

Los isótopos radiactivos y nuestro pasado

José Guillermo Sánchez León (guillermo@usal.es)

La naturaleza nos ha dejado numerosas pistas que nos permiten escudriñar su pasado. Se comporta como un personaje de una película de intriga que después de ser raptado deja pruebas muy sutiles para que pueda ser localizado. Una de esas pistas son los núcleos radiactivos naturales que nos permiten determinar la antigüedad de rocas, objetos arqueológicos, fósiles, etc y poder responder a preguntas tales como: ¿Cuántos años hace que se formaron la Tierra y el sistema solar? ¿En qué época desaparecieron los dinosaurios? ¿Qué antigüedad tienen los primeros restos humanos? ¿Son los reactores nucleares un invento del hombre?

La existencia de isótopos radiactivos fue descubierta por azar, en febrero de 1896, por Antoine Henri Becquerel (1852-1908), profesor de física de la Ecole Polytechnique, cuando se encontraba investigando la posibilidad de que la luz solar provocase la emisión de rayos X, que acababan de ser descubiertos por Röntgen. Para ello colocó varios cristales junto a placas fotográficas, separados parcialmente por láminas de cobre, envueltas en papel oscuro. El conjunto lo exponía a la luz solar para comprobar si los cristales, bajo el efecto de ésta, emitían rayos X que impresionasen la película en las zonas no protegidas por las láminas de cobre (se sabía que una lámina de cobre detenía a los rayos X). Algunos de los cristales estaban compuestos de una sal de uranio (Becquerel creía que el fenómeno buscado podía estar asociado a la fosforescencia que, entre otras sustancias, poseían las sales de uranio). Los días 26 y 27 de febrero aparecieron nublados y guardó las placas en un cajón. Lo que ocurrió entonces nos es relatado por Becquerel con las siguientes palabras: "El sol no salió durante los días siguientes, y revelé las placas el 3 de marzo esperando encontrar sólo débiles imágenes. Las siluetas aparecieron, por el contrario, con gran intensidad...". Dos meses después Becquerel

llegaba a la conclusión de que el fenómeno era debido a una radiación activa procedente del elemento uranio presente en dichas sales. Cerca de allí trabajaba Marie Sklodowska Curie quien rápidamente tuvo noticias del experimento. En 1898, junto con su esposo Pierre Curie, descubrieron un nuevo elemento: el radio, que era millones de veces más activo que el uranio. Los Curie consiguieron aislar unos miligramos de radio y observaron que con el tiempo, sorprendentemente, iba desapareciendo del crisol donde estaba depositado. Al fenómeno dieron el nombre de radiactividad. La radiactividad, aunque había sido descubierta por Becquerel y por el matrimonio Curie a finales del siglo pasado, había estado en la naturaleza desde siempre. Desde entonces, los isótopos radiactivos se han utilizado con diversos fines. En este artículo nos referiremos a su uso como instrumento para el conocimiento de nuestro pasado.

LOS ISÓTOPOS RADIATIVOS

De todos es sabido que la materia está básicamente formada por átomos. Estos átomos podemos describirlos, de forma simplificada, como una parte central denominada núcleo, que contiene neutrones y protones, rodeado por una nube de electrones. Un elemento atómico se

caracteriza por tener el mismo número de protones pudiendo variar el de neutrones. Los núcleos con el mismo número de protones y diferente número de neutrones constituyen los isótopos de ese elemento. Por ejemplo: el carbono atmosférico está compuesto por tres isótopos: el carbono-12 (o ^{12}C) que consta de 6 protones y 6 neutrones, el carbono-13 (o ^{13}C) que está formado por 6 protones y 7 neutrones y carbono-14 (o ^{14}C) que contiene 6 protones y 8 neutrones. Todos los isótopos de un mismo elemento poseen las mismas propiedades químicas pero las propiedades físicas son específicas de cada isótopo.

En la naturaleza existen 92 elementos, con una media aproximada de 2 o 3 isótopos por elemento, aunque los hay con sólo un isótopo y otros con 8 isótopos. Los isótopos pueden ser estables o inestables. Los núcleos estables, que son mayoría en la Tierra, se conservan “eternamente”, es decir, mantienen siempre el mismo número de protones y neutrones (Las teorías más modernas predicen la desintegración de los protones, y por tanto de cualquier tipo de átomo, pero a una velocidad extremadamente pequeña que a efectos prácticos nos permite referirnos a núcleos estables como aquellos de una duración prácticamente eterna). Los núcleos inestables (denominados radionucleídos) son aquellos que con el tiempo (dependiendo del radionucleído puede variar de fracciones de segundo a miles de millones de años) se transmutan en otros elementos, llamados descendientes o hijos. El nuevo núcleo puede, a su vez, ser estable o inestable. Si es inestable el proceso continúa hasta que finalmente acaba en un isótopo estable. Esta transmutación o desintegración de un tipo de núcleo en otro se produce generalmente por la emisión de partículas α ó β y radiación γ . En algunos radionucleídos también

se producen emisiones de neutrones o protones e incluso otros tipos de reacciones, como las fisiones espontáneas que experimentan algunos núcleos pesados que consisten en la división de un núcleo en dos núcleos más pequeños, cada uno de los cuales tiene aproximadamente la mitad de masa que el inicial.

En resumen, podemos decir que un isótopo radiactivo, o radionucleído, es como un padre que tiene un hijo que a su vez puede tener otro, su nieto, y así hasta que llega un descendiente que no tiene descendencia que es el núcleo estable. Este proceso se realiza a un ritmo constante y es característico de cada radionucleído. Es como una huella digital que permite distinguirlo de los otros tipos de radionucleídos.

El ritmo o velocidad de desintegración se expresa por el periodo de semidesintegración (a veces denominado vida media) que se define como el tiempo que debe transcurrir para que se desintegren la mitad de los núcleos de un radionucleído determinado. Este efecto puede ser aprovechado de diversas formas para conocer la antigüedad de un objeto. Por ejemplo: supongamos que un tipo de átomos A se desintegra en otro tipo de átomos B con un periodo de semidesintegración de 1000 años y que inicialmente en un objeto existen 100 átomos de tipo A y ninguno del tipo B. Transcurridos 1000 años, si no ha habido intercambios de átomos del tipo A o B con el exterior, el objeto tendrá 50 átomos del tipo A y 50 del tipo B. Pasados otros 1000 años quedarán 25 átomos del tipo A y 75 del tipo B y así sucesivamente (véase figura 1). De lo que se deduce que conocida la relación entre el número de átomos de tipo A y B podremos datar la antigüedad del objeto. En la realidad las cosas no resultan tan sencillas. Para empezar, la muestra a datar debe contener, en cantidad

medible, un tipo de radionucleido apropiado a la antigüedad que pretendemos medir. Para datar objetos muy antiguos pueden utilizarse: uranio-235, potasio-40, uranio-238, rubidio-87, etc, cuyos periodos de semidesintegración, en millones de años, son respectivamente: 704, 1250, 4468 y 48900. Para objetos de origen orgánico, relativamente recientes, el método más utilizado es el carbono-14 cuyo periodo de semidesintegración es de 5430 años, que es aplicable a muestras con una antigüedad de hasta 50000 años. La datación no es el único uso que podemos hacer de los isótopos radiactivos para conocer nuestro pasado.

LA EDAD DE LA TIERRA Y DEL SISTEMA SOLAR.

Para estimar la edad de la Tierra es preciso conocer su origen. La hipótesis más aceptada sobre la formación del sistema solar, y probablemente de otros sistemas planetarios como el nuestro, es la siguiente:

En determinadas zonas de una galaxia se producen acumulaciones o nubes de polvo y gas. Las nubes se condensan, por efecto de la atracción gravitatoria, cuando éstas alcanzan una masa y densidad suficientemente elevada. Este fenómeno puede verse favorecido ¿o es imprescindible? por la explosión de una estrella (supernova) en sus proximidades. En el proceso de condensación de la nube se produce una fragmentación de ésta en unidades más pequeñas que constituyen las protoestrellas. Éstas continúan contrayéndose rápidamente hasta que en su centro se alcanzan temperaturas y densidades muy elevadas que inician la fusión (unión) entre los núcleos atómicos más ligeros. La fusión de los nucleos atómicos conlleva la emisión de energía en cantidad suficiente para detener la condensación provocada por la fuerza

gravitatoria. En ese momento han nacido las estrellas. En torno a éstas quedan gran cantidad de fragmentos. Algunos de ellos se van agrupando en choques sucesivos hasta que adquieren un tamaño idóneo para poder ser considerados planetas. Éste es probablemente el origen de los planetas próximos al Sol, como la Tierra. Los fragmentos que no se agruparon quedaron vagando por el sistema solar, constituyendo el origen de parte de los meteoritos actuales.

Los procesos orogénicos y sedimentarios, actuando durante largo tiempo, han destruido los restos de las rocas (primigenias) que originalmente formaron la Tierra, por lo que no podemos medir la edad de la Tierra directamente a partir de las rocas que la formaron. Afortunadamente la hemos podido determinar gracias a unos visitantes que nos han caído del cielo: son los meteoritos.

En la nube inicial, la distribución de los isótopos era homogénea (veremos que varias pruebas confirman esta hipótesis). Por tanto, en el momento en que se formó el sistema solar las proporciones en las que se encontraban los diferentes isótopos, con algunas excepciones, era las mismas en todo él (planetas, asteroides y meteoritos).

De entre los meteoritos, resultan particularmente interesantes los compuestos por condritas carbonáceas. Las condritas están formados por cóndrulos (gotas fundidas que se formaron en las primeras colisiones que dieron origen a los planetas) y consiguientemente poseían la composición isotópica de aquella época. Además no sufrieron un calentamiento posterior suficiente para fundirlos. La antigüedad de éstos meteoritos ha podido ser determinada recurriendo a técnicas de datación basadas en isótopos radiactivos de período de semidesintegración muy largo. Los métodos

más utilizados son: el método del plomo-plomo (Pb-Pb) y el del rubidio-estroncio (Rb-Sr), que dan una antigüedad al sistema solar de unos 4500 millones de años.

Los relojes del plomo-plomo y del potasio-argón

De los isótopos naturales nos son de especial interés las cadenas de desintegración del uranio-238 y del uranio-235 cuyos nucleídos iniciales y finales son respectivamente: uranio-238/plomo-206 (véase figura 2) y uranio-235/plomo-207.

En el momento de formación del sistema solar el uranio-238 y el uranio-235 existente continúan desintegrándose, a través de varios nucleídos intermedios, en plomo-206 y en plomo-207. Los isótopos radiogénicos del plomo (isótopos formados en este proceso, véase figura 3) se acumulan a los primigenios (plomo ya existente en la nebulosa protosolar). Si cogemos una muestra de roca, terrestre o procedente de un meteorito, y medimos las relaciones del plomo-207 y plomo-204 y la del plomo-206 y plomo-204 podemos determinar su antigüedad. La edad estimada por este método para los meteoritos más antiguos es 4555 millones de años con una incertidumbre de 14 millones de años.

Los fenómenos orogénicos han impedido que queden sobre la Tierra rocas procedentes de aquella época. Hasta principio de la década de los ochenta las rocas más antiguas encontradas tenían una edad de 3600 millones de años. Desde 1983 el método del plomo-plomo se ha ido perfeccionando hasta permitir la datación individual de pequeños cristales de circones. Por este método un grupo australiano dirigido por Derek O. Froude ha

encontrado cristales de circones procedentes del monte Narryer, en Australia occidental, que podrían llegar a tener algo más de 4000 millones de años, lo que demostraría que ya existía una corteza continental en aquella época.

Además del método plomo-plomo, en la datación de rocas también se emplea el método rubidio-estroncio y el potasio-argón y una variante de éste último denominado argón-argón.

El método del potasio-argón se basa en el hecho que el potasio-40, cuyo período de semidesintegración es de 1300 millones de años, se desintegra en argón-40, que es estable. El argón es un gas y como tal escapa del mineral si está en estado de magma o sufre un fuerte calentamiento. Por tanto, midiendo la acumulación del argón-40 en los minerales que contienen potasio se puede determinar cuanto tiempo hace que se solidificó el mineral. Una variante perfeccionada del método consiste en someter la muestra a una irradiación de neutrones, lo que puede hacerse en un reactor nuclear. Los neutrones al incidir sobre el potasio-40 lo transmutan a argón-39, el argón-40 no se ve afectado. La muestra se funde posteriormente en una cámara de vacío, desprendiéndose conjuntamente el argón-40 y el argón-39 que pueden ser medidos directamente. La relación entre ambos proporciona directamente la edad de la roca o el tiempo en el que ésta experimentó el último proceso metamórfico. Este método se ha demostrado especialmente adecuado para datar muestras de hasta 500 millones de años.

El reloj de rubidio-estroncio

El rubidio-87 (^{87}Rb) es un radisótomo natural que se desintegra en estroncio-87 (^{87}Sr) con un período de semidesintegración de 48,8

miles de millones de años. Si una roca en el momento de su formación no contuviese ^{87}Sr , para conocer su antigüedad bastaría con medir cuál es la relación actual entre el rubidio-87 y el estroncio-87. Esta hipótesis no podemos utilizarla pues no es posible asegurar que el contenido de ^{87}Sr era nulo. Sin embargo existe un isótopo estable del estroncio: el estroncio-86, que nos permite superar ésta dificultad. El procedimiento consiste en tomar varias muestras separadas del objeto a datar y analizar el ^{87}Sr , ^{86}Sr y ^{87}Rb . Cada muestra contiene diferentes minerales o, al menos, diferentes cantidades del mismo mineral. Si representamos gráficamente las relaciones $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ frente a las de $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ obtenemos una curva, cuando todas las muestras tienen la misma antigüedad esta curva es una recta y se le llama isocrona. La isocrona obtenida con los resultados medidos en un gran número de meteoritos, compuestos por condritas carbonaceas, corresponde a una edad de 4498 millones de años con una incertidumbre de 15 millones de años. El hecho de que las muestras procedan de varios meteoritos nos indica que estos debieron de formarse simultáneamente y corrobora las hipótesis de que la relación $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ era constante en toda la nebulosa protosolar y que los isótopos primigenios estaban homogéneamente repartidos.

El valor obtenido por el método del rubidio-estroncio es sensiblemente parecido al obtenido con el método plomo-plomo -la pequeña diferencia observada es atribuida a que las constantes de semidesintegración no son conocidas con suficiente precisión- lo que nos permiten asegurar con bastante precisión que el sistema solar, y la Tierra, tienen una antigüedad de 4500 millones de años.

Los nucleídos presentes en los meteoritos, además de informarnos de la

antigüedad de la Tierra, nos han permitido saber que probablemente el origen de nuestro sistema planetario está asociado a la formación de una supernova en sus proximidades.

EL VISITANTE INESPERADO

En 1969 cayó en el pueblo mejicano "Pueblecito de Allende" un meteorito que presentaba varias anomalías isotópicas. Una de estas anomalías era la presencia de magnesio-26 en una proporción muy superior a la usual en sistema solar. Su antigüedad se estimó en unos 4600 millones de años, que corresponde a una época inmediatamente anterior a la formación de éste.

Uno de los procesos de formación del magnesio-26 (^{26}Mg) es la desintegración del aluminio-26, ^{26}Al (véase "La radiactividad de las estrellas, Mundo Científico Vol12, pags 746-753, 1992). En el meteorito no se encontró rastro de ^{26}Al , lo que no era de extrañar, pues el periodo de semidesintegración del ^{26}Al (720000 años) es muy corto comparado con la antigüedad del meteorito. Había transcurrido tiempo suficiente para que todo el ^{26}Al se hubiese desintegrado en ^{26}Mg . Pero, ¿cómo pudo aparecer originalmente el ^{26}Al en el meteorito?. La explicación que muchos científicos dan a este hecho es que el aluminio-26 se originó en la explosión de una supernova. Cuando la onda de choque de la supernova llega a las capas exteriores de la misma, ricas en carbono, las calienta hasta una temperatura tan elevada que provoca la transmutación de los nucleos. Uno de los nuevos productos formados es el ^{26}Al que rápidamente se desintegró en ^{26}Mg . Como esto ocurrió sólo unos millones de años antes de la formación de la protoestrella que dió origen al sistema solar, no dió tiempo a que el ^{26}Mg se distribuyese de forma

homogénea por toda la nube inicial. De ahí que ^{26}Mg esté irregularmente distribuido en el sistema solar. También el meteorito de Allende contenía una cantidad anormalmente alta de oxígeno-16, circunstancia que también es explicable por la formación de una supernova.

Las anomalías anteriores no son las únicas. Por ejemplo en el meteorito de Murchison se encuentra xenón-129 (^{129}Xe) en una proporción muy superior a la de la Tierra y a la de otros meteoritos. El ^{129}Xe procede de la desintegración del yodo-129 (^{129}I), sin embargo en la actualidad no se detecta ^{129}I de origen natural. Esto es lógico pues el periodo de desintegración del ^{129}I es de 17 millones de años que es pequeño frente a la edad del sistema solar. Éste hecho es conocido como la anomalía del ^{129}Xe que es generalmente interpretada, al igual que la anomalía del ^{26}Mg , como debida a los restos de explosión de una supernova que insufló ^{129}I en la nebulosa protosolar.

Una explosión de una supernova es un hecho muy raro. ¿Fue una coincidencia la aparición de una supernova en las proximidades de la nube que daría origen al sistema solar, poco antes de que éste se formase? ¿Es éste el mecanismo habitual de formación de las estrellas y/o de los sistemas planetarios?

No es éste el único suceso extraño ocurrido en nuestro pasado, en el que aparecen los isótopos radiactivos a ayudarnos para encontrar una explicación.

UN REACTOR NUCLEAR EN EL PASADO DE LA TIERRA

El primer reactor nuclear construido por el hombre entró en operación en 1942 dentro de un complejo programa de investigación dirigido a fabricar la primera bomba atómica. La naturaleza ya había hecho

un invento similar hace 2000 millones de años.

Un reactor nuclear generalmente funciona con uranio enriquecido. El proceso de enriquecimiento consiste en aumentar el contenido de uranio-235 (^{235}U) existente en el uranio natural, que es el 0,72 %, hasta aproximadamente el 3% de uranio-235, el resto del uranio es casi exclusivamente, uranio-238 (^{238}U). Una vez que el uranio enriquecido se introduce en el reactor se inicia la fisión (ruptura) de los isótopos del uranio - principalmente del ^{235}U - en varios fragmentos llamados productos de fisión, altamente radiactivos. Como consecuencia de ello la proporción de átomos de ^{235}U en el combustible va disminuyendo. Los fragmentos de fisión se van desintegrando hasta que se convierten en isótopos estables. La mayoría de ellos pertenecen al grupo de las tierras raras.

En 1972, en una instalación francesa de enriquecimiento, en un análisis rutinario de la composición isotópica de una muestra de uranio, procedente de un yacimiento situado en Oklo (Gabón), se encontró que tenía un contenido en ^{235}U del 0,717 %, en vez de 0,720 %, que es el típico del uranio natural. Ésta pequeña diferencia estaba más allá de lo que podía atribuirse a la incertidumbre en la medida. Después de analizar las posibles explicaciones se decidió hacer análisis de más muestras procedentes del mismo lugar. Las sorpresas fueron en aumento cuando se encontraron muestras con un contenido de ^{235}U la mitad del habitual 0,72%. Estas muestras más empobrecidas coincidían con las zonas del yacimiento con mayor concentración de uranio. Además las mismas zonas eran abundantes en tierras raras. La explicación más razonable es que allí se produjo un reactor natural al mezclarse el uranio altamente concentrado con el agua. La edad del yacimiento estaba datada

en 2000 millones de años. Un sencillo cálculo nos permite asegurar que todo el uranio de la Tierra en esa época tenía una composición del 20% de uranio-235, 6 o 7 veces mayor que el que utilizan la mayoría de los reactores nucleares de nuestra época por lo que los reactores nucleares naturales no debieron ser raros en un pasado lejano. Oklo nos puede proporcionar una valiosa información de cómo se comportan los almacenamientos de residuos radiactivos a muy largo plazo.

LA ANOMALIA DEL IRIDIO Y LA GRAN EXTINCIÓN

Hace 65 millones de años ocurrió una extinción masiva de seres vivos que habitaban la Tierra. Desaparecieron numerosas especies, entre ellas los dinosaurios. Aunque la extinción de éstos estos últimos se ha hecho la más popular no fue la única especie que la sufrió. ¿Qué provocó esta súbita desaparición masiva de seres vivos?. La hipótesis que cuenta con más apoyo es la que atribuye ésta a un impacto de un cuerpo de varios kilómetros de diámetro (asteroide o cometa) a más de 10 Km por segundo (véase "La catástrofe del final del secundario", Mundo Científico, n° 143, febrero, 1994. Éste impacto liberó una gran cantidad de energía que originó enormes desastres naturales pereciendo la mitad de la vida terrestre. ¿Qué pruebas avalan ésta hipótesis?. De nuevo los núcleos atómicos vienen en nuestra ayuda. En efecto: en algunos estratos correspondientes a esta época se ha encontrado una delgada capa de iridio en una proporción muy superior a la que habitualmente se da en otras partes de la Tierra. La hipótesis del impacto del meteorito es una posible explicación de esta anomalía del iridio pues en algunos de ellos (las condritas carbonáceas) la

proporción de iridio es similar a la de este estrato. El enigma no está definitivamente resuelto. Esta solución vendrá cuando los métodos de datación de este delgado estrato nos permita asegurar si este depósito se produjo rápidamente, en unas decenas de años, o duró varios milenios. En este último caso cabrían otras hipótesis como la que sostiene que la extinción fue debida a una actividad volcánica extraordinariamente elevada.

Probablemente esta extinción masiva fue la causa de que se desarrollase otra especie: los mamíferos, que hasta entonces había tenido un papel secundario. De los mamíferos, pasados algo más de 60 millones de años, surgiría el hombre.

LA CONTROVERSIA SOBRE LA ANTIGÜEDAD DE LOS PRIMEROS RESTOS DE SERES HUMANOS

Richard Leakey, hijo de un conocido antropólogo que había pasado toda su vida investigando los restos de los primeros hombres, había heredado de su padre esta pasión. En 1969, cuando contaba 24 años, en una expedición al lago Turcana (Kenya) encontró dos cráneos, catalogados con los nombres KNM-ER 406 Y 407. Una apresurada datación, basada en el método del potasio-argón, de las cenizas volcánicas que los cubrían, conocidas como tobas "KBS", daba a éstos una antigüedad de 2,6 millones de años. De ser así estaba ante los restos humanos más antiguos. Sin embargo la datación fue revisada y situada a 1,9 millones de años. Afortunadamente el lugar donde habían aparecido estos cráneos, conocido como Koobi Fora -una ladera volcánica junto al lago Turcana-, se convirtió en una fuente continua de descubrimientos de restos de homínidos. La recuperación de unos 300 fragmentos permitió componer un cráneo, conocido como 1470, con un tamaño cerebral muy grande, que no pertenecía a ninguna especie conocida. Poco después se descubrió, en el mismo lugar, otro cráneo identificado con el número 1813. El sitio donde fueron descubiertos fue datado, empleando el método potasio-argón, en 2,6 millones de años. Diversas anomalías encontradas en la aplicación del método de datación rebajaban la cifra anterior a 1,9 millones de años. Estas discrepancias en la interpretación de los datos proporcionadas por el método potasio-argón aconsejaron utilizar un método alternativo: el de las "trazas de fisión".

Este método se basa en la siguiente idea: Muchas cenizas volcánicas contienen

cristales de circonio con trazas de uranio. El uranio-238, que constituye el 99,3% del uranio natural, se fisiona espontáneamente en dos núcleos a una velocidad muy lenta pero constante. Los dos núcleos resultantes por cada núcleo fisionado salen despedidos dejando un pequeño túnel o raya en el cristal. Contando el número de "rayas" en el cristal y midiendo el contenido de uranio se puede conocer la antigüedad de la muestra. El momento cero del reloj es el de formación del cristal, lo que ocurrió cuando se produjo la erupción volcánica. Aplicando esta técnica a la toba KBS se encontró inicialmente una antigüedad de 2,6 millones de años, posteriormente corregida a 2,4 millones de años. No obstante esta datación corresponde a la medida de algunos cristales. Un estudio que abarcó a un extenso número de cristales da a la toba KBS una antigüedad de 1,9 millones de años, interpretándose los cristales disidentes como una contaminación de la misma. Posteriormente los cristales han sido datados de nuevo aplicando un método más reciente: el Argón-40-/Argón-39 obteniéndose una de nuevo un valor de 2,4 millones de años. Recientemente, en una zona próxima a la indicada se han encontrado restos, tal vez de antepasados de seres humanos antepasados, que la datación radiométrica da una antigüedad de unos 4 millones de años. De confirmarse la historia humana se veía ampliada en más de un millón de años. La controversia sigue pero no es la única.

En diciembre de 1912 se descubrieron unos sorprendentes restos de seres humanos en Piltown, en Sussex (Gran Bretaña). Durante los siguientes seis años continuaron encontrándose restos en dos lugares bastante próximos. En uno de ellos se obtuvieron restos de un cráneo claramente humano junto a una mandíbula simiesca. En el mismo lugar

aparecieron otro tipo de fósiles a los que se atribuyeron 2 millones de años. Estos restos sembraron el desconcierto durante 40 años. Finalmente se descubrió que eran de un orangután y de un hombre del siglo pasado. Tal vez habían sido puestos juntos intencionadamente por alguna mano no precisamente inocente. Un nuevo método de datación -el carbono-14- que valió el premio Nobel a su descubridor, contribuyó a aclarar fraudes como éste.

EL MÉTODO DEL CARBONO-14

El método del carbono-14 (^{14}C) fue descubierto en 1947 por Libby. Es aplicable a muestras de una antigüedad relativamente escasa (hasta 50.000 años). Se ha convertido en el más utilizado cuando se trata de medir la antigüedad de objetos de origen orgánico, especialmente arqueológicos. Se basa en el siguiente principio:

El carbono existente en la atmósfera terrestre está compuesto por tres isótopos: el carbono-12, que representa el 99,9 %, el carbono-13, presente en un 1,1%, y carbono-14, que constituye sólo un $1,18 \cdot 10^{-14}$ %. Este último, que es la clave del método, se forma a partir del nitrógeno-14, también presente en la atmósfera. El nitrógeno-14 está continuamente sometido al bombardeo de neutrones procedentes de la radiación cósmica. Alguno de estos neutrones alcanzan al nitrógeno-14 con una energía adecuada para transformarlo en ^{14}C , que es radiactivo. Su periodo de desintegración es 5730 años. Si suponemos que la radiación cósmica no ha experimentado variaciones apreciables en los últimos 50000 años, la tasa de producción de los átomos del ^{14}C será constante. Como su periodo de desintegración es relativamente corto, la cantidad de átomos de

^{14}C que se produce será similar a los que se desintegran, por tanto, la proporción de éste en el carbono total de la atmósfera terrestre habrá sido constante en los últimos milenios. Los seres vivos al respirar, o al realizar la fotosíntesis, incorporan parte del carbono a su organismo. Cuando un ser vivo muere deja de incorporar carbono. De los tres isótopos que forman el carbono dos son estables (carbono-12 y carbono-13) y permanecerán como tales; el otro, el carbono-14, al ser radiactivo se irá desintegrando, disminuyendo su proporción en el carbono total. Midiendo el contenido de ^{14}C en una muestra de lo que fue un ser vivo, y comparándolo con el contenido total de carbono en la misma podremos conocer la antigüedad de ésta. En la realidad el método no es tan simple pues el la proporción de ^{14}C en el carbono total de la atmósfera no es constante sino que fluctúa, parece ser que de forma cíclica relacionada con la actividad solar, siendo necesario introducir correcciones al mismo. A esto se ha añadido la producción de ^{14}C de origen artificial, procedente de las explosiones nucleares en atmósfera ocurridas, principalmente, en los cincuenta y principios de los sesenta.

La evolución del contenido del ^{14}C en la atmósfera puede estimarse midiendo el contenido de éste en las capas de troncos de árboles de gran antigüedad. Cada capa corresponde a un año, contando el número de capa desde la corteza se sabe el año al que corresponde dicha capa. Esta técnica de datación se conoce como dendrología. Así se ha conseguido “calibrar” el método del ^{14}C para muestras de hasta 9000 años. De esta forma se ha podido conocer cosas tales como que la sábana de Turín, que se suponía fue el sudario que envolvió el cuerpo de Cristo, corresponde a un período comprendido entre el año 1.260 y

1.390 D.C.

Recientemente esta calibración se ha ampliado (véase "Dataciones con el carbono 14: precisión mayor", Mundo Científico Vol 11 pags 432-434, 1991) hasta más allá de 40.000 años. Esto ha sido posible gracias a la comparación de este método con la medida del ^{234}U - ^{230}Th en corales. En el momento de formación del coral su contenido en ^{234}U es conocido. A partir de ese momento empieza a formarse el ^{230}Th . Comparando el contenido de ^{14}C con el ^{230}Th podemos determinar la antigüedad del coral. Como los corales pueden datarse aplicando el método del ^{14}C es posible comparar ambos métodos. Así se ha llegado a la conclusión de que es necesario aumentar la antigüedad de las muestras tasadas con ^{14}C a medida que aumenta su antigüedad, existiendo una discrepancia de 3000 años en muestras de 20000 años. Esto va a obligar a revisar algunas fechas. Por ejemplo la última glaciación habría tenido lugar hace 20000 años y no 17000 años como hasta ahora se creía.

Más allá de 40000 a 50000 años el método difícilmente puede aplicarse por la exigua cantidad de ^{14}C en el carbono total y la dificultad en conocer cómo ha variado su contenido en la atmósfera en un pasado relativamente lejano.

Las aplicaciones de los isótopos radiactivos al conocimiento de nuestro pasado no acaban aquí. Por ejemplo: El estudio de las series del uranio nos proporciona una inestimable información sobre la geología de nuestro planeta, de su clima pasado, del comportamiento de nuestros océanos, lagos y ríos. A partir de ellos podemos hacer especulaciones, con cierto fundamento, sobre nuestro futuro.

Los isótopos radiactivos se han mostrado como excelentes colaboradores

proporcionando numerosas pistas sobre nuestro pasado. Todo hace pensar que en el futuro nos van a continuar aportando nuevos conocimientos y, tal vez, algunas sorpresas.

PARA MÁS INFORMACIÓN

E, Roth y B, Poty, *Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels: applications*, Masson 1985

I y Z, Draganic y J Adloff, *Radiation and Radioactivity: On Earth and Beyond*, CRC 1990

R, Lewin, *La interpretación de los fósiles*, Planeta 1989

Figura 1.- Los isótopos radiactivos son aquellos elementos que se desintegran en otros. El caso más simple es el de un elemento A que se desintegre en otro elemento no radiactivo (estable) B. En la figura mostramos un ejemplo de este tipo. Corresponde al carbono-14 que se desintegra en nitrógeno-14. En otros casos el proceso es más complicado. A veces ocurre que un elemento A se desintegra en otro B, también sea radiactivo, que a su vez se desintegra en otro C (En la figura 2 se muestra un ejemplo de cadena de desintegración más complicada). La velocidad de desintegración de un elemento se suele expresar por el periodo de semidesintegración, que se define como el tiempo necesario para que se desintegren la mitad de los átomos del elemento. En el caso del carbono-14 este valor es de 5430 años. Eso significa que partiendo de una cantidad 1, pasados 5430 años quedará 1/2 y transcurridos otros 5430 años quedará 1/4 y así sucesivamente. Esta propiedad se utiliza para determinar la edad de rocas, objetos, etc. Naturalmente se necesitan que se den condiciones para ello, como por ejemplo que el objeto contenga, en cantidad detectable, un isótopo apropiado a la edad que se pretende medir. A veces se utiliza como elemento de datación la presencia simultánea de dos cadenas de desintegración y se establecen relaciones entre las proporciones de algunos de sus elementos. Éste es el caso de las cadenas de desintegración del uranio-238 y el uranio-235.

Figura 2.- Las dos series naturales de desintegración radiactivas más importantes son la del uranio-238 (^{238}U) que termina en el plomo-206 (^{206}Pb) y el uranio-235 (^{235}U) que lo hace en el plomo-207 (^{207}Pb). El ^{238}U tiene un periodo de desintegración de 4470 millones de años que, por casualidad, coincide con bastante aproximación con la edad de la Tierra. Por tanto el ^{238}U existente en la actualidad es aproximadamente la mitad de la que existía en el momento de formación de nuestro planeta. El ^{235}U se desintegra a una velocidad unas seis veces superior a la del ^{238}U , como consecuencia de lo cual su proporción en el uranio natural era en aquella época era considerablemente más elevada que en la actualidad. Este alto contenido de ^{235}U probablemente permitió la existencia de reactores nucleares naturales en el pasado, situación que es imposible en el presente. El uranio posee dos radisótopos (^{238}U y ^{235}U) de cadenas independientes y está presente en la mayoría de las rocas. Este hecho fue utilizado por Wetherill para medir en numerosas rocas las relaciones de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ frente al $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ representando los resultados en una curva continua conocida como curva de la concordia. El valor de estas relaciones permite determinar de la antigüedad de la roca aunque hayan perdido parte de su plomo, pues al tener el ^{206}Pb y el ^{207}Pb propiedades químicas idénticas si la roca ha perdido plomo lo habrá realizado de ambos isótopos

Figura 3.- En la figura se observa la composición isotópica típica del plomo natural en la actualidad. Estos isótopos pueden tener origen primigenio o radiogénico. Se conoce con el nombre de primigenios, o primordiales, a los isótopos que existen desde el principio del Sistema Solar y por radiogénicos a los que se han formado a partir de la desintegración de isótopos radiactivos primigenios. La proporción de éstos últimos varía dependiendo de la antigüedad de la muestra. Según el método de las isocronas del plomo-plomo (Pb-Pb) las muestras que contienen la misma relación de $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ frente al $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ tienen la misma antigüedad. Por este método se han datado varios meteoritos de condritas carbonáceas, que se suponen de la misma antigüedad que el Sistema Solar, obteniéndose una edad de unos 4500 millones de años. Una edad muy parecida se ha obtenido midiendo los mismos meteoritos con el método del Rb-Sr.

Figura 4.- Los meteoritos bombardean la Tierra continuamente. La mayoría, de pequeño tamaño, se funden en las capas altas de la atmósfera. Muy pocos llegan a impactar con el suelo. Algunos de ellos presentan una composición química y unas anomalías isotópicas que nos indican que se formaron cuando el resto del sistema solar, hace 4500 millones de años, y que el origen del

sistema solar probablemente está relacionado con la explosión de una estrella (supernova) en sus proximidades.