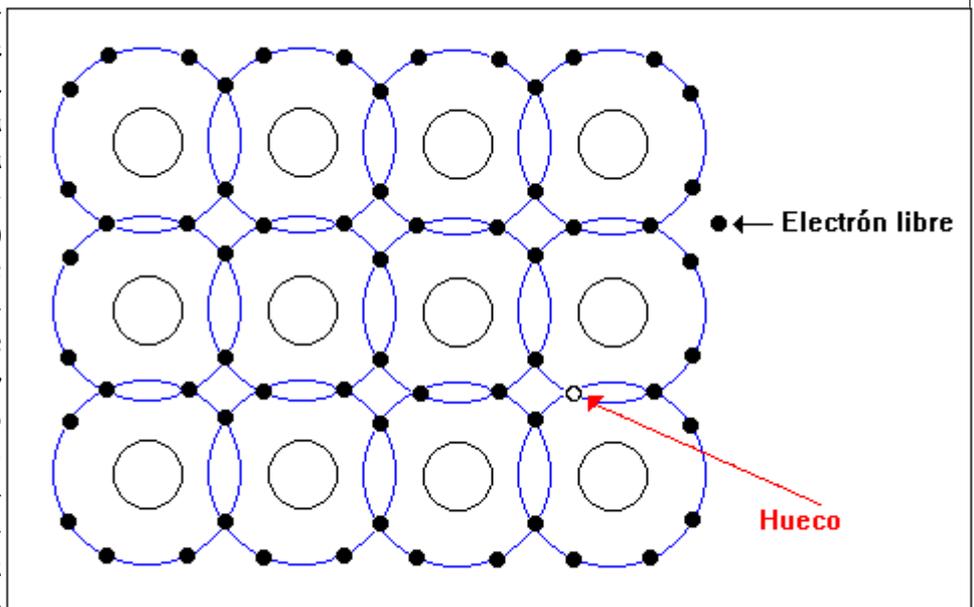
Dentro de una banda, los niveles de energía son tan numerosos que tienden a considerarse continuos si se cumplen dos hechos: 1) Cuando la separación entre niveles de energía en un sólido es comparable con la energía que los electrones constantemente intercambian en fotones; 2) Cuando dicha energía es comparable con la incertidumbre energética debido al "principio de incertidumbre de Heisenberg", para periodos relativamente largos de tiempo.

La banda de valencia (BV) está ocupada por los electrones de valencia de los átomos, es decir, aquellos electrones que se encuentran en la última capa o nivel energético de los átomos. Los electrones de valencia son los que forman los enlaces entre los átomos, pero no intervienen en la conducción eléctrica. La banda de conducción (BC) está ocupada por los electrones libres, es decir, aquellos que se han desligado de sus átomos y pue-

den moverse fácilmente. Estos electrones son los responsables de conducir la corriente eléctrica. Entre la banda de valencia y la de conducción existe una zona denominada banda prohibida o "gap", que separa ambas bandas y en la cual no pueden encontrarse los electrones.

En consecuencia, para que un material sea buen conductor de la corriente eléctrica debe haber poca o ninguna separación entre la BC y la BV (las cuales pueden llegar a solaparse); de manera que los electrones puedan saltar entre las bandas. Cuando la separación entre electrones sea mayor, el material se comportará como un aislante. En ocasiones, la separación entre bandas permite el salto entre las mismas de sólo algunos electrones; en estos casos, el material se comportará como un semiconductor. Para que el salto de electrones entre bandas en este caso se produzca, deben darse alguna o varias de las siguientes situaciones: que el material se encuentre a altas presiones, que se encuentre a una temperatura elevada o que se le añadan impurezas (las cuales aportan más electrones).

Un hueco de electrón, o simplemente hueco, es la ausencia de un electrón en la banda de valencia. Tal banda de valencia estaría normalmente completa sin el "hueco". Una banda de valencia completa (o casi completa) es característica de los aislantes y de los semiconductores. La noción de "hueco" en este caso es esencialmente un modo sencillo y útil para analizar el movimiento de un gran número de electrones, considerando ex profeso a esta ausencia o hueco de electrones como si fuera una partícula elemental o -más exactamente- una cuasipartícula.



Considerado lo anterior, el hueco de electrón es entendido, junto al electrón, como uno de los portadores de carga que contribuyen al paso de corriente eléctrica en los semiconductores. El hueco de electrón tiene valores absolutos de la misma carga que el electrón pero, contrariamente al electrón, su carga es positiva. Aunque bien corresponde el recalcar que los huecos no son partículas como sí lo es -por ejemplo- el electrón, sino la falta de un electrón en un semiconductor; a cada falta de un electrón -entonces- resulta asociada una complementaria carga de signo positivo (+).

La descripción figurada de un hueco de electrón, como si se tratara de una partícula equiparable al electrón aunque con carga eléctrica positiva, es en todo caso didácticamente bastante útil al permitir describir el comportamiento de estos fenómenos de una forma teórica digerible. Otra característica peculiar de los huecos de electrón es que su movilidad resulta ser menor que la de los electrones propiamente dichos.

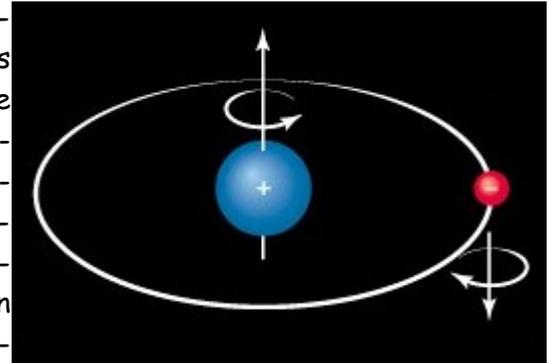
Resumiendo. La base del método de la TL está en que cuando un mineral que ha sido así ionizado es calentado, los electrones se liberan de la malla cristalina y son recapturados por los átomos, produciéndose una emisión luminosa (termoluminiscencia) que es proporcional al número de electrones recapturados. De este modo, al calentar un mineral termoluminiscente obtenemos una luz cuya intensidad nos permite conocer la cantidad de electrones retenidos en la red cristalina, que, a su vez, nos informa de la dosis de radiación recibida por un mineral o paleodosis. Si medimos la dosis de radiación anual del sedimento del que procede la muestra, basta dividir la dosis total del mineral (deducida a través de la termoluminiscencia) por la dosis anual para conocer el número de años transcurridos desde que la última vez que el mineral fue desionizado por efecto del calor. Evidentemente, esta técnica sólo es aplicable a minerales que hayan sido expuestos a la luz solar intensa, como arcillas, o a la acción del fuego, tales como sílex quemados y cerámicas. También hay que reconocer que el valor de la dosis de radiación anual presenta una objeción importante para la fiabilidad del resultado final de la datación, puesto que se supone uniforme para todo

el intervalo temporal que engloba a la totalidad de años en que la muestra permanece en el sedimento.

Ante esta perspectiva, no extraña que la "Encyclopaedia Britannica" (edición de 1976) diga lo siguiente en su tomo 5, página 509: "Esperanza más bien que logro es lo que principalmente caracteriza la condición de la datación por termoluminiscencia en la actualidad". Por consiguiente, la datación de supuestos utensilios prehistóricos usados por el "hombre primitivo" encuentra aquí, en el método TL, una herramienta más conjetural que real; y evidentemente tampoco nos ofrece un recurso fiable para intentar recomponer el pasado cronológico de la humanidad prediluviana (de hace más de 4 500 años atrás, aproximadamente).

RES (resonancia electrónica de spin).

La datación por RES forma parte del grupo de métodos denominados "paleodosimétricos", al igual que aquéllos basados en los fenómenos de la luminiscencia (TL, por ejemplo). A diferencia de los métodos radiométricos (K-Ar, radiocarbono, U-Th, etc.), basados en la medida de la radiactividad natural, los métodos paleodosimétricos se basan en la detección de los efectos de dicha radiactividad sobre las muestras geológicas o arqueológicas. En este caso, se mide la energía absorbida por la muestra (dosis total) en función de la cantidad de radiación a la que ha sido sometida durante su historia. Las radiaciones ionizantes inducen movimientos en la estructura electrónica de los minerales y algunas cargas eléctricas pueden ser atrapadas dentro de los defectos puntuales de dicha estructura cristalina, formando una entidad llamada "centro paramagnético", que genera una señal detectable por espectrometría RES.



El método de datación RES se basa en la cuantificación de estas cargas atrapadas en los defectos cristalinos, ya que esta cantidad está directamente relacionada con la dosis de radiación absorbida por la muestra. Dicha cantidad depende tanto de la intensidad de la radiación (tasa de dosis) como de la duración de la exposición a la radiactividad. En el caso de la datación por RES, se considera la muestra como un dosímetro, es decir, un material capaz de registrar y restituir la dosis absorbida procedente de las diferentes radiaciones ionizantes (rayos gamma y cósmicos, partículas alfa y beta) a las que ha sido sometido. En el caso de una tasa de dosis constante en el tiempo (eventualidad más teórica que real), se obtiene la edad RES (T) mediante la siguiente ecuación:

$$T = D_e / D$$

donde "D_e" es la dosis equivalente (expresada en Gray), es decir, la dosis total absorbida por la muestra desde su formación o entierro; y "D" es la tasa de dosis o dosis anual (expresada en μGray/año ó Gray/milenio).

Este sistema de datación es una variante de la termoluminiscencia, que mide lo mismo sin tener que calentar la muestra y sin dañarla. Además, puede fechar cristales de muy pequeño tamaño, como los de los huesos y dientes. El objeto a datar se coloca en 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.

Al contrario que en la técnica de la TL, puede usarse varias veces en el mismo material, y su alcance supera el millón de años. Sin embargo, es menos sensible que la TL y no puede aplicarse a muestras con antigüedades inferiores a los 20 000 años.

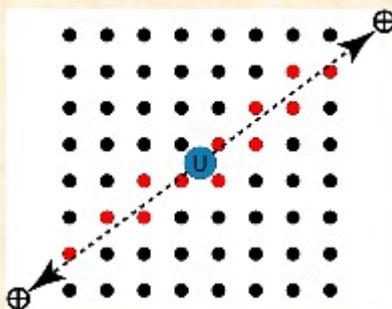
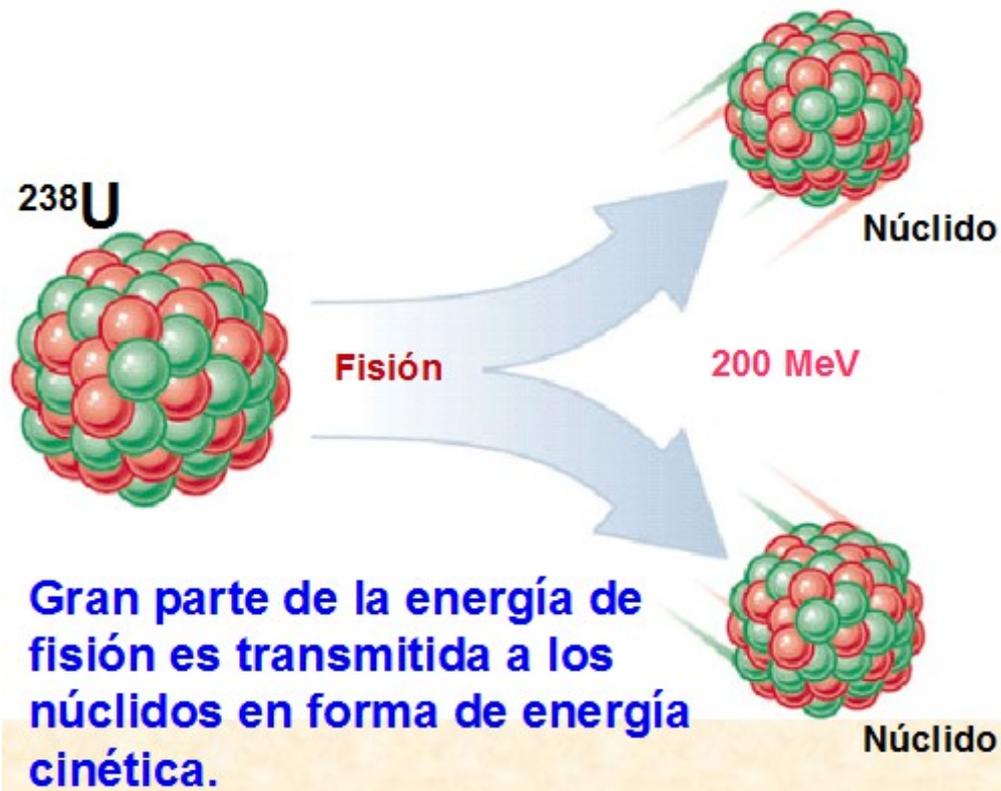
Por consiguiente, la datación de hipotéticos utensilios prehistóricos usados por el "hombre primitivo", así como de restos esqueléticos (muelas, huesos) procedentes del mismo, no ofrece un recurso plenamente fiable para intentar recomponer el pasado cronológico de la humanidad prediluviana.

Huellas de fisión.

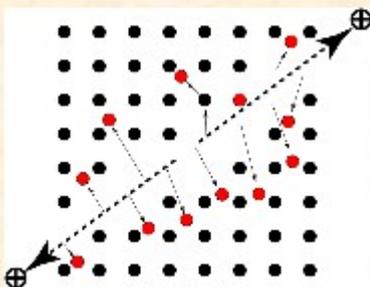
La desintegración radiactiva es un proceso natural el cual puede ocurrir básicamente de tres mane-

ras: Por desintegración α , por desintegración β y por fisión espontánea. Este último proceso, el de fisión espontánea, es el utilizado para la datación por "Huellas o Trazas de Fisión". El elemento utilizado para la datación es el isótopo del uranio $U-238$, con una vida media de $4'51 \times 10^9$ años). Es por esto que se requieren minerales que presenten uranio como elemento traza (Apatito, Circón, Titanita), para poder aplicar este método.

La fisión espontánea consiste en la desintegración de un isótopo radiactivo a partir de la división o fisión de su núcleo en dos fragmentos de tamaños comparables. En el proceso se emiten 200 MeV de energía, aproximadamente. Los dos fragmentos producidos por la fisión se alejan a 180° uno del otro, con desprendimiento de una gran cantidad de energía, creando así una única zona de daño o traza en la red cristalina del mineral.



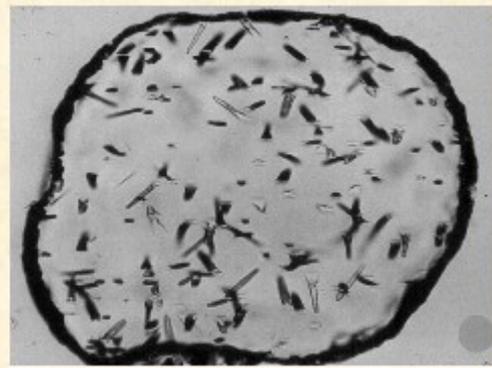
Los núclidos poseen una elevada carga positiva y en su camino captan electrones de los átomos de la red que se encuentran en el camino, convirtiéndolos en iones positivos (en rojo).



Los iones resultantes se repelen entonces, produciendo el daño estructural que llamamos "huellas o trazas", cuya longitud puede alcanzar 10 micras para el zircón y 22 micras para el apatito; su diámetro no rebasa 0'01 micra.



Trazas de fisión en cristal de apatito



Trazas de fisión en cristal de circón

La FT (Fission track: huellas o trazas de fisión) es un método de datación empleado en el campo de la geología. Se basa en el estudio de una serie de marcas provocadas por procesos de fisión espontánea que experimentan elementos radiactivos como el Uranio. A diferencia de otros métodos de datación, éste ofrece información sobre la temperatura a la que ha estado sometido el material geológico a lo largo de su historia.

El uranio presenta ciertos isótopos radiactivos que puede desintegrarse por fisión espontánea. Este fenómeno consiste en la escisión del átomo de Uranio en dos fragmentos, la suma de cuyas masas es algo inferior a la del átomo primitivo. Esta masa, aparentemente desaparecida, se transforma en energía cinética. La energía pone en movimiento los dos fragmentos de fisión. Conforme éstos atraviesan la estructura del mineral, producen un daño en la estructura cristalina que da lugar a las denominadas huellas o trazas de fisión. Estas huellas pueden observarse fácilmente al microscopio.

En principio, el número de huellas que presenta un cristal es función del tiempo transcurrido desde su formación y de la cantidad de uranio que contenga, pero las huellas de fisión en apatito - un fosfato cálcico común en casi todos los sedimentos y rocas ígneas y metamórficas- comienzan a borrarse a 60°C y desaparecen totalmente en torno a 120°C. Este rango de temperaturas se conoce como zona de Borrado Térmico Parcial y coincide con la denominada ventana de los hidrocarburos, es decir, las temperaturas a las cuales se puede formar petróleo.

La densidad de las huellas y su longitud son los parámetros a tener en cuenta para saber si las condiciones de temperatura a lo largo de la historia del sedimento han sido propicias para la formación de petróleo. Llevado a la práctica, si el mineral no presenta huellas significa que la temperatura ha sido demasiado elevada para la formación de petróleo, y de otra parte si la densidad de las huellas ha sido muy elevada se puede extraer como resultado que la temperatura ha estado por debajo de la requerida para que se origine petróleo.

De cara a la datación, pues, la principal limitación del método estriba en que las huellas o trazas desaparecen a temperaturas relativamente bajas en el cristal. Por lo tanto, esta característica hace poco fiable la datación como auxiliar en la recomposición de la historia de la humanidad prediluviana.

Reloj de uranio-plomo.

La revista DESPERTAD del 22-9-1986, páginas 17 a 21, comenta, en parte, lo siguiente: «De los diferentes métodos de fechar científicos, el más fidedigno es el de los relojes radiactivos. Éstos dependen de la velocidad de los procesos de la desintegración radiactiva. Mientras que otros métodos dependen de procesos de envejecimiento que pueden apresurarse o disminuir su paso en medio de diferentes condiciones ambientales, tales como el cambio de temperatura, se ha demostrado que los extremos en las condiciones externas no afectan el ritmo de la desintegración radiactiva.

Podemos ilustrar el método mediante el primer reloj radiactivo que se empleó, basado en la desintegración del uranio en plomo. La desintegración radiactiva funciona estrictamente de acuerdo con una ley de probabilidad estadística. La cantidad de uranio que se desintegra en una unidad de tiempo es siempre proporcional a la cantidad restante. Esto resulta en una curva [...] que muestra la cantidad que queda después de un tiempo determinado. Al tiempo necesario para la desintegración de la mitad del uranio se le llama su "período de semidesintegración". La mitad de la mitad restante se desintegra durante el siguiente período de semidesintegración. Y queda sólo una cuarta parte de la cantidad original. Después de tres períodos de semidesintegración queda una octava parte, y así sucesivamente. El período de semidesintegración del uranio es de 4 500 millones de años.

Puesto que el uranio se transforma en plomo, la cantidad de plomo aumenta constantemente. La cantidad acumulada hasta cualquier punto determinado en el tiempo se muestra por la curva de trazo quebrado. La curva del plomo complementa la curva del uranio, de manera que la cantidad total de átomos de plomo y átomos de uranio es siempre la misma, equivalente a la cantidad con que se empezó.

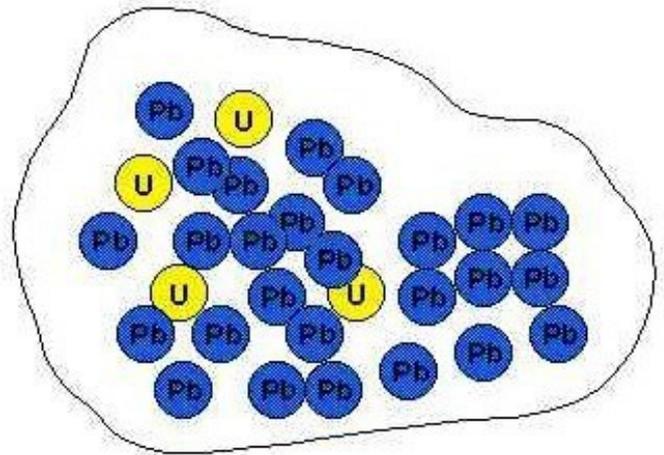
Ahora bien, supongamos que tenemos una roca que tiene uranio, pero no plomo, y la sellamos herméticamente para que nada pueda entrar ni salir de ella. Algún tiempo después la abrimos y medimos las cantidades de ambos elementos. Así podemos determinar por cuánto tiempo ha estado sellada la roca. Por ejemplo, si

hallamos cantidades iguales de plomo y uranio, sabemos que ha transcurrido un [tiempo igual a un] período de semidesintegración, es decir: 4.500 millones de años. Si hallamos que solamente el 1% del uranio se ha convertido en plomo, podemos emplear la fórmula matemática para la curva y calcular que han transcurrido 65.000.000 de años. Nótese que no tenemos que saber cuánto uranio había en la roca al principio, pues todo lo que tenemos que medir es la proporción de plomo al uranio al final del período... lo cual es muy práctico, porque ninguno de nosotros estuvo presente para medir nada al comienzo del experimento.

Ahora bien, usted quizás piense que los períodos a que nos referimos son inmensos, de millones y miles de millones de años. ¿Qué posible uso pudiera tener un reloj que funciona tan lentamente? Pues, aprendemos que la Tierra misma ha existido por varios miles de millones de años, y que hay rocas que parecen haber estado en su lugar por una buena parte de ese período. Como se ve, los geólogos hallan muy útiles tales relojes para estudiar la historia de la Tierra.

[Por otro lado, cabe preguntarse:] ¿Cuán seguros son [estos métodos de datación]? [La verdad es que tenemos] que admitir que el proceso de datación no es tan simple como lo hemos descrito. Mencionamos que la roca tiene que estar libre de plomo al principio. Por lo general no es así [en la naturaleza, sino sólo en el laboratorio]; para comenzar hallamos cierta cantidad de plomo [en las rocas que se estudian al aire libre, en sus yacimientos de origen]. Esto da a la roca lo que se llama una edad incorporada, algo más de cero. También, asumimos [hipotética e idealistamente] que el uranio estuvo herméticamente sellado en la roca y nada pudo entrar ni salir de ella. Esto quizás sea cierto en algunas ocasiones, pero no siempre. Durante largos períodos es posible que parte del plomo o del uranio se [disolviera en] las aguas subterráneas. O es posible que en la roca penetre más uranio o plomo [ulteriormente], especialmente si se trata de roca sedimentaria. Por esta razón, el reloj de uranio-plomo funciona mejor en el caso de rocas ígneas.

Otras complicaciones surgen del hecho de que otro elemento, el torio, que puede hallarse en el mineral, también es radiactivo y se desintegra lentamente hasta convertirse en plomo. Además, el uranio tiene un segundo isótopo —que químicamente es idéntico, pero de diferente masa— que decrece a una tasa diferente, convirtiéndose también en plomo. Cada uno de éstos termina convirtiéndose en un diferente isótopo de plomo, por lo que necesitamos no sólo a un químico con sus tubos de ensayo, sino también a un físico con un instrumento especial para separar los diferentes isótopos, plomos de masa diferente.



Sin pasar a los detalles de estos problemas, podemos comprender que los geólogos que emplean el reloj de uranio-plomo tienen que tener cuidado con los escollos que el método encierra si desean obtener una respuesta razonablemente confiable. Les alegra tener otros métodos radiométricos para verificar sus mediciones. Se han desarrollado otros dos métodos que a menudo pueden emplearse en la misma roca».

Existe un vídeo, aparentemente producido en el año 1997 por la Misión of Northwest Creation Network de Washington, EEUU, una organización apologetica y educativa de corte creacionista que contrarresta científicamente al paradigma evolutivo mediante el testimonio de muchos académicos, expertos y profesores de alto nivel intelectual que cuestionan la doctrina evolucionista. En colaboración con el CESHE-FRANCE (CERCLE HISTORIQUE ET SCIENTIFIQUE DE LA FRANCE: Círculo histórico y científico de Francia), el vídeo contiene muchos datos fidedignos que no deberían omitirse a la hora de presentar la teoría de la evolución en los programas educativos de las escuelas sin especificar también las serias objeciones planteadas a la misma, pues ésta realmente no es un hecho probado sino una mera conjetura interpretativa acerca de los fenómenos observados en la naturaleza. Considerando el tema de la datación basada en el decaimiento radiactivo del uranio-plomo, el vídeo, que se titula "Evolución: realidad o creencia", expone, en parte:

«¿Qué nos dice la cronología radiométrica sobre la edad de las rocas? La ciencia de la "química física" puede aclararnos esta pregunta. Edward Boudreaux, profesor de química inorgánica y física en la Universidad de Nueva Orleans (Louisiana, EEUU), investigador en química cuántica, estructuras electrónicas y uniones químicas, con varios libros publicados, ha profundizado en este tema y puede resolvernó algunas dudas. En este documental se ha dicho que los estratos y los fósiles de las rocas sedimentarias no proporcionan ninguna indicación sobre la edad de estas rocas, por lo tanto la pregunta que se le hace al profesor Boudreaux es:

- ¿Existen otros fenómenos, tales como la cronología del Carbono-14, que puedan precisar la edad de los fósiles y de las rocas?

Respuesta del profesor:

- En primer lugar, hay que tener las ideas claras en cuanto al Carbono-14, que es una forma radiactiva inestable del elemento Carbono que se encuentra en toda materia viva. Un organismo vivo absorbe y expulsa Carbono durante su vida, y una pequeña parte de éste es Carbono-14. Cuando dicho organismo muere, el Carbono-14 presente permanece tal y como es en el momento de la muerte. Esta cantidad se puede detectar radiactivamente. Un pedazo de madera o un hueso, por ejemplo, contienen una cantidad pequeña de Carbono-14, la cual disminuye desde la muerte del árbol o del animal al que pertenecía la madera o el hueso. Son necesarios miles de años para que la mitad de la cantidad presente en el momento de la muerte de un ser vivo se desintegre en su isótopo estable. Por lo tanto, midiendo la cantidad desintegrada, se obtiene una indicación sobre la época en la que vivía este organismo. Como las rocas no han tenido nunca vida, no contienen Carbono-14. Los fósiles tampoco admiten la adjudicación de una fecha por el método del Carbono-14, pues su materia viva original se ha convertido en piedra.

Pregunta al profesor:

- ¿Significa esto que no se puede determinar una edad precisa para los fósiles sirviéndose de radioisótopos?

Respuesta:

- No es posible fiarse completamente del Carbono-14. Como ya se sabe, casi todos los fósiles se encuentran en las rocas sedimentarias. Este tipo de roca contiene raramente elementos ra-



diactivos, de forma que hay que determinar su edad según los estratos en los que se encuentran. Ahora bien, es sabido que experimentos muy recientes han demostrado que los estratos de las rocas no dan ninguna indicación sobre la edad. Otro tipo de rocas, como las cristalinas (que no contienen fósiles) y la lava, tienen a veces elementos radiactivos; y entonces se utilizan los isótopos de ellos para determinar la edad de tales rocas.

Pregunta:

- ¿Puede explicarnos, simplemente, cómo se determina la edad de una roca que posee un isótopo radiactivo?

Respuesta:

- Sí. Tomemos un elemento radiactivo, como el Uranio (U). Este elemento se desintegra muy lentamente en otro elemento no radiactivo, que es el Plomo (Pb). En un laboratorio se puede medir el índice de desintegración, y conociendo el índice de desintegración del Uranio en Plomo se puede calcular el tiempo necesario para la formación del Plomo.

Pregunta:

- Entonces, si la mitad del Uranio se ha desintegrado en Plomo, y conociendo además el tiempo necesario para que el Uranio se transforme en Plomo, se podría determinar la edad de la roca... ¿no?

Respuesta:

- Ésa es la teoría...

Pregunta:

- ¿Por qué dice "teoría"?... Si se trata de un procedimiento que se puede observar y medir es sin duda un hecho científico... ¿no?

Respuesta:

- En absoluto, fíjese un poco en el siguiente diagrama. Se ve un cierto número de partículas de Uranio, pintadas de color anaranjado, y algunas partículas del Plomo, pintadas de color azul (figura 1 siguiente). Aquí tenemos que jugar con 3 hipótesis principales. La primera es que todas las partículas de Plomo de la roca fueran originalmente partículas de Uranio (figura 2 siguiente); pero esto no es verosímil, es decir, no hay motivo alguno para creer tal hipótesis, ya que las rocas en su formación suelen contener Plomo natural que no proviene del Uranio. Esto significa que la edad de una roca suele ser menor que la estimada conjuntamente.

Pero tenemos también el problema de las "fugas" debido a la solubilidad, pues las sales de Uranio y de otros elementos radiactivos son capaces de disolverse en el agua, abandonando por ello su rango. Por tanto, si una roca ha estado sumergida durante

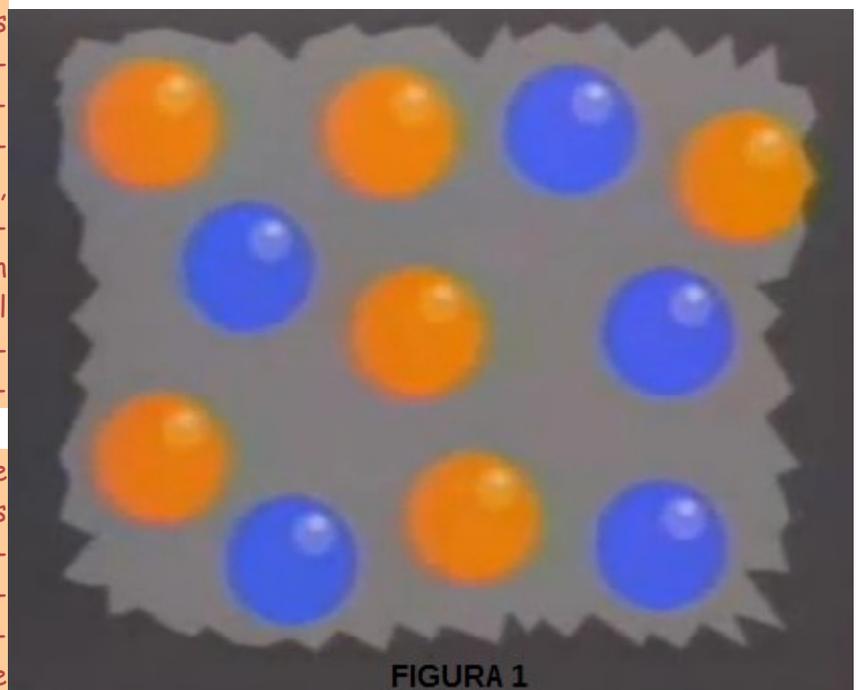


FIGURA 1

algún tiempo a causa de un periodo de inundaciones es posible que una parte del Uranio se haya desprendido de la roca (figura 3 siguiente), de forma que la edad atribuida a la misma sería más elevada que la que le corresponde en realidad.

Pregunta:

- ¿Existen otros elementos radiactivos más dignos de confianza o más fiables que el Uranio?

Respuesta:

- Hay otros elementos radiactivos, como el Torio, el Estroncio, el Rubidio y el Potasio. Pero no podemos fiarnos de ellos más que del Uranio, pues las sales de estos elementos son más solubles todavía que las del Uranio.

Pregunta:

- ¿Una inundación total de la Tierra habría podido falsear todos estos métodos?

Respuesta:

- Ciertamente. Voy a dar un ejemplo del efecto del agua en la determinación radiactiva de la edad. Hace menos de 200 años se produjo la erupción del volcán Kilauea, en Hawaii. Un fragmento de la lava de esta erupción, que había permanecido en el agua, pasó por la prueba del método del Potasio-argón para adjudicarle una edad. El resultado obtenido tendría que ser de alrededor de 200 años, pero fue de 22 millones de años. Sin duda alguna, se desprendieron de esa muestra sales de Potasio que son fácilmente solubles

en el agua y esto arrojó una datación muy antigua. También, a los fragmentos de lava procedentes del volcán Hualalai, formados en 1801, se les atribuyeron edades que oscilaban entre los 160 millones y 3000 millones de años».

Respecto al reloj de uranio-plomo, como hemos visto, se presentan varios problemas a la hora de establecer la fiabilidad de la datación, tales como la existencia de plomo no procedente del uranio e incorporado en la roca en sus orígenes y la disolución en aguas subterráneas de una parte del plomo o del uranio radiactivo. Además de ello, este reloj radiactivo funciona tan lentamente que es de poca o ninguna utilidad para fechar huellas de acontecimientos "prehistóricos".

Reloj de potasio-argón.

La revista DESPERTAD del 22-9-1986, páginas 17-21, comenta, en parte: «[Para dataciones geológicas, el método] que más ampliamente se ha empleado es el reloj de potasio-argón. El potasio es un elemento más común que el uranio... el cloruro potásico se vende en las tiendas de comestibles como sustitutivo de la sal común. Consiste principalmente de dos isótopos con masas 39 y 41, pero un tercer isótopo, de masa 40, es débilmente radiactivo. Uno de los productos que resultan de la desintegración de éste es el argón, un gas inerte que compone cerca del 1% de la atmósfera. El potasio de masa 40 tiene un período

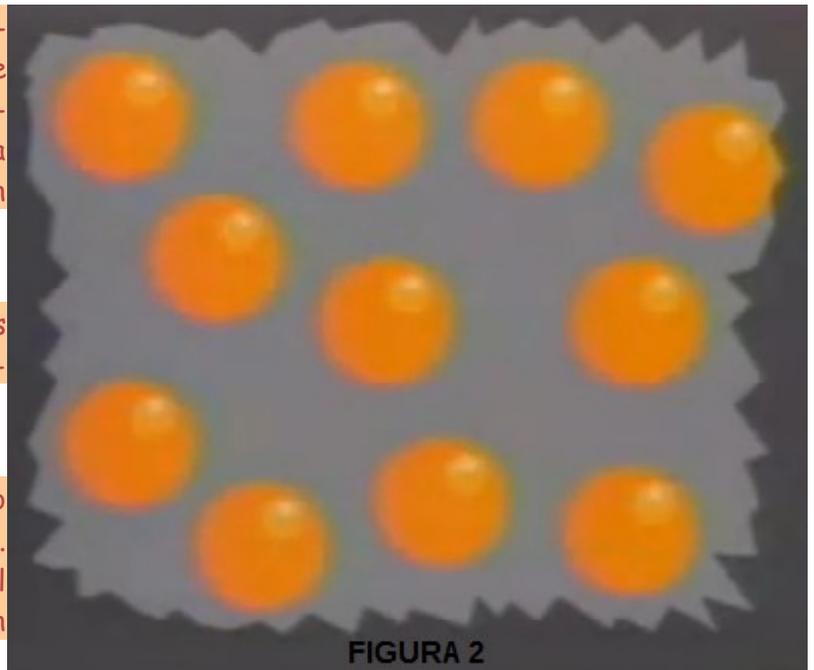


FIGURA 2

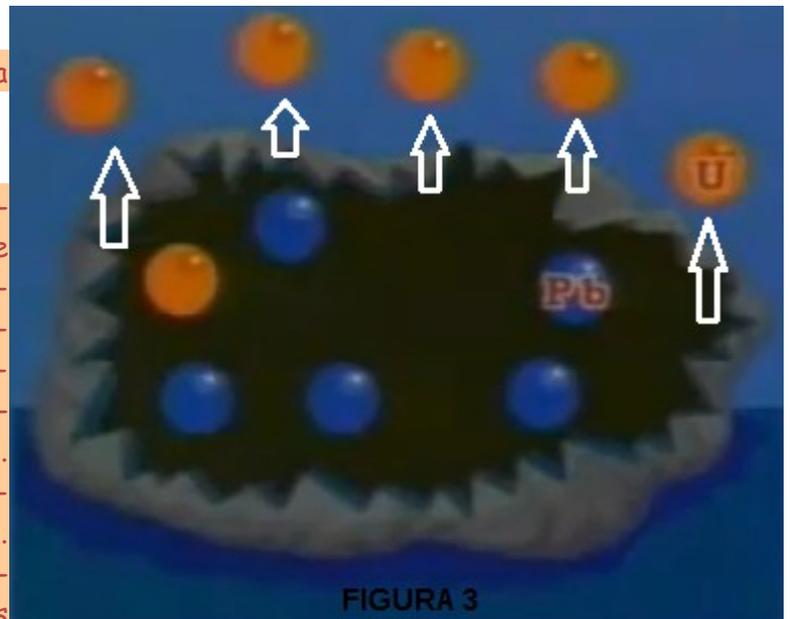


FIGURA 3

de semidesintegración de 1 400 millones de años, lo cual lo hace apropiado para medir fechas que van de las decenas de millones a los miles de millones de años. En contraste con el uranio, el potasio se halla por toda la corteza terrestre. Es un componente de muchos minerales que se hallan en las rocas más comunes, tanto ígneas como sedimentarias. Las condiciones requeridas para que el reloj de potasio-argón funcione son las mismas que hemos mencionado: el potasio debe estar libre de argón cuando el reloj comienza a funcionar, es decir, cuando se forma el mineral. Además, el sistema tiene que permanecer sellado hasta que se haga la medición; ningún potasio ni argón debe escapar o entrar.

En la práctica, ¿funciona bien el reloj? Algunas veces funciona muy bien, pero en otras ocasiones deja mucho que desear. A veces da fechas que difieren en gran manera de las que da el reloj de uranio-plomo. Por lo general son menores, y esos resultados se atribuyen a la pérdida de argón. Pero en otras rocas la edad del potasio y el uranio coinciden estrechamente.

Un uso que se dio al reloj de potasio-argón y que fue de interés periodístico fue la datación de una roca que trajeron de la Luna los astronautas del Apolo XV. Usando una lasca de la roca, los científicos midieron el potasio y el argón y determinaron que la edad de la roca era de 3 300 millones de años».

Nuevamente aquí, de la misma manera, se presentan problemas en cuanto a la fiabilidad de la datación, similares a los de los métodos radiométricos antes explicitados e incluso peores. Por ejemplo, las sales de potasio radiactivo son más solubles en agua que las del uranio. Además, el reloj de potasio-argón posee un índice (tasa o velocidad) de desintegración tan lento que es de poca o ninguna utilidad para fechar objetos o rastros de acontecimientos "prehistóricos".



Datación radiocarbónica.

La revista DESPERTAD del 22-9-1986, páginas 21-26, informa, en parte: «El reloj de radiocarbono fecha los restos de cosas que en un tiempo estuvieron vivas. Pero ¿lo hace, realmente? Todos los relojes [radiactivos] ya mencionados funcionan tan lentamente que son o de muy poca o de ninguna utilidad al estudiar problemas arqueológicos. Se necesita algo que sea mucho más rápido para equipararse con la escala de tiempo de la historia humana. El reloj de radiocarbono ha satisfecho esta necesidad.

El carbono 14, un isótopo radiactivo del carbono 12 ordinario, fue descubierto durante experimentos de aceleración atómica hechos en un ciclotrón. Luego fue hallado también en la atmósfera terrestre. Emite débiles rayos beta que pueden contarse con un instrumento adecuado. El carbono 14 tiene un período de semidesintegración de solamente 5 700 años, lo cual es adecuado para fechar cosas asociadas con la historia primitiva del hombre.

Los otros elementos radiactivos que hemos considerado son de larga duración al compararlos con la edad de la Tierra; por lo tanto, han existido desde la creación de la Tierra hasta el día actual. Pero el radiocarbono tiene una existencia tan corta, con relación a la edad de la Tierra, que solamente puede hallarse todavía presente si de alguna manera se le ha producido constantemente. Esto se ha realizado mediante el bombardeo de la atmósfera por los rayos cósmicos, que convierten los átomos de nitrógeno en carbono radiactivo.

Este carbono es usado en la forma de dióxido de carbono por las plantas en el proceso de fotosíntesis, y se convierte en toda clase de compuestos orgánicos en las células vivas. Los animales y los humanos consumen el tejido vegetal, de modo que todo lo que vive llega a contener radiocarbono en la misma proporción en que se encuentra en el aire. Mientras un organismo continúe vivo, el radiocarbono que hay en él y que se desintegra se repone mediante el nuevo carbono que entra. Pero cuando un árbol o un animal muere, se corta el suministro de radiocarbono fresco, y su nivel de radiocarbono comienza a bajar. Si un trozo de carbón vegetal o de hueso animal se preserva por 5 700 años, queda con sólo la mitad del radiocarbono que tuvo cuando vivo. Por lo tanto, en principio, si medimos la proporción de carbono 14 que queda

en algo que tuvo vida, podemos decir por cuánto tiempo ha estado muerto.

El método de radiocarbono puede aplicarse a una amplia variedad de cosas de origen orgánico. Por este método se han fechado muchos miles de muestras. Unos cuantos ejemplos dan idea de su fascinante variedad: La madera de la embarcación funeraria hallada en la tumba del faraón Seostris III fue fechada del año 1670 antes de la EC. Al duramen de un gigantesco secoya de California, que tenía 2905 anillos anuales al momento de ser derribado en 1874, se le fechó del



año 760 antes de la EC. Envolturas de lino de los Rollos del Mar Muerto, fechados del primero o segundo siglo antes de la EC por su estilo de escritura, al ser fechadas por su contenido de radiocarbono arrojaron una edad de 1900 años. Un trozo de madera hallado en el monte Ararat, considerado por algunos como posiblemente madera del arca de Noé, resultó ser solamente del año 700 EC... en efecto, madera antigua, pero no como para preceder al Diluvio. Unas sandalias de cuerda tejida desenterradas de una capa de piedra pómez volcánica en una cueva de Oregón, EUA, arrojaron una edad de 9 000 años. Se halló que la carne de un pequeño mamut que estuvo congelado en terreno siberiano por miles de años tenía 40 000 años de antigüedad. ¿Son confiables estas fechas?

[Se han producido muchos errores] en el reloj de radiocarbono. El reloj de radiocarbono lucía muy simple y claro cuando empezó a demostrarse su uso, pero ahora se reconoce que se pueden cometer muchos errores con él. Después de unos 20 años de emplearse, en 1969 se celebró en Upsala, Suecia una conferencia sobre cronología con base en el radiocarbono y en otros métodos de datación relacionados. Las discusiones que hubo allí entre los químicos que usan este método y los arqueólogos y geólogos que se valen de sus resultados sacaron a relucir una docena de fallas que pudieran invalidar las fechas. Desde entonces han pasado 17 años, y poco se ha logrado en cuanto a remediar estas dificultades.

Un problema que persiste ha sido el de asegurarse de que la muestra examinada no haya sido contaminada, ni por carbono moderno (vivo) ni por carbono antiguo (muerto). Por ejemplo, puede que una muestra de madera del duramen de un árbol viejo contenga savia viva. O si se ha extraído con un solvente orgánico (hecho de petróleo muerto), es posible que quede algo del solvente en la porción analizada. Puede ser que raicillas de plantas vivas penetren en el carbón vegetal antiguo enterrado. O puede que éste haya sido contaminado con betún, de mucha más antigüedad, difícil de remover. Se han hallado crustáceos vivos con carbonato que ha venido de minerales que han estado enterrados por mucho tiempo, o de agua de las profundidades oceánicas donde el carbonato estuvo por miles de años. Todas estas cosas pueden hacer que un espécimen parezca más viejo o más joven de lo que en realidad es.

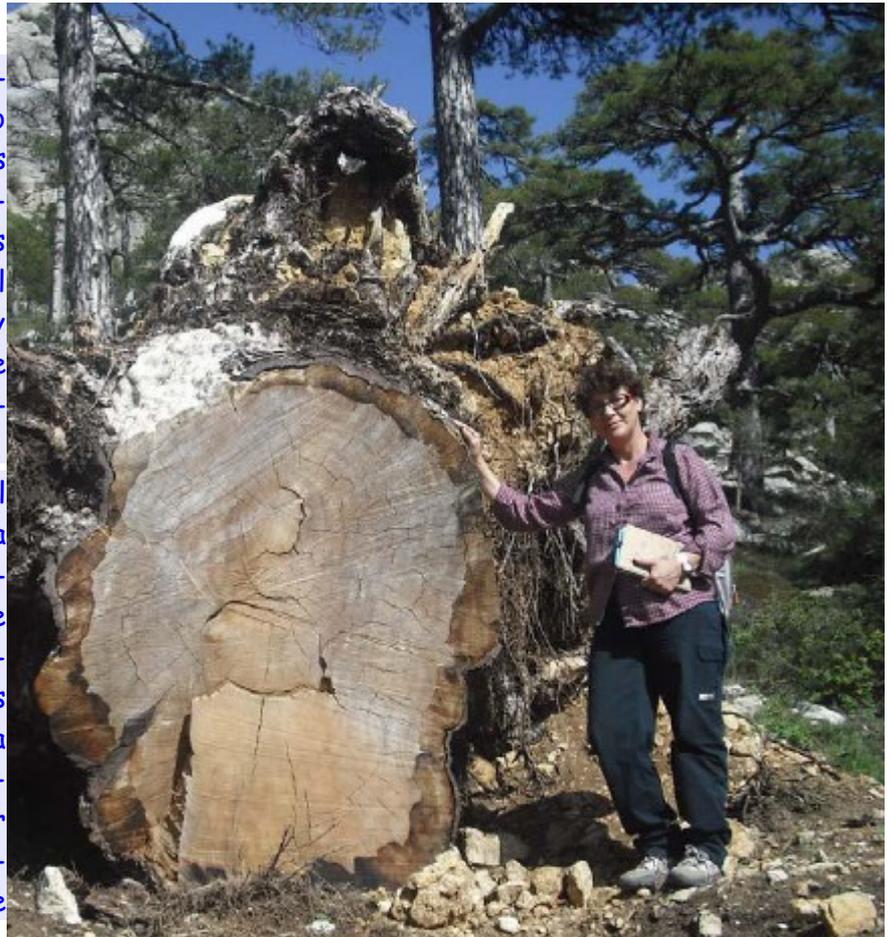
El mayor error en la teoría de la datación por radiocarbono está en la suposición de que el nivel de carbono 14 en la atmósfera ha sido siempre igual al de la actualidad. Ese nivel depende, primeramente, de la proporción a que lo producen los rayos cósmicos. A veces los rayos cósmicos despliegan gran variedad de intensidad debido a cambios en el campo magnético de la Tierra. A veces las tormentas magnéticas solares aumentan por mil veces los rayos cósmicos durante unas horas. En los milenios pasados el campo magnético de la Tierra ha sido unas veces más débil y otras más fuerte. Y desde la explosión de las bombas nucleares el nivel mundial de carbono 14 ha aumentado considerablemente.

Por otra parte, la proporción es afectada por la cantidad de carbono estable en el aire. Las grandes erupciones volcánicas añaden cantidades sustanciales al depósito de dióxido de carbono estable, diluyendo así el radiocarbono. Durante el siglo pasado la quema de combustibles fósiles a un ritmo sin precedente, especialmente el carbón y el petróleo, ha incrementado de manera permanente la cantidad de dióxido de

carbono en la atmósfera.

Frente a estas fallas fundamentales, los que han empleado el radiocarbono para fechar han resuelto normalizar sus fechas con la ayuda de muestras de madera datadas por la cuenta de los anillos anuales de los árboles, en especial los del pino aristado, que vive por centenares y hasta miles de años en la región sudoeste de los Estados Unidos. A este campo de estudio se le llama dendrocronología.

Por lo tanto, ya no se cree que el reloj de radiocarbono dé una cronología absoluta, sino una de fechas relativas. Para obtener la edad verdadera, la fecha de radiocarbono tiene que ser corregida mediante la cronología basada en los anillos arbóreos. Por esto, al resultado de una medición de radiocarbono se le conoce como "fecha de radiocarbono". Al someter esta fecha a cotejo por una curva de calibración basada en los anillos arbóreos se deduce la fecha absoluta.



Esto es válido hasta donde se pueda considerar confiable la cuenta de los anillos del pino aristado. Ahora se presenta el problema de que el árbol viviente más antiguo cuya edad se conoce se remonta solamente hasta el año 800 EC. Para extender la escala, los científicos tratan de parear por superposición el patrón de anillos gruesos y delgados de madera muerta de los alrededores. Juntando 17 restos de árboles caídos, aseguran poder remontarse a más de 7000 años en el pasado.

Pero las mediciones por los anillos arbóreos tampoco subsisten por sí solas. A veces hay incertidumbre en cuanto a dónde exactamente colocar un trozo de un árbol muerto, y por eso, ¿qué hacen? Solicitan que se le haga una medición de radiocarbono y luego se basan en ésta para colocarla en su lugar. Esto nos recuerda a dos cojos que tienen una sola muleta y se turnan para usarla; mientras uno la usa, el otro se apoya en él para mantenerse en pie.

Uno tiene que preguntarse cómo es posible que se hayan preservado trozos de madera al aire libre por tanto tiempo. Parecería más probable que las fuertes lluvias se los hubieran llevado, o que alguien que pasara los hubiera recogido para usarlos como leña o darles otro uso. ¿Qué impidió su putrefacción, o que fueran atacados por los insectos? Es verosímil que un árbol vivo resista los estragos del tiempo y el clima, y que a veces uno de ellos viva mil años o más. Pero ¿qué hay de la madera muerta? ¿Subsistió por seis mil años? Raya en lo increíble. Sin embargo, en esto se basan las fechas de radiocarbono más antiguas.

A pesar de esto, los expertos en radiocarbono y los dendrocronólogos se las han arreglado para poner a un lado dudas de esa índole y conciliar las diferencias e inconsecuencias, y se sienten satisfechos con el compromiso a que han llegado. Pero ¿qué hay de sus clientes, los arqueólogos? No siempre están contentos con las fechas que reciben para las muestras que envían. En la conferencia de Upsala uno de ellos se expresó así: "Si una fecha obtenida mediante el carbono 14 apoya nuestras teorías, la ponemos en el cuerpo del texto. Si no la contradice enteramente, la ponemos a pie de página. Y si es completamente 'inoportuna', la abandonamos".

Algunos todavía piensan así. Recientemente uno escribió acerca de una fecha de radiocarbono que supuestamente marcaba el tiempo en que principió la domesticación de animales: "Los arqueólogos [están comenzando] a dudar de la utilidad inmediata que tengan edades obtenidas mediante radiocarbono simple-

mente por salir de laboratorios 'científicos'. Mientras más confusión haya con relación a qué método, qué laboratorio, qué período de semidesintegración y qué calibración merece más confianza, menos obligados nos sentiremos nosotros los arqueólogos a aceptar, sin dudar, cualquier 'fecha' que se nos ofrezca". El radioquímico que había suministrado la fecha replicó: "Preferimos tratar con hechos basados en mediciones exactas... no con la arqueología de moda o emocional".

Si los científicos discrepan tan claramente acerca de la validez de estas fechas que se remontan a la antigüedad del hombre, ¿no sería comprensible que la persona profana sea escéptica con relación a las noticias basadas en la "autoridad" científica [...]?».

Conclusión.

Al principio de este artículo hemos dicho que existe una gran discordancia entre lo que la antropología evolutiva entiende por "hombre primitivo" (u "hombre prehistórico": *homo sapiens* anterior al apareamiento de la escritura, desde 150×10^3 hasta 6×10^3 años antes de la EC aproximadamente) y la información aportada por el Génesis en este sentido (cuya cronología arroja unos 6×10^3 años atrás como el punto inicial de la existencia del hombre o de la aparición del primer ser humano, por creación, a partir de los elementos químicos presentes en el suelo terrestre). ¿Cómo resolver la discrepancia?

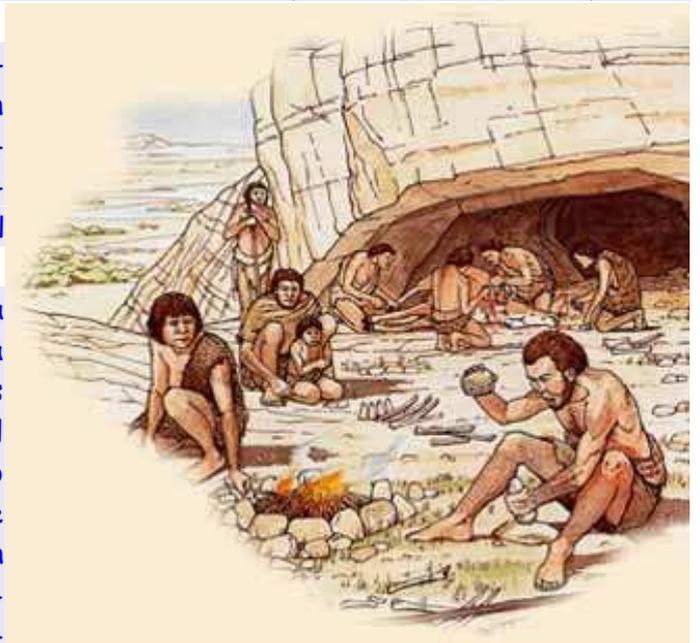
La revista DESPERTAD del 22-9-1986, página 27, expresa, en parte: «¿Cómo afectan a nuestro entendimiento de la Biblia los resultados de la datación científica? Eso depende de nuestro punto de vista. Si hemos aceptado la interpretación fundamentalista de que la Tierra, el Sol, la Luna y las estrellas —no sólo la humanidad— fueron creados en sólo seis días de 24 horas, tenemos que admitir que la evidencia científica es perturbadora. Por otra parte, si entendemos que los días mencionados en Génesis fueron largos períodos de miles de años, y que se requirieron miles de millones de años para la formación del planeta Tierra, entonces no hay problema.

No obstante, surge un conflicto cuando varias fechas determinadas por métodos radiocarbónicos indican que hace más de 6 000 años hubo hombres que encendían fogatas, fabricaban herramientas o edificaban casas. Tales fechas contradicen la cronología bíblica. ¿Cuál deberíamos creer?

Desde que Adán fue creado, la Biblia suministra una cuenta del tiempo, año tras año, que está enlazada con historia seglar confiable de hace unos 25 siglos. Los años eran marcados por la marcha anual del Sol desde el solsticio de verano al solsticio de invierno y de regreso nuevamente, una señal que Dios puso en el cielo con ese propósito. Hombres inteligentes observaron y anotaron los años sucesivos que transcurrían desde un acontecimiento histórico hasta el siguiente. Los registros fueron incorporados en los primeros libros de la Biblia y más tarde conservados como parte de la tesorería sagrada del pueblo judío mientras ellos continuaron existiendo como nación. Esta historia de incomparable exactitud y autoridad indica que la humanidad ha estado en la Tierra por solamente unos 6 000 años.

En contraste con esta autoridad definitiva y positiva, considere la teoría del radiocarbono. Se basa en suposiciones que han sido puestas en tela de juicio, revisadas y modificadas; muchas todavía están envueltas en gran incertidumbre. ¿Cómo puede esta teoría presentar un desafío serio a la cronología histórica de la Biblia?

¿Qué podemos concluir, entonces? Hemos visto que los geólogos generalmente hallan buen apoyo para sus teorías sobre la historia de la Tierra en la datación radiométrica, aunque muchas de esas fechas están lejos de ser exactas. Los paleontólogos, muchos de los cuales están predispuestos a favor de la teoría de la evolución por su educación y sus asociados, siguen buscando el apoyo de la datación radiométrica



para sus alegaciones de que supuestos fósiles de hombres-monos tienen millones de años de edad. Pero quedan frustrados en su búsqueda.

Por un lado, los relojes geológicos de uranio y potasio no son adecuados, pues funcionan muy despacio. Por otra parte, el reloj de radiocarbono, el cual funciona bastante bien al medir objetos de sólo unos cuantos miles de años de antigüedad, se enreda desesperanzadamente en dificultades al pasar de ese límite. Aun así, la arrolladora mayoría de las fechas determinadas por métodos radiocarbónicos caen dentro del período bíblico de 6 000 años. Las pocas fechas más antiguas a las cuales se aferran desesperadamente los evolucionistas son todas dudosas.

Otros métodos científicos de datación, entre los cuales la racemización de aminoácidos llevaba la delantera en el ataque contra la historia bíblica de la creación del hombre, les han fallado miserablemente a los evolucionistas. Podemos confiar en este hecho: La cronología de la Biblia permanece irrefutable frente a toda datación científica».

