



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

# “TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES ROCAS PARA LA SITUACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS DE RESIDUOS RADIOACTIVOS, ANÁLOGOS NATURALES Y APLICACIONES DE LAS ARCILLAS EN LA ACUMULACIÓN DE LOS RESIDUOS RADIOACTIVOS”

AUTORIA <b>FRANCISCO JAVIER FIMIA GARCÍA</b>
TEMÁTICA <b>ARTÍCULO MEDIO AMBIENTAL</b>
ETAPA <b>ESO/BACHILLERATO</b>

## Resumen

Desde la aparición del hombre sobre la Tierra se ha producido un continuo aprovechamiento de los recursos naturales, que a su vez, lleva aparejado una generación de residuos cada vez más complejos. En la etapa recolectora ganadera todos los residuos generados por el ser humano eran fácilmente reintegrables en los diferentes ecosistemas, se trataba de restos biodegradables, pero con el avance del desarrollo tecnológico se crean productos que pueden permanecer en los ecosistemas decenas, miles e incluso millones de años, como es el caso de los residuos radioactivos que pasamos a tratar a continuación.

## Palabras clave

Análogos naturales  
Arcillas  
Bentonitas  
Esmectitas  
Emplazamiento Geológico Profundo  
Formaciones geológicas  
Granitos  
Ilitas  
Materiales plásticos  
Residuos radioactivos  
Sales  
Saponitas

## 1. JUSTIFICACIÓN CURRICULAR E INTRODUCCIÓN

C/ Recogidas Nº 45 - 6º-A Granada 18005 [csifrevistad@gmail.com](mailto:csifrevistad@gmail.com)



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

El motivo del presente artículo es el de ampliar la visión que los alumnos de la ESO y, principalmente, de Bachillerato tienen acerca de la energía nuclear y su problemática actual, puesto que va a ser a estos mismos alumnos a los que les va a tocar decidir en un futuro más o menos inmediato si realmente merece la pena asumir los riesgos que la tecnología nuclear actual presenta. Por tanto este artículo pretende servir de material de ampliación tanto para los alumnos como fundamentalmente para el resto de compañeros docentes.

El confinamiento de residuos radioactivos, de alta actividad y larga vida, en formaciones geológicas continentales estables está siendo objeto de estudio, por toda la comunidad internacional, dadas las especiales características de este tipo de residuos. Se pretende determinar aquellas formaciones que ofrezcan un menor riesgo y garanticen una mayor durabilidad en el tiempo.

Los estudios se centran en granitos, sales y arcillas, que en principio por sus características geológicas parecen reunir las condiciones necesarias de seguridad a largo plazo para el almacenamiento de este tipo de residuos:

- Zona geográfica que desde el punto de vista geológico presente condiciones adecuadas, es decir debe tratarse de una zona geológicamente pasiva, no sometida a movimientos tectónicos o que presente fracturación.

- Desde el punto de vista hidrológico debe ser conocida no solo la red subterránea, sino que, también los niveles de pluviosidad deben ser bajos (< 650 ml/año). A su vez la roca almacén debe ser impermeable para evitar fenómenos de corrosión y posterior migración de los radionúclidos.

- Debe poseer las dimensiones (potencia y profundidad) y homogeneidad lateral suficiente, para acoger las instalaciones necesarias y favorecer su aislamiento.

- La roca no debe reaccionar con el contenedor y poseer además las condiciones mecánicas favorables para la realización de las obras de almacenamiento.

- La formación geológica debe tener una buena conductividad térmica.

## **2. TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES EMPLAZAMIENTOS**

### **2.1. Características de los granitos**

- Los granitos son unas rocas muy resistentes e impermeables, en el caso de no hallarse fracturados. El problema principal de los granitos es que pueden alterarse rápidamente a través de las fracturas que este posea, pasando a ser una roca muy permeable. Los granitos fracturados se verían afectados por una fuerte alteración debida a las aguas superficiales que por ellos circularan.

- El granito es una roca rígida por lo que las infraestructuras que en ellos se acometan permanecen, suponiendo zonas abiertas que implican la realización de posteriores sellados.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

## 2.2. Características de las rocas salinas

- Las rocas salinas presentan una baja permeabilidad.
- Tienen una buena conductividad térmica.
- Son materiales plásticos y absorben pequeños reajustes tectónicos.
- Presentan una estabilidad mineralógica elevada. Sin embargo en este tipo de rocas existen otros minerales que perjudicarían su uso como reservorio.

Por ejemplo, los carbonatos, sulfatos (yeso) y silicatos. Si estos minerales están dispersos en la roca salina su incidencia es prácticamente despreciable, pero si se encuentran constituyendo niveles continuos dentro de la sal, como estratos, si son perjudiciales pues, o bien, son vías preferenciales a través de las cuales puede penetrar agua, o porque pueden modificar notablemente el comportamiento mecánico de dichos cuerpos salinos. Otro problema es la presencia de yeso en cantidades significativas, que sufre una pérdida de agua y como consecuencia disminuye su volumen.

·Al ser materiales plásticos producen un autosellado al finalizar los emplazamientos, pero también puede dar lugar a diapiros.

## 2.3. Características de las arcillas

- Son abundantes en nuestro país.
- Son extremadamente plásticos y permiten absorber cualquier movimiento de tipo mecánico de origen natural que se produjera en el entorno del vertedero.
- Elevada capacidad de cambio de estos minerales que permite intercambiar y absorber iones del medio con el que están en contacto.
- Elevadísimo grado de impermeabilidad que hace muy escasa la circulación de fluidos en su interior.

## 3. ANÁLOGOS NATURALES

Los análogos naturales son sistemas que han funcionado libremente en la naturaleza durante periodos de tiempo muy largos (periodos geológicos) y que por su contexto litológico, estructural, geoquímico e hidrogeológico presentan una gran similitud con el funcionamiento total o parcial de los sistemas propuestos de almacenamiento geológico profundo de residuos radioactivos de alta actividad. Su conocimiento y estudio sirve para arrojar luz y para establecer paralelismos de comportamiento de los futuros sistemas a largo plazo.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Un análogo natural puede ser considerado como un experimento natural no controlado por el hombre y que ha tenido lugar en una escala de tiempo muy amplia hasta nuestros días.

Dentro del concepto de análogo natural se incluyen, no obstante, materiales fabricados por el hombre y/o generados por él que han estado expuestos a la evolución del medio natural durante un largo periodo de tiempo (restos arqueológicos y/o antropológicos).

### 3.1. Ejemplos de análogos naturales

-Oklo (Gabón): el yacimiento de Oklo es uno de los más interesantes análogos naturales, a pesar de que su litología no se corresponde con ninguna de las que internacionalmente se están considerando para el almacenamiento de residuos radioactivos. La importancia de este análogo se debe a que en su interior se produjo una reacción de fisión controlada por el ambiente geológico, habiendo funcionado de manera similar a un reactor nuclear, por tanto, en este yacimiento se podría estudiar el efecto térmico y radiolítico en el sistema natural así como su comportamiento geoquímico de los productos de fisión bajo condiciones naturales (estos productos naturales son muy parecidos a los generados en un reactor convencional), pudiendo establecerse su movilidad, en relación con los sistemas de flujo, procesos de retardo, etc.

-Cigar Lake (Canadá): Cigar Lake, es otro yacimiento de uranio, de una elevada ley (65 %  $U_3O_8$ ) situado a unos 400 m de profundidad y generado por soluciones a una temperatura entre 150 y 200 °C y salinidades de 200-300 mg/l. este análogo es muy semejante al concepto de multibarrera de almacenamiento de residuos. El yacimiento está rodeado de arcillas alteradas y enclavado en una formación permeable, pero aunque tiene una edad de mil millones de años, la migración del uranio sólo a afectado a las arcillas próximas sin detectarse en superficie.

-Italia: Bosque fósil de Dunarobba de 1,5 m.a., perfectamente conservado embebido en arcillas lacustres, conservando los troncos sus propiedades como madera, sin presentar señales de lignificación, lo que demuestra la no circulación de fluidos a través de estas arcillas.

-Como análogo de los contenedores metálicos del almacenamiento, se ha abordado el estudio de los procesos de corrosión en una serie de cañones de Cu, que se encuentran en el lecho marino, parcialmente enterrados, durante más de 500 años.

-Análogo de Orciatico (Pisa; Italia): Este análogo natural nos permite estudiar el efecto térmico sobre las arcillas. Se trata de un cuerpo volcánico que intruye una formación arcillosa de edad Pliocena.

## 4. ARCILLAS

Las arcillas son un grupo de minerales abundantes en toda la superficie terrestre. Las arcillas son una familia de minerales caracterizados por su pequeño tamaño, menos de 2 micras, y su estructura laminar. Presentan una gran diversidad. Los moldes estructurales, con pequeños ajustes, permiten una variabilidad de composiciones químicas suficientemente grande como para permitir una amplia diversidad de propiedades.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Dentro de la amplia variedad de arcillas, un grupo de ellas reúne una serie de propiedades que han hecho fijar la atención ante la posibilidad de su empleo como materiales de relleno y sellado de los residuos de baja y alta actividad.

Clase de residuos	Origen
Baja-Media actividad	Residuos procedentes de la industria, instituciones, defensa y reciclado del combustible. Minería del Uranio.
Alta actividad	Reactores nucleares comerciales y de defensa, isótopos producidos en los reactores, combustibles nucleares.

En el caso de residuos de baja-media actividad se utilizan depósitos más o menos superficiales, ya que la actividad dura cientos de años y se trata de elementos de baja solubilidad, baja toxicidad química y no alteran el medio. Por lo que las arcillas juegan un papel impermeabilizador y de relleno de fracturas.

Para depósitos de alta actividad se requieren enterramientos profundos (granitos, sales y/o arcillas), y se han de tener en cuenta diversos factores, dado que la vida media abarca un amplio intervalo temporal.

- Estabilidad tectónica de la roca de caja.
- Propiedades físicas, químicas y mineralógicas apropiadas en la roca de caja.
- Geoquímica e hidrogeología apropiada del agua del terreno.
- Capacidad como multibarrera natural de la roca de caja.
- Recursos potenciales del lugar.

Una vez establecidas las características que debe cumplir un reservorio podemos decir que las arcillas, y en concreto las esmectitas, cumplen los requisitos de almacenamiento tanto como medio geológico, como material de barrera en los residuos de alta actividad. La estructura de la esmectita (2 : 1) y su red cristalina con un exceso de carga electrostática negativa, dado que la carga de los aniones de oxígeno no es compensada por los cationes presentes (Si, Al, Mg...). Esto hace que en la interlámina se introduzcan otros cationes con la finalidad de neutralizar la carga neta negativa de la estructura. Los nuevos cationes no permanecen fijos pueden ser desplazados por otros, haciendo de las esmectitas unos materiales de enorme poder absorbente. No solo es posible la absorción de cationes en las esmectitas sino que también se pueden absorber cationes orgánicos de gran tamaño, incluso moléculas no cargadas que se introducen solvatando a los cationes. Potencialmente cualquier sustancia puede ser retenida en el interior de las esmectitas, con una importante cualidad y es que pueden ser, en principio, extraídas desplazándolas con otras. Dada su capacidad absorbente las



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

esmeclitas son capaces de hincharse creciendo prodigiosamente en volumen y pasando, a medida en que lo hacen, desde un estado sólido a un estado gelificado pudiendo llegar hasta una suspensión líquida que le confiere carácter plástico y moldeabilidad.

Estas características han hecho de las esmeclitas elemento indispensable en multitud de utilidades industriales, donde se las conoce con el nombre de bentonitas.

Bentonita: Esmeclita > 90 %

Cuarzo, feldespato, anfíbol, calcita, etc < 10 %

En resumen las propiedades de las esmeclitas serían:

- Pequeño tamaño.
- Alta área superficial, 1 g = 800 m<sup>2</sup>/g.
- Fácil intercambio catiónico, 1 m eq/g.
- Hinchamiento en agua. Forma geles plásticos.
- Permeabilidad 10<sup>-10</sup> cm/s.

#### 4.1. Bentonitas y almacenamiento de residuos de alta

La actividad radioactiva se mantiene con intensidad decreciente a lo largo de unos cuantos miles de años. Por lo que es necesario almacenarlos en lugares que aseguren su aislamiento durante el tiempo en el que permanezcan activos.

En el caso del granito se usan materiales arcillosos para rodear las cápsulas de acero que contienen los residuos y sellar las perforaciones.

Debe evitarse en un almacenamiento radioactivo el contacto con el agua. El agua provoca el ataque químico de los contenedores y las dispersión de los radionucleótidos hacia la biosfera.

En la formación geológica ha de construirse una red de pozos y galerías en las que almacenar los contenedores. Estos se rodean de briquetas compactadas de bentonitas. Una vez rodeado el contenedor por las briquetas se procede a la humectación. La esmeclita absorberá agua y se hinchará.

El resultado es que el contenedor ha quedado rodeado por un material completamente plástico capaz de deformarse y absorber posibles movimientos tectónicos; el material ha rellenado completamente el espacio entre la roca huésped y el contenedor y también cualquier fisura producida en la roca por la perforación. El material es completamente impermeable una vez hinchado de manera que las aguas que pudiesen algún día alcanzar el emplazamiento, no podrán atravesar la barrera



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

geológica; el ambiente químico en el interior de la barrera de esmectita es completamente estable, ya que el agua que provocó el hinchamiento está retenida en el interior y no puede producir la alteración del contenedor.

En ambiente anaerobio el contenedor de acero se oxida a muy baja velocidad, 50 micrómetros/año. En el supuesto de que se produjese el ataque químico del contenedor y se liberasen radionucleótidos, estos serían absorbidos por el material arcilloso, cuando el agua atravesase de nuevo la barrera de bentonita en su camino hacia el exterior. La difusión sería el único proceso de paso de radionucleótidos, pero los valores de difusión dentro de la bentonita son muy bajos, de manera que el tiempo de transporte supera en muchos radionucleótidos sus respectivos periodos de semidesintegración.

#### 4.2. Problemas que puede presentar la bentonita

Los posibles problemas de estabilidad química se originan por el aumento de temperatura originado por la desintegración radioactiva. Se estima que en la pared externa del contenedor se alcanzaran temperaturas entre los 100 – 150°C. En esas condiciones la esmectita se transforma, lentamente, en otro mineral de la arcilla, la illita.

Esta transformación lleva consigo una reducción de volumen de la estructura cristalina con la consiguiente contracción de la barrera permitiendo el paso libre de las posibles aguas hasta la pared del contenedor. Hay que determinar por tanto el tiempo de transformación, si la reacción es lo suficientemente lenta los residuos perderán su actividad antes de que se produzcan de forma apreciable y ya no será necesaria la presencia de barrera alguna.

Para temperaturas en torno de 100°C el paso de esmectitas a illitas sería de entre  $10^4$  –  $10^5$  años. Es decir se alcanzaría el millón de años lo que haría muy útil, ya que la radioactividad bajaría con el tiempo y para ese intervalo temporal habría bajado la intensidad hasta el punto de no ser peligrosa. También podría favorecerse el proceso de retardo utilizando esmectitas menos sensibles a las temperaturas y evitando que la roca de caja tenga  $K^+$  necesario en la reacción.

#### 4.3. Efecto térmico

Los residuos radioactivos generan energía calorífica, por tanto es importante estudiar dicho efecto térmico. El análogo anterior de Pisa nos permite conocer los efectos de un calentamiento extremo, que produce las siguientes modificaciones:

-Una modificación física, esta se manifiesta en una pérdida de plasticidad y en la formación de microfisuras, atribuidas a la presión de fluidos magmáticos generados en el plutón.

-La modificación química es debida a la migración de los elementos móviles del cuerpo magmático al cuerpo arcilloso.





ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

-La transformación mineral se manifiesta en la desestabilización del mineral de la arcilla inicial y la neoformación de esmectitas, feldespato potásico, y piroxenos.

-La capacidad de intercambio iónico, de esta arcilla neoformada se vería favorecida por su enriquecimiento en esmectitas.

La diferencia entre este análogo y el calor generado por los radionúclidos, es la ausencia de fluidos magmáticos de estos últimos y la enorme diferencia entre las temperaturas del vulcanismo, 800°C, y las que emiten los radionúclidos, 100°C.

Los estudios de laboratorio determinan que:

-Los valores de conductividad térmica en las direcciones perpendiculares al eje c son menores que en la dirección paralela a este.

-La conductividad térmica presenta una gran disminución en función del aumento del contenido en agua, a mayor contenido en agua menor conductividad.

-La conductividad tiende a aumentar cuando disminuye el porcentaje de arcillas y aumenta la cantidad de carbonatos cálcicos y magnetitas.

#### 4.4. Esmectitas españolas

En España existe uno de los yacimientos de bentonitas más potentes y con mayor contenido de esmectitas del mundo. Se encuentra en la zona de Cabo de Gata (Almería). La región tuvo una importante actividad volcánica hace 7 – 14 m.a. (Serravaliense – Tortoniense; Mioceno). Los materiales volcánicos emitidos fueron luego transformados por efecto de alteración hidrotermal. El tamaño de este yacimiento y su riqueza en esmectita proporcionarían suficiente material arcilloso de alta calidad para los almacenamientos.

Otros yacimientos importantes de origen sedimentario se encuentran en la cuenca Neógena de Madrid en la comarca de Sagra. Aunque son de menor volumen son únicas en el mundo por tratarse de esmectitas saponíticas. La saponita es una esmectita rica en Mg y tiene la particularidad de ser extraordinariamente estable frente a la alteración térmica, al no transformarse a illita debido a su composición química. Además no sufren ninguna modificación relevante en sus propiedades, al menos hasta temperaturas de 200°C.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA WEB

[http://www.cibernetia.com/tesis\\_es/CIENCIAS\\_TECNOLOGICAS/INGENIERIA\\_Y\\_TECNOLOGIA\\_DEL\\_MEDIO\\_AMBIENTE/ELIMINACION\\_DE\\_RESIDUOS\\_RADIOACTIVOS/1](http://www.cibernetia.com/tesis_es/CIENCIAS_TECNOLOGICAS/INGENIERIA_Y_TECNOLOGIA_DEL_MEDIO_AMBIENTE/ELIMINACION_DE_RESIDUOS_RADIOACTIVOS/1)

<http://www.elmundo.es/elmundo/2008/10/10/ciencia/1223656451.html>

<http://estudiosgeol.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeol/article/viewFile/344/348>





ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

[http://www.foronuclear.org/pdf/Gestion\\_combustible\\_gastado\\_centrales\\_nucleares.pdf](http://www.foronuclear.org/pdf/Gestion_combustible_gastado_centrales_nucleares.pdf)

[http://gmg.unizar.es/gmgweb/gmg/proyectos/analogos/anejo\\_analogos.htm](http://gmg.unizar.es/gmgweb/gmg/proyectos/analogos/anejo_analogos.htm)

<http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/debates-actualidad/historico/default.asp?idforo=GlobalIDI-27>

<http://ocw.usal.es/ciencias-experimentales/gestion-de-residuos-radiactivos/descargar-todo-el-curso/view>

<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm>

[http://www.ucm.es/info/estratig/JIG/vol321/3\\_villar.pdf](http://www.ucm.es/info/estratig/JIG/vol321/3_villar.pdf)

#### Autoría

---

- Francisco Javier Fimia García
- IES Virgen de la Cabeza, Marmolejo, Jaén
- E-MAIL: [fjimia@yahoo.es](mailto:fjimia@yahoo.es)