



3.3. Métodos de datación.

Un aspecto muy importante de toda investigación arqueológica y paleontológica es datar los objetos encontrados, y así poder saber en qué momento determinado del tiempo vivieron los organismos que hoy tan solo conocemos por sus restos fósiles, cuándo se fabricó un determinado instrumento de piedra, o cuando ocurrieron determinados hechos o determinados fenómenos naturales. Aunque lo ideal sería poder datar los propios fósiles de manera directa y obtener la edad en años "calendáricos", esto no es siempre posible.



3.5 Métodos de datación



3.5.1 Iniciando el tema

¿Podrías nombrar algún método de datación por el que se puede dar la edad de una roca determinada?

La determinación de la edad geológica (antigüedad) de un fósil, o de un estrato, es tarea de la Geocronología y los métodos utilizados pueden dividirse en dos grandes bloques, muy relacionadas entre sí y casi siempre complementarios:

A) Métodos de datación relativa, que tan solo nos dicen cuando un acontecimiento, un fósil, una roca, un estrato o un yacimiento es más antiguo o más moderno que otro. Una vez que los distintos fósiles o acontecimientos han sido ordenados temporalmente, aún queda pendiente una cuestión capital: ¿cuándo ocurrieron? ¿estamos hablando de miles, de cientos de miles, o de millones de años?

B) Métodos de datación absoluta, que nos dan la edad en años. Las técnicas modernas de datación absoluta se han desarrollado solo a partir de los años 1950 y 1960.



3.5.2 Datación relativa, datación absoluta

Tu familia está formada por diferentes individuos (hermanos, padres, tíos, primos, abuelos). Si no supieras la edad de ninguno de ellos ¿podrías ordenarlos cronológicamente de mayor a menor?, ¿qué criterios utilizarías?, piensa e inténtalo. Igual no puedes colocar a todos, pero si a muchos de ellos.





3.3.1 Técnicas de datación relativa

Resulta fundamental conocer el orden en que se sucedieron los acontecimientos aunque no sepamos con certeza cuándo ocurrieron éstos; a esta ordenación temporal se le conoce como "datación relativa".

El principal criterio para establecer la datación relativa de los estratos, y de los fósiles que contienen, es el Principio de superposición de los estratos

a) Principio de Superposición de los estratos.

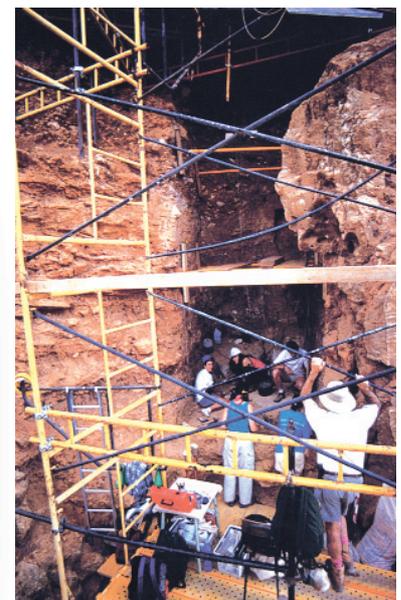
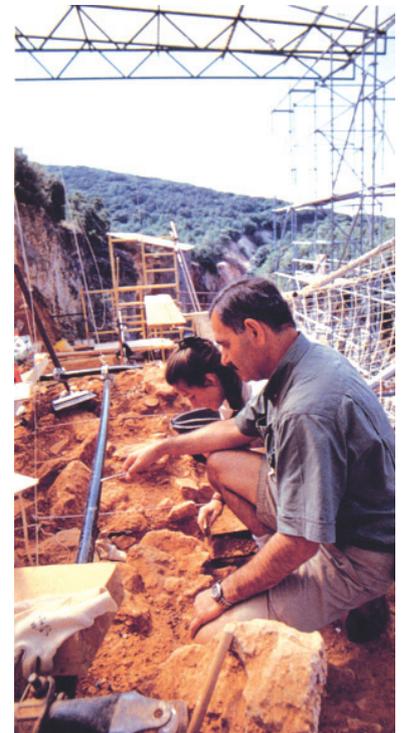
Se basa en el hecho evidente de que los estratos más antiguos están situados por debajo de los más recientes. Puesto que las capas sedimentarias más antiguas se depositaron antes que las más modernas, en un yacimiento los estratos inferiores son más antiguos que los superiores. Es decir, que la situación en la secuencia estratigráfica nos indica directamente la edad relativa de los fósiles. Para que esta regla se cumpla es preciso asegurarse que el orden de los estratos no se haya visto alterado por procesos geológicos tales como plegamientos o episodios de erosión y relleno, y que los fósiles se encuentren en el estrato original en que se sedimentaron por primera vez.

Puede ocurrir que un fósil de un estrato sea arrancado de éste por los agentes geológicos y depositado en un estrato más joven. Conocer la relación entre un fósil y el estrato que lo contiene resulta de capital importancia a la hora de fechar uno en función del otro y viceversa. La ciencia que se ocupa de definir y estudiar los estratos se denomina Estratigrafía.

En de alteración de la situación normal tenemos que recurrir a otros criterios para saber cual es el estrato más antiguo y cual el más moderno (granoselección, huellas de paleocorrientes, huellas de animales, grietas de desecación, posición de los fósiles, etc.).

b) Principio de sucesión de acontecimientos geológicos: cualquier suceso geológico es posterior a los materiales que afecta y anterior a los materiales no afectados por él.

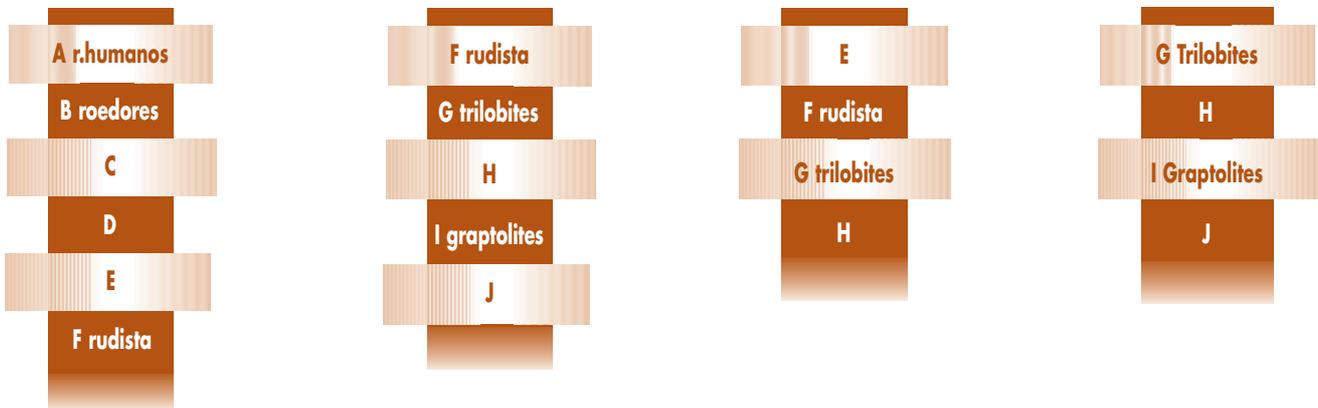
c) Evolución biológica: A lo largo de la historia de la vida sobre la tierra no siempre han existido los mismos organismos.





3.5.5. Fósiles guía.

Intenta correlacionar las columnas estratigráficas situadas en cuatro yacimientos distintos geográficamente alejados:



3.5.6. Un animal importante para la datación: *Mimomys savini*.

Explica la siguiente frase: "Algunos roedores son muy útiles en Bioestratigrafía (datación relativa) por su gran tasa de cambio evolutivo. También son muy útiles en Paleoecología por sus marcadas exigencias ecológicas".

3.5.7. Un animal importante para la datación: *Mimomys savini*.

En un nivel del yacimiento de La Gran Dolina de La Sierra de Atapuerca se han encontrado restos humanos y de animales, entre ellos dientes de un topillo (*Mimomys savini*), antepasado de la rata de agua actual (*Arvicola terrestris*). Se sabe que este topillo desapareció de Europa hace 600.000 Años. ¿Cuántos años piensas que, por lo menos, pueden tener los restos humanos encontrados en ese nivel?. Razona la respuesta.

Uno de los grupos de mamíferos que tienen interés en bioestratigrafía es el de los roedores. De todas las partes de un mamífero que pueden fosilizar, son los dientes los que más posibilidades tienen debido a su dureza. En los roedores, los primeros molares son los que presentan un mayor número de rasgos para diagnosticar la especie y para hacer estudios evolutivos. La identificación de los micromamíferos del nivel 6 de la Gran Dolina, además de permitirnos dar una antigüedad a los restos de los primeros europeos, *Homo antecessor*, nos permiten hacer reconstrucciones paleoambientales de la Sierra de Atapuerca en ese momento del tiempo, e incluso a lo largo de toda la secuencia estratigráfica del yacimiento. Si las musarañas necesitan para vivir medios húmedos y relativamente cálidos, su abundancia en un nivel estratigráfico determinado nos indicará un predominio de estas condiciones. Si por el contrario, hay un gran número de arvicólidos (ratas de agua) y ausencia de insectívoros (erizos, musarañas, topes), tendremos un medio abierto, relativamente frío y húmedo. Con las asociaciones de estos pequeños mamíferos se realizan correlaciones a escala local, regional y continental que permite conocer la edad relativa de unos yacimientos con relación a los otros.



Mimomys savini





3.3.2 Técnicas de Datación absoluta

Las técnicas de datación absoluta nos dan la antigüedad de un objeto en años antes del presente. Entre las técnicas más conocidas se encuentran las llamadas **“técnicas radiométricas de datación absoluta”**, como el radiopotasio (Potasio-Argón), el Uranio-Torio o el famoso Carbono-14 (radiocarbono).

Todas las técnicas radiométricas se basan en las propiedades radiactivas de ciertos elementos químicos. La materia está compuesta por partículas que llamamos átomos, que a su vez están constituidos por protones y neutrones (situados en la región central del átomo) y electrones (dispuestos en la periferia del átomo).

Es el número de protones lo que define y caracteriza a los distintos elementos químicos, mientras que dentro de cada uno de ellos se incluyen átomos con diferente número de neutrones que se conocen como los isótopos de un elemento. Es decir, que todos los isótopos de un elemento tienen el mismo número de protones (característico del elemento en cuestión) pero varían en el número de neutrones. A los isótopos se les nombra con el nombre del elemento, al que se añade el número de neutrones. Por ejemplo, el isótopo del carbono que tiene 14 neutrones en su núcleo se conoce como Carbono-14 y al que tiene 12 neutrones como Carbono-12.

La radiactividad natural consiste en un proceso por el que algunos isótopos se desintegran de manera espontánea; es decir, sufren variaciones en el número de neutrones o de protones de su núcleo, emitiendo radiaciones (alfa, beta y gamma). Cuando varía el número de neutrones el isótopo se convierte en otro isótopo distinto del mismo elemento (por ejemplo C-12 y C-14), pero si la modificación afecta al número de protones, entonces se produce un cambio de elemento (por ejemplo Potasio y Argón).

Las desintegraciones radiactivas se producen de manera espontánea y regular, pudiéndose establecer lo que se conoce como período de semidesintegración o vida media de un isótopo radiactivo, que es el tiempo necesario para que la cantidad inicial de dicho isótopo se reduzca a la mitad. Cada isótopo radiactivo tiene su propio periodo de semidesintegración, por ejemplo, el del Carbono-14 es de 5.730 años, el del Potasio-40 de 1.250 millones de años y el del Uranio-238 de 4.500 millones de años.

La radiactividad de un elemento se caracteriza por el periodo de semidesintegración (tiempo que tiene que transcurrir para que una muestra radiactiva se reduzca a la mitad y que es independiente de la cantidad de la muestra). Ésta cubre un rango muy extenso de tiempo, desde los pocos microsegundos hasta miles de millones de años.

Al final del periodo de semidesintegración, la mitad de la cantidad original del elemento radiactivo ha decaído; después de otro periodo igual, lo que quedaba se reduce de nuevo a la mitad, lo que reduce a una cuarta parte el total inicial, y así sucesivamente.

Para obtener fechas por técnicas radiométricas, la roca a datar debe contener en el momento de su formación solamente el elemento radioactivo “padre” (por ejemplo Potasio-40) y nada del elemento “hijo” (Argón). Midiendo la cantidad de ambos elementos (o isótopos) y conociendo la vida media del elemento padre se puede calcular el tiempo transcurrido desde que la proporción era cero, es decir, desde que se formó la roca.





EL MÉTODO DEL CARBONO-14

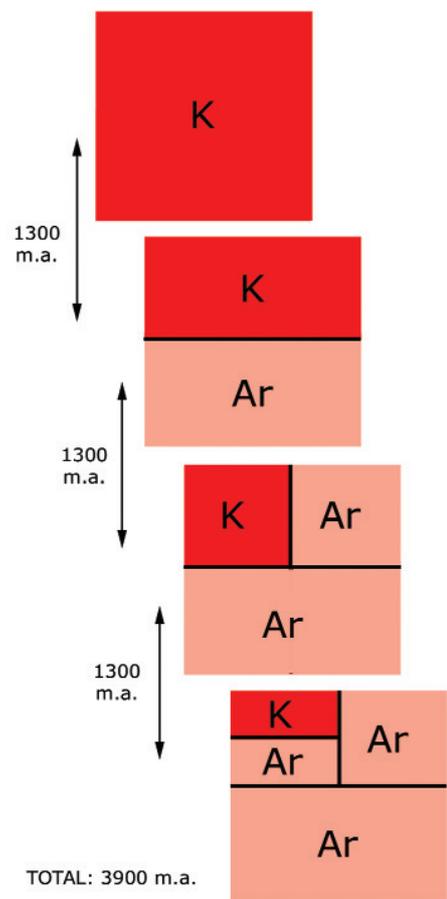
El Carbono-14 es un isótopo del carbono que se forma de manera continua en las capas altas de la atmósfera terrestre, debido a la acción de los rayos cósmicos sobre el Nitrógeno-14. Una vez formado, el Carbono-14 se oxida con el oxígeno para dar lugar a moléculas de dióxido de carbono (CO_2), que son indistinguibles químicamente de las formadas por el isótopo "normal" del carbono, el Carbono-12. Estas moléculas de dióxido de carbono pasan a formar parte, a través de la fotosíntesis, de los tejidos vegetales, y de ahí a los animales. De modo, que todos los seres vivos mantienen en sus tejidos una proporción entre Carbono-14 y Carbono-12 que es la misma que la existente en la atmósfera terrestre.

Cuando el organismo muere, deja de incorporar carbono a sus tejidos y la proporción entre ambos isótopos comienza a cambiar, ya que el Carbono-14 es inestable y se convierte en Carbono-12 con un periodo de 5.568 años. Es decir, que transcurridos 5.568 años desde la muerte del ser vivo, la mitad de su Carbono-14 habrá desaparecido para convertirse en Carbono-12, y pasados 11.136 años desde su muerte la cantidad de Carbono-14 inicial se habrá reducido a una cuarta parte. Como la cantidad inicial de Carbono-14 es la misma que la presente en la atmósfera terrestre, basta con medir la cantidad de Carbono-14 presente en una muestra cualquiera para deducir el tiempo transcurrido desde su muerte. A partir de determinada antigüedad hay tan pocos átomos de Carbono-14 que su medición se hace muy imprecisa y se llega a un punto más allá del cual no es posible obtener dataciones fiables. El límite de la técnica del Carbono-14 ronda los 45.000 años de antigüedad.

La mayor parte de los acontecimientos que ocupan a los paleontólogos y prehistoriadores sucedieron mucho más allá del alcance del método del Carbono-14, y por ello se han desarrollado nuevos métodos que, basándose en el mismo fenómeno de la radiactividad natural, alcanzan antigüedades mucho mayores. Estos métodos están basados en isótopos de elementos tales como el potasio y el uranio que al tener vidas medias más largas sirven para datar rocas más antiguas.

DATAACIONES POR POTASIO-ARGÓN Y SERIES DE URANIO

Como resultado de su desintegración, el Potasio-40 (cuyo periodo de desintegración es de 1.250 millones de años) se convierte en Argón-40, un gas inerte muy escaso en la Tierra. En el momento de su formación las rocas volcánicas no contienen ninguna cantidad de Argón-40, pero al solidificarse la lava se empieza a formar Argón-40 a partir de



Periodo de desintegración del K^{40} en Ar^{40}

Esquema de desintegración del potasio en argón





la desintegración del Potasio-40 presente en la roca. Midiendo la cantidad de Argón-40 de una muestra sabemos el tiempo transcurrido desde el momento de la formación de la roca y, por tanto, su edad.

Una vez determinada la edad de una roca por esta técnica, y según el principio de superposición de los estratos, los fósiles situados por debajo de la roca datada serán más antiguos que ésta y los que estén por encima serán más modernos. El mayor inconveniente de esta técnica es que las rocas volcánicas que pueden ser datadas no son frecuentes o están ausentes en muchas zonas del planeta (como la mayor parte de la Península Ibérica).

Allí donde no hay rocas volcánicas, se utilizan varios de los **isótopos del Uranio** para averiguar la edad de las rocas. Al igual que con el Potasio -40, puesto que la vida media de los isótopos del Uranio implicados son conocidos, las proporciones relativas entre ellos son una medida directa del tiempo transcurrido desde la formación de la roca que los contiene. Sin embargo, llega un momento en que no es posible medir con precisión el número de átomos de los distintos isótopos del Uranio, y reloj isotópico de detiene. A esta situación se le conoce como estado de equilibrio y se alcanza hacia los 350.000 años por lo que no puede usarse esta técnica para datar rocas más antiguas de esa cifra.

En las cuevas el agua disuelve la roca madre caliza arrastrando al uranio que contiene. Cuando el carbonato cálcico disuelto en el agua precipita, dando lugar a estalagmitas y estalactitas, también lo hace el uranio, que comienza a desintegrarse en los distintos isótopos. De este modo, el reloj isotópico se pone en marcha marcando el momento de formación de estalactitas y estalagmitas.

Con frecuencia, los yacimientos con fósiles se depositan encima de una estalagmita y/o son cubiertos por otra. Si la estalagmita cuya edad se conoce está debajo de los fósiles, estos serán más modernos, y si se encuentran por debajo de la estalagmita datada serán más antiguos.

DATAACIONES POR TERMOLUMINISCENCIA

Otra técnica relacionada con los métodos radiométricos y aplicable en arqueología y paleontología es la termoluminiscencia. Este método se basa en medir la luz que emiten algunos minerales cristalinos al ser calentados en el laboratorio. La intensidad de esta luz es proporcional a la radiación que recibió y al tiempo transcurrido desde la última vez que se calentó ese material. Se ha utilizado con restos de cerámica, que fueron calentados en el momento de su cocción y por tanto puede fecharse el momento de su fabricación. También se usa para datar sílex, dientes y huesos quemados.





3.3.3 ¿Quieres saber más sobre datación?

Otras Técnicas de Datación

Existen una serie de técnicas de datación que se basan en distintos principios que no son radiométricos entre las que se encuentran el paleomagnetismo, pero que necesitan las dataciones absolutas radiométricas para establecer una escala temporal.

Paleomagnetismo.

La Tierra está formada por corteza, manto y núcleo. El núcleo tiene dos partes: un núcleo interno sólido y otro externo líquido, ambos de naturaleza metálica. El magnetismo terrestre se explica mediante la teoría de la dínamo: el núcleo externo líquido va rezagado en su movimiento de rotación con respecto al manto sólido que lo rodea. Tal movimiento diferencial determina que el núcleo se comporte como una gran dínamo generando corrientes eléctricas, que a su vez establecen un campo magnético con sus dos polos magnéticos, uno Norte o positivo y otro Sur o negativo. Nuestras brújulas tienen una aguja imantada (también con sus dos polos magnéticos) que se orienta según el campo magnético terrestre. En la actualidad el "norte magnético de la aguja" de la brújula apunta siempre hacia el polo Norte geográfico, y si lo señalamos con algún color (suele ser negro o rojo) siempre sabremos donde está el Norte geográfico.

Por tanto actualmente decimos que el "Norte magnético" (el de la brújula) se sitúa cercano al Norte geográfico y el Sur magnético (de la brújula) cerca del Sur geográfico. A esta situación actual del campo magnético de la Tierra se la llama polaridad normal. De todas formas los polos magnéticos no coinciden exactamente con los geográficos y presentan una desviación de aproximadamente 15° que llamamos declinación magnética.

Sin embargo, a lo largo de la historia geológica de la Tierra se han producido cambios reiterados de la polaridad magnética terrestre. En otras palabras, los polos norte y sur magnéticos de la tierra han intercambiado su posición, y a esta orientación se la denomina polaridad inversa. En aquella época el "Norte magnético de la brújula" indicaría el sur geográfico y entonces diríamos que el "Norte magnético" (el de la brújula) se sitúa cerca del sur geográfico y el "Sur magnético" (el de la brújula) estaría cercano al Norte geográfico.

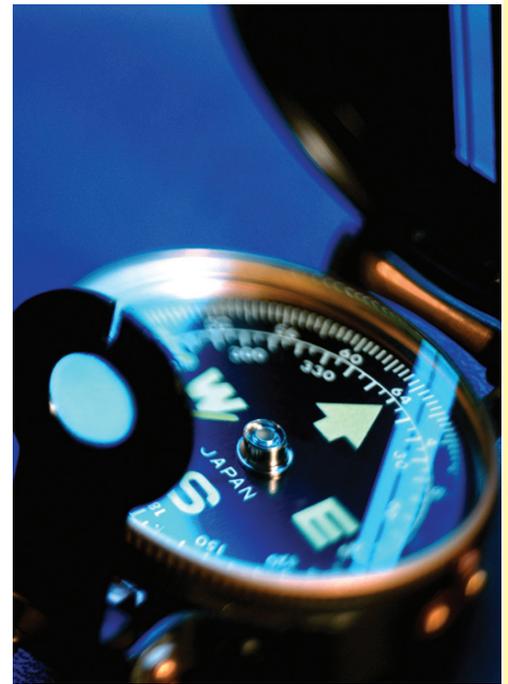




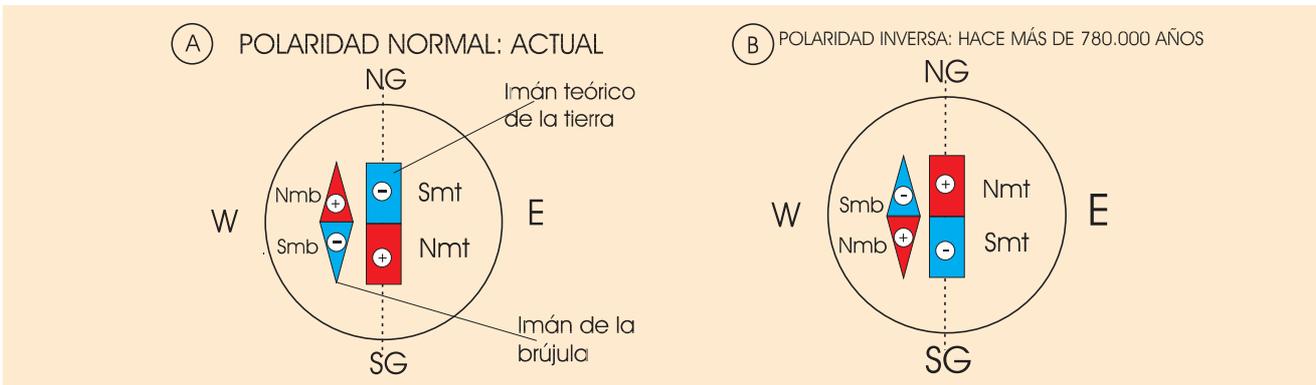
3.5.8. Trabajando con la brújula.

Seguramente habrás manejado una brújula alguna vez. ¿Cuál crees que puede ser la causa de que las brújulas se orienten y nos apunten hacia el Norte geográfico? Averigua donde se encuentran hoy día los polos del imán terrestre respecto a los geográficos.

Haz un dibujo de la aguja de una brújula en una situación de polaridad normal y otra de polaridad inversa del campo magnético terrestre. La actual situación es de orientación normal y es así desde hace 780.000 años. Antes de esa fecha tenía una orientación inversa. Se conoce con exactitud la fecha y duración de cada uno de los períodos de polaridad normal y polaridad inversa gracias a las dataciones absolutas con técnicas radiométricas realizadas en los sedimentos donde se localizan también las inversiones del campo magnético. De esta forma no solo sabemos que se han producido inversiones de polaridad, sino también cuando han ocurrido.



Brújula



3.5.9. Polaridad (1)

En la excavación de Gran Dolina de la Sierra de Atapuerca se han encontrado restos humanos enterrados por sedimentos y rocas. En estas rocas se han realizado estudios para ver la polaridad que presentaba el magnetismo de las partículas de los minerales de hierro (magnéticos), observándose que presentaban una polaridad inversa. Si los humanos de aquella época hubieran tenido una brújula como las actuales, ¿hacia dónde crees que les apuntaría, hacia el Norte o hacia el Sur geográfico?. ¿Por qué?

Sabemos que la polaridad de la Tierra ha cambiado porque las partículas magnéticas de los minerales de hierro que contienen ciertas rocas (como lavas o arcillas) se orientan según el campo magnético terrestre que exista en el momento de formación de la roca, y esa orientación no cambia posteriormente a pesar de que cambie el campo magnético. A este magnetismo fosilizado se le llama Paleomagnetismo.





3.5.10 Polaridad (2)

Un lugar donde se ha estudiado el paleomagnetismo son las dorsales oceánicas. En éstas dorsales se esta formando corteza oceánica constantemente, saliendo material del interior de la Tierra y disponiéndose éste a ambos lados de la dorsal.

Supongamos que tomamos muestras en dos puntos determinados de la superficie del fondo oceánico alejados tan solo unos metros y que nos encontramos que el mineral de hierro tiene orientaciones distintas en cada uno de ellos.

¿Cómo podrías explicarlo ?. Razona la respuesta realizando un dibujo de una dorsal oceánica en la que se vea lo descrito en la actividad. ¿Cómo crees que se podría utilizar esto para dar la edad a unos estratos?.

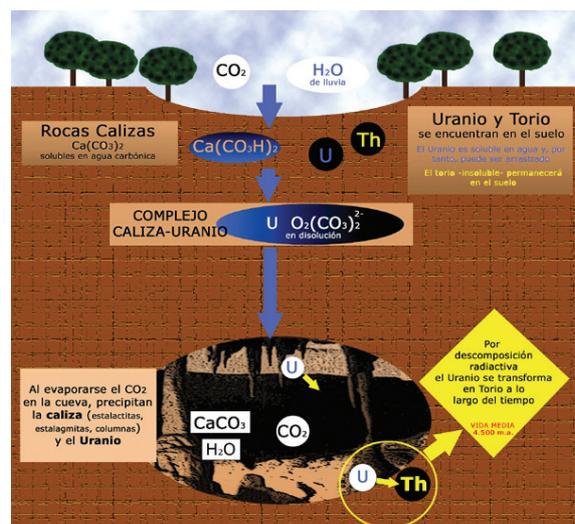
Con esto sabemos que la polaridad de la Tierra cambia, pero ¿cuándo cambia?. Con los materiales magmáticos y sedimentarios utilizamos los métodos de datación radiométricos y de esta forma calculamos la edad de estos materiales y la de las inversiones magnéticas detectadas en ellos. teniendo una brújula como las actuales, ¿hacia dónde crees que les apuntaría, hacia el Norte o hacia el Sur geográfico?. ¿Por qué?

Sabemos que la polaridad de la Tierra ha cambiado porque las partículas magnéticas de los minerales de hierro que contienen ciertas rocas (como lavas o arcillas) se orientan según el campo magnético terrestre que exista en el momento de formación de la roca, y esa orientación no cambia posteriormente a pesar de que cambie el campo magnético. A este magnetismo fosilizado se le llama Paleomagnetismo.

3.5.11.El uranio y el proceso de datación

En este esquema se puede ver como el uranio llega a formar parte de las rocas calizas.

- a) ¿Cómo es posible que el Uranio llegue a formar parte de dichas rocas? Explícalo.
- b) Se puede calcular la edad de una roca de la Sierra de Atapuerca por este método? ¿cómo?
- c) Este método, ¿nos sirve para datar la edad de dichas rocas o son necesarios otros métodos?. Razónalo.



Proceso de precipitación del uranio en roca caliza

