

REPO-15

CNEA-NT 48/85

MARCO CONCEPTUAL PARA EL DESARROLLO  
DE LOS MODELOS DE PREDICCIÓN DE LOS  
EFECTOS LOCALES DE UN REPOSITORIO DE  
RESIDUOS RADIATIVOS DE ALTA ACTIVIDAD

Palacios, E.; Ferreri, J.C.\*

REPUBLICA ARGENTINA  
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
Dependiente de la Presidencia de la Nación  
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD\*

REPO-15

CNEA-NT 48/85

MARCO CONCEPTUAL PARA EL DESARROLLO  
DE LOS MODELOS DE PREDICCIÓN DE LOS  
EFECTOS LOCALES DE UN REPOSITORIO DE  
RESIDUOS RADIACTIVOS DE ALTA ACTIVIDAD

Palacios, E.; Ferreri, J.C.\*

\* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

Este trabajo fue presentado en la "XII Reunión Científica y  
III° Encuentro Latinoamericano" organizados por la AATN en  
Buenos Aires, entre el 6 y el 10 de diciembre de 1984.

\* Casilla de Correo 40  
1802 AEROPUERTO DE EZEIZA, Argentina

Buenos Aires  
1985

INIS CLASSIFICATION AND KEYWORDS

E52.00

BIOSPHERE  
CONTAINERS  
CORROSION  
GRANITES  
HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTES  
RADIOLOGICAL IMPACT (\*)  
RADIONUCLIDE MIGRATION  
RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL  
REPOSITORIES (\*)  
ROCKS  
SAFETY ANALYSIS  
UNDERGROUND DISPOSAL

(\*) Not shown in INIS Thesaurus 1985.

MARCO CONCEPTUAL PARA EL DESARROLLO DE LOS  
MODELOS DE PREDICCIÓN DE LOS EFECTOS LOCALES DE UN REPOSITORIO  
DE RESIDUOS RADIOACTIVOS DE ALTA ACTIVIDAD

Elías Palacios y J.C. Ferreri  
Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad  
Comisión Nacional de Energía Atómica

## RESUMEN

El análisis de seguridad sobre el cual se basa la eliminación de residuos radioactivos en un medio rocoso presupone que en todos los casos habrá agua que corroerá los contenedores y que, finalmente, transportará los radionucleidos hacia la biósfera.

En este trabajo se presentan las bases conceptuales que permiten acotar las necesidades que deben cubrir los modelos de predicción de los efectos locales de un repositorio de residuos de alta actividad ubicado a unos 500 m de profundidad en un macizo granítico. Se identifican, además, los radionucleidos que más contribuyen al impacto radiológico.

## 1. INTRODUCCION

El programa nuclear argentino se basa en reactores del tipo de uranio natural y agua pesada, con reciclado de plutonio, y contempla la gestión de residuos de alta actividad cuyos problemas de almacenamiento serán significativos a partir del año 2000. Considera también que los aspectos tecnológicos relacionados con la eliminación de dichos residuos debería resolverse con suficiente anticipación, evitando de esa forma la transferencia del problema a generaciones futuras (1).

Los objetivos de la protección radiológica son asegurar un riesgo individual que no supere los riesgos de la vida diaria y reducir el impacto radiológico global tanto como sea razonable. El aseguramiento de un riesgo individual bajo se logra mediante barreras de ingeniería, mientras que la aislación geológica tiene por finalidad reducir dicho impacto global.

Las bases conceptuales para el diseño de un repositorio en la Argentina han sido explicitadas en la referencia (2) y la descripción de los estudios realizados para la selección de un sitio adecuado están en la referencia (3).

El impacto radiológico global es proporcional a la dosis colectiva (\*) resultante en el público y depende del tiempo que transcurre entre la eliminación de los residuos y su llegada a la biósfera.

Es posible establecer criterios macroscópicos para acotar las características esenciales que debe cumplir el medio geológico para resultar adecuado al objetivo de la protección radiológica, pero es evidente que sólo el empleo de modelos numéricos, con un grado variable de aproximación, puede brindar información razonablemente detallada de la evolución de los parámetros del sistema.

En lo que sigue se analizan los distintos parámetros que gobiernan la migración de los nucleidos durante la operación normal del repositorio y se discute su importancia relativa. Tomando como objetivo que el impacto radiológico no sea mayor que el de las demás etapas del ciclo de combustible, es posible acotar las necesidades que deben satisfacer los modelos numéricos a emplear. En un trabajo separado, Ferreri y Ventura (4) dan algunos detalles de las aproximaciones realizadas en relación a lo aquí considerado.

## 2. LA MIGRACION DE LOS RADIONUCLEIDOS Y LAS ESCALAS DEL SISTEMA

Los radionucleidos se incorporan al agua subterránea a partir de la lixiviación de la matriz vítrea. En la mayoría de los casos la migración de dichos radionucleidos se producirá con una velocidad menor que la del agua. Esto se debe a fenómenos de sorción entre la roca y los elementos disueltos.

El factor de retardo, definido como la relación entre la velocidad de migración de un nucleido y la velocidad del agua, es muy dependiente de los parámetros locales del sistema, en particular de las características físico-químicas de la roca y de la composición del agua subterránea. No obstante esto, es posible postular, con un criterio conservador, factores de retardo típicos para los productos de fisión y los actínidos en rocas graníticas, para así visualizar la importancia relativa de los mismos en el impacto radiológico resultante.

El tiempo que los residuos deben permanecer aislados del público y la carga térmica impuesta por el calor de decaimiento de los mismos determinan los requerimientos de conductividad hidráulica que debe satisfacer la roca y la escala temporal de las predicciones.

Un retardo mínimo de  $10^5$  años en la llegada de los actínidos a la biósfera es un objetivo de diseño para el repositorio y un retardo de  $10^6$  años implicaría un impacto radiológico despreciable frente al de las demás etapas del ciclo de combustible. En el lapso considerado, los radionucleidos más significativos dependiendo del tiempo de arribo a los cursos de agua son:  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{135}\text{Cs}$ ,  $^{129}\text{I}$  y  $^{99}\text{Tc}$ . Postulando un factor de retardo de 100 para los actínidos y el radio, de 10 para el cesio y de 1 para el tecnecio y el yodo, sería suficiente un tiempo de tránsito del agua en el medio rocoso comprendido entre  $10^3$  y  $10^4$  años para asegurar un impacto radiológico no mayor que el debido a la operación de reactores (20 Sv hombre/GWe a) o el debido a la extracción de Uranio (100 Sv hombre/GWe a) (1).

---

\* El término "dosis colectiva" es utilizado en este trabajo por "dosis equivalente efectiva colectiva comprometida" (5).

La tabla 1 presenta la dosis colectiva por  $\text{GW}_e$  a resultante para demoras de  $10^3$  y  $10^4$  años en la llegada del agua subterránea a la biosfera.

Radionucleido	Factor de retardo	Dosis colectiva comprometida Sv hombre/ $\text{GW}_e$ a	
		$10^3$ año	$10^4$ año
Tc-99	1	$7,5 \cdot 10^{-1}$	$7,2 \cdot 10^{-1}$
I-129	1	$1,2 \cdot 10^0$	$1,2 \cdot 10^0$
Cs-135	10	$1,9 \cdot 10^0$	$1,9 \cdot 10^0$
Ra-226	100	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^0$
U-234	100	$8,1 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-2}$
U-235	100	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$
U-236	100	$6,4 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-2}$
U-238	100	$6,4 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$
Np-237	100	$4,6 \cdot 10^0$	$3,5 \cdot 10^0$
Pu-239	100	$3,6 \cdot 10^1$	-
Pu-240	100	$1,3 \cdot 10^{-2}$	-
Pu-242	100	$1,1 \cdot 10^0$	$2,2 \cdot 10^{-1}$
Am-243	100	$1,4 \cdot 10^{-1}$	-
		$4,6 \cdot 10^1$	$8,8 \cdot 10^0$

Tabla 1 - Dosis colectiva comprometida para  $10^3$  año y  $10^4$  año en la llegada del agua a la biosfera.

Estudios recientes (6) muestran que es razonable esperar, en una masa granítica "sana", valores de la conductividad hidráulica,  $P$ , del orden de  $10^{-10}$  m/seg a unos 500 m de profundidad, llegando a  $10^{-7}$  m/seg a 50 m. Si se postulan  $P = 10^{-9}$  m/seg, una carga térmica equivalente a la que resultaría en promedio para el repositorio completo ( $5 \text{ W/m}^2$ ) y gradientes hidráulicos del orden de  $10^{-3}$ , se obtienen velocidades macroscópicas del orden de  $1 \times 10^{-1}$  m/s.

Si se considera que la porosidad efectiva del medio es la correspondiente a las características geométricas del medio rocoso, la velocidad del fluido en los intersticios (responsable del transporte de los nucleidos) sería del orden de  $10^{-7}$  m/s. En este caso el tiempo de confinamiento sería del orden de 30 a cada 100 m de roca. Es conocido que la migración de los nucleidos es notablemente afectada por la sorción del medio y que la porosidad efectiva a los nucleidos está en el orden de  $10^{-2}$ . Ello implica que el tiempo de confinamiento sería del orden de 3000 a cada 100 m de roca en promedio.

Como este análisis macroscópico no tiene en cuenta la difusividad ni la presencia de macrofracturas, parece razonable acotar la escala de longitud característica de confinamiento entre los 500 y los 1000 m.

La carga térmica de  $5W/m^2$  a 500 m de profundidad (referencias 2 y 3) implica que las dimensiones en planta del repositorio serán del orden de  $0,3 km^2$ . Por lo tanto, parece razonable especificar las escalas de integración espaciales en el macizo rocoso en el orden de los 2000 m en profundidad y en el de los  $2 km^2$  en planta. La escala temporal para la migración de los radionucleidos será, naturalmente, del orden de  $10^5$  a  $10^6$  años.

### 3. LAS BASES PARA EL DESARROLLO DE LOS MODELOS NUMERICOS

Lo visto hasta ahora caracteriza el sistema físicamente y es necesario, a partir de dicha caracterización, especificar los modelos a desarrollar.

Desde el punto de vista numérico los esquemas discretos a emplear deberán contemplar la multiplicidad de escalas físicas que emerge de considerar los diversos componentes del repositorio (contenedor, material de relleno, roca, etc.). Para ello es prudente desarrollar diferentes modelos que permitan la consideración de tópicos particulares de la evolución de los parámetros.

Para mantener acotado razonablemente el tiempo de cómputo, la conducción del calor en el macizo debe ser resuelta con un número moderado de nodos, con intervalos de tiempo del orden del año.

El incremento de temperatura debido al calor generado por el decaimiento de los radionucleidos origina fuerzas de flotación en el agua. Para predecir la circulación de la misma es necesario resolver simultáneamente las ecuaciones de conservación de masa y energía y de variación de la cantidad de movimiento. Una primera aproximación (7) consiste en desacoplar la ecuación de la energía de la de cantidad de movimiento y considerar que el medio rocoso es aproximable mediante un medio poroso equivalente. Bajo estas hipótesis, es relativamente simple formular un modelo multidimensional. Este deberá permitir la consideración de geometrías arbitrarias del dominio de integración, para incluir así macrofracturas como condiciones de borde. Es de importancia, además, generar una versión unidimensional para considerar el flujo en macrofracturas aisladas. La modelación del fenómeno en forma más cercana a la realidad debe permitir la incorporación de redes aleatorias de microfisuras en recintos bordeados por macrofracturas y hacia ello deberán tender los desarrollos futuros.

El modelado de la migración de los radionucleidos deberá seguir pautas idénticas y el modelo para la predicción de la evolución térmica del contenedor puede ser convencional, siempre que emplee condiciones de borde compatibles con la evolución global del sistema.

REFERENCIAS

- 1) Migliori de Beninson, A. y Cancio, D. "Impacto radiológico de la gestión de residuos radiactivos del plan nuclear argentino". Proceedings of an International Conference on radioactive waste management. Seattle, may 16-20, 1983. Proceedings Series. STI/PUB/649. vol. 1: 331-344.
- 2) Palacios, E. y otros. "Bases conceptuales para la construcción de un repositorio en la Argentina". Proceedings of an International Conference on Radioactive waste management. Seattle, may 16-20, 1983. Proceedings Series. STI/PUB/649. vol. 3: 179-190.
- 3) Palacios, E. y otros. "Analysis for the siting of a repository in Argentina". Seminar on the site investigation techniques and assessment methods for underground disposal of radioactive wastes. Sofia, Bulgaria, feb. 6-10, 1984. IAEA-SR-104/1.
- 4) Ferreri, J.C. y Ventura, M.A. "Aspectos numéricos del modelado de los efectos locales de un repositorio de residuos radioactivos de alta actividad". XII Reunión científica y III Encuentros Latinoamericanos. Organizados por la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear. Buenos Aires, 1985.
- 5) International Commission on Radiological Protection, Sutton (UK). "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Adopted January 17, 1977. ICRP Publication 26. Oxford, Pergamon Press, 1977. 53 p. Annals of the ICRP. vol 1: n° 3, 1977.
- 6) Carlsson, L.; Winberg, A. y Rosander, B. "Investigations of hydraulic properties in crystalline rock". Mat. Res. Soc. Symp. Proc. vol 26: 255-267, 1984.
- 7) Hodgkinson, D.P.; Lerer, D.A. y Rae, J. "Thermal aspects of radioactive waste burial in hard rock". Prog. Nucl. Energy vol. 11: 183-218, 1983, n° 2.



- REP01 - Beninson, D.; Migliori de Beninson, A.  
"Radiological impact of radioactive waste management"
- REP02 - Lucero Michaut, H.  
"Aplicación de la geoestadística a la resolución de problemas estructurales en macizos rocosos homogéneos"
- REP03 - Ventura, M.; Ferreri, J.C.  
"Evolución temporal de un macizo granítico bajo cargas térmicas generadas por productos de fisión"
- REP04 - Ventura, M.; Ferreri, J.C.  
"Evolución temporal de un macizo granítico bajo cargas térmicas generadas por productos de fisión (estudio paramétrico)"
- REP05 - Beninson, D.  
"Radioactive emissions and radiation exposures resulting from nuclear power production"
- REP06 - Beninson, D.; Lindell, B.  
"Application of ICRP recommendations to radioactive waste isolation"
- REP07 - Migliori de Beninson, A.; Cancio, D.  
"Impacto radiológico de la gestión de residuos radiactivos del Programa Nuclear Argentino"
- REP08 - Migliori de Beninson, A.; Palacios, E.  
"Política en materia de gestión de desechos y su aplicación en Argentina"
- REP09 - Palacios, E. y otros.  
"Bases conceptuales para la construcción de un repositorio en la Argentina"
- REP010- Palacios, E. y otros.  
"Estudios para la selección del emplazamiento de un repositorio en Argentina"
- REP011- Matar, J.A.; Girardi, J.P.; Sarquis, M.A. M. de  
"Aplicación de técnicas geoestadísticas al estudio de una formación granítica destinada a la construcción de un repositorio"
- REP012- Ferreri, J.C.; VENTURA, M.  
"Numerical aspects of the study of the regional thermal impact of a radioactive waste repository"
- REP013- Ferreri, J.C.; Caballero, C.H.  
"Difusión de calor a partir de una fuente plana rectangular finita"
- REP014- Beninson, D.; González, A.J.  
"Radiological protection criteria for radioactive waste repositories"
- REP015- Palacios, E.; Ferreri, J.C.  
"Marco conceptual para el desarrollo de los modelos de predicción de los efectos locales de un repositorio de residuos radiactivos de alta actividad"
- REP016- Ferreri, J.C.; Ventura, M.  
"Aspectos numéricos del modelado de los efectos locales de un repositorio de residuos radiactivos de alta actividad"
- REP017- Beninson, D.  
"Criterios de radioprotección en el caso de eventos disruptivos probabilísticos"
- REP018- Ferreri, J.C.; Grandi, G.  
"Models for the study of the local effects produced by a high-level radioactive waste repository"

**COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA**  
**Gerencia Protección Radiológica y Seguridad**

	Domicilio Postal Postal Address	Télex	Facsimil	Teléfono
Sede Central (Main Headquarters)	Av Libertador 8250 1429 - Buenos Aires Argentina	21388 PREAT AR	701 - 2431 (int. 248) text	701 - 2431
Centro Atómico Ezeiza Ezeiza Atomic Center	Casilla de Correo 40 1802 - Aeropuerto Ezeiza Argentina	18079 CAE AR	620 - 0480	620 - 0160