

GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA
Y SEGURIDAD

REPO-33

CNEA-NT 29/87

PREDICCIÓN DE LA MIGRACION
DE RADIONUCLEIDOS
EN UN MEDIO ROCOSO

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1987

PARTE II

CASO BIDIMENSIONAL

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

REPO-33

CNEA-NT 29/87

PREDICCION DE LA MIGRACION
DE RADIONUCLEIDOS
EN UN MEDIO ROCOSO

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1987

PARTE II

CASO BIDIMENSIONAL

Ventura*, Mirta

* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET,
Argentina.

BUENOS AIRES
1987

INIS CLASSIFICATION AND KEYWORDS

E52.00

CONTAINERS

GRANITES

GROUND WATER

HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTES

RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL

RADIONUCLIDE MIGRATION

REPOSITORIES (*)

ROCKS

UNDERGROUND DISPOSAL

(*) Not shown in INIS Thesaurus 1985.

PREDICCIÓN DE LA MIGRACIÓN DE RADIONUCLEÍDOS EN UN MEDIO ROCOSO

PARTE II - CASO BIDIMENSIONAL

por Mirta VENTURA

RESUMEN

Se hace una extensión a la forma bidimensional del modelo para la predicción de la migración de radionucleidos en un medio rocoso desarrollado en Parte I /1/.

Se resuelven las ecuaciones diferenciales que representan el problema físico, mediante el método explícito de cálculo.

Se aplica dicho modelo a ejemplos de la bibliografía, realizándose un estudio de verificación del método.

ABSTRACT

An extension to a bidimensional form, from the model for the prediction of the migration of radionuclides in a granitic rock developed in Part I /1/, was made.

The differential equations which represent the physical problem are resolved by the explicit method of calculus.

This model is applied to examples of the bibliography, and a verification study of the method was made.

1. INTRODUCCION

El modelo desarrollado representa un repositorio de residuos radiactivos instalado en un macizo granítico.

Después de un cierto período de tiempo se supone que los radionucleidos emergen del contenedor a una velocidad constante y son transportados como especies discretas en el agua.

Los casos que se resuelven son una extensión de los casos resueltos en /1/ en donde se han considerado las mismas series de parámetros, pero con difusión lateral en un caso y con campo de velocidades no paralelas en otra.

Como en /1/, los ejemplos verificados corresponden a ejemplos extraídos del experimento INTRACOIN /2/.

En lo que sigue, pasamos a describir las ecuaciones que describen el problema físico, el método utilizado para su resolución y la utilización del mismo en ejemplos de verificación.

2. ECUACIONES DE TRANSPORTE

El sistema de ecuaciones diferenciales que describe la migración de los n radionucleídos de una cadena de decaimiento en forma bidimensional es:

$$\begin{aligned}\frac{\partial A_1}{\partial t} &= \frac{D_1}{R_1} \frac{\partial^2 A_1}{\partial x^2} + \frac{D_2}{R_1} \frac{\partial^2 A_1}{\partial y^2} - \frac{V_1}{R_1} \frac{\partial A_1}{\partial x} - \frac{V_2}{R_1} \frac{\partial A_1}{\partial y} - \lambda_1 A_1 \\ \frac{\partial A_2}{\partial t} &= \frac{D_1}{R_2} \frac{\partial^2 A_2}{\partial x^2} + \frac{D_2}{R_2} \frac{\partial^2 A_2}{\partial y^2} - \frac{V_1}{R_2} \frac{\partial A_2}{\partial x} - \frac{V_2}{R_2} \frac{\partial A_2}{\partial y} - \lambda_2 A_2 + \frac{R_1}{R_2} \lambda_2 A_1 \\ &\vdots \\ \frac{\partial A_n}{\partial t} &= \frac{D_1}{R_n} \frac{\partial^2 A_n}{\partial x^2} + \frac{D_2}{R_n} \frac{\partial^2 A_n}{\partial y^2} - \frac{V_1}{R_n} \frac{\partial A_n}{\partial x} - \frac{V_2}{R_n} \frac{\partial A_n}{\partial y} - \lambda_n A_n + \frac{R_{n-1}}{R_n} \lambda_n A_{n-1}\end{aligned}\quad (1)$$

En donde:

A = actividad (1/año)
D₁ = coeficiente de difusión en la dirección x (m²/a)
D₂ = coeficiente de difusión en la dirección y (m²/a)
V₁ = velocidad hidráulica en la dirección x (m/a)
V₂ = velocidad hidráulica en la dirección y (m/a)
R_n = factor de retención del enésimo nucleído.

Las condiciones de borde a la izquierda son las ecuaciones de Bateman, que para el caso de 3 nucleídos es

$$A_1(0,t) = A_1^0 e^{-\lambda_1 t}$$

$$A_2(0,t) = A_1^0 \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + A_2^0 e^{-\lambda_2 t}$$

$$A_3(0,t) = A_1^0 \lambda_2 \lambda_3 \left(\frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \right) + \frac{C_2^0 \lambda_3}{\lambda_3 - \lambda_2} (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_3 t}) + C_3^0 e^{-\lambda_3 t} \quad (2)$$

A la derecha la condición de borde es actividad nula en infinito.

3. METODO NUMERICO UTILIZADO

Dado que en /1/, se pudo comprobar que con los distintos métodos utilizados los resultados obtenidos eran coincidentes, se usó en este caso, por razones de simplicidad el método explícito.

La forma general de esta formulación es:

$$A_m^{n+1} = \exp(\Delta t L) A_m^n \quad (3)$$

El operador L, es en nuestro caso

$$L = \frac{D_1}{R} \frac{\delta x^2}{\Delta x^2} + \frac{D_2}{R} \frac{\delta y^2}{\Delta y^2} - \frac{v_1}{2R} \frac{\delta x^2}{\Delta x} - \frac{v_2}{2R} \frac{\delta y^2}{\Delta y} - \frac{R_{i-1}}{R_i} \lambda_i - \lambda_i \quad (4)$$

en donde i se refiere al lugar que le corresponde al nucleído en la cadena de decaimiento.

δx y δx^2 son los operadores en diferencias de primer y segundo orden respectivamente en la dirección x. δy y δy^2 son los operadores en diferencias de primer y segundo orden en la dirección y, y tienen la siguiente expresión cuando tratamos grillas variables /3/.

$$\delta x^2 = \frac{2}{h_2 (h_1 + h_2)} A_{m+1} - \frac{2 A_m}{h_1 h_2} + \frac{2}{h_1 (h_1 + h_2)} A_{m-1} \quad (5)$$

$$\delta x = - A_{m-1} \frac{h_2}{h_1 (h_1 + h_2)} - \frac{A_m (h_1 - h_2)}{h_1 h_2} + A_{m+1} \frac{h_1}{h_1 (h_1 + h_2)} \quad (6)$$

$$\delta y^2 = \frac{2}{G_2 (G_1 + G_2)} A_{p+1} - \frac{2 A_p}{G_1 G_2} + \frac{2}{G_1 (G_1 + G_2)} A_{p-1} \quad (7)$$

$$\delta y = - A_{p-1} \frac{G_2}{G_1 (G_1 + G_2)} - \frac{A_p (G_1 - G_2)}{G_1 G_2} + A_{p+1} \frac{G_1}{G_1 (G_1 + G_2)} \quad (8)$$

siendo h_1 y h_2 los espaciados de la grilla de dos intervalos espaciales consecutivos en la dirección x y G_1 , G_2 en la dirección y .

Aplicando (5) y (6) en (4), luego en (3) y desarrollando obtenemos:

$$\begin{aligned} A_{m,p}^n = & A_{m,p}^{n+1} - DTU1 (-MA \cdot A_{m-1,p}^{n+1} + ME \cdot A_{m+1,p}^{n+1} - M \cdot A_{m,p}^{n+1}) - \\ & - DTU2 (-MAB \cdot A_{m,p-1}^{n+1} + MEB \cdot A_{m,p+1}^{n+1} + MB \cdot A_{m,p}^{n+1}) + \\ & + DTD1 (DA \cdot A_{m+1,p}^{n+1} - D \cdot A_{m,p}^{n+1} + DE \cdot A_{m-1,p}^{n+1}) + \\ & + DTD2 (DAB \cdot A_{m,p+1}^{n+1} - MDB \cdot A_{m,p}^{n+1} + DEB \cdot A_{m,p-1}^{n+1}) - \\ & - DT \cdot \lambda_i \cdot A_{m,p}^{n+1} + DT \cdot \lambda_i \frac{R_{i-1}}{R_i} \cdot A_{m,p}^{n+1} \end{aligned} \quad (9)$$

en donde

$$DTU1 = DT \cdot U1/R \quad (10)$$

$$DTU2 = DT \cdot U2/R \quad (11)$$

$$DTD1 = DT \cdot D1/R \quad (12)$$

$$DTD2 = DT \cdot D2/R \quad (13)$$

$$MA = \frac{h_k}{h_{k-1} (h_k + h_{k-1})} \quad (14)$$

$$ME = \frac{h_{k-1} - h_k}{h_{k-1} \cdot h_k} \quad (15)$$

$$M = \frac{h_{k-1} - h_k}{h_{k-1} \cdot h_k} \quad (16)$$

$$MAB = \frac{G_j}{G_{j-1} (G_j + G_{j-1})} \quad (17)$$

$$MB = \frac{G_{j-1} - G_j}{G_{j-1} \cdot G_j} \quad (18)$$

$$MEB = \frac{G_{j-1}}{G_j \cdot (G_{j-1} + G_j)} \quad (19)$$

$$DA = \frac{2}{h_k (h_{k-1} + h_k)} \quad (20)$$

$$D = \frac{2}{h_{k-1} \cdot h_k} \quad (21)$$

$$DE = \frac{2}{h_{k-1} (h_{k-1} + h_k)} \quad (22)$$

$$DAB = \frac{2}{G_j (G_{j-1} + G_j)} \quad (23)$$

$$DB = \frac{2}{G_{j-1} \cdot G_j} \quad (24)$$

$$DEB = \frac{2}{G_j (G_{j-1} + G_j)} \quad (25)$$

4. EJEMPLOS DE VERIFICACION.

Para verificar el comportamiento del modelo bidimensional desarrollado se lo utilizó en casos descriptos en la bibliografía.

4.1. PRIMER EJEMPLO

Corresponde al caso 4A del INTRACOIN /2/.

En este ejemplo se describe la migración desde una fuente plana infinita de 10 m de alto en un campo de velocidad paralelo de 1 m/a.

La longitud de migración es 500 m. Se considera difusión lateral $D1 = 50 \text{ m}^2/\text{seg}$ y difusión transversal $D2 = 5 \text{ m}^2/\text{seg}$.

Se ha considerado una grilla que tiene 21 puntos según el eje x, con $\Delta x = 50\text{m}$ y 15 puntos según el eje y, con Δy variable.

El incremento temporal es $\Delta t = 5 \text{ a.}$

El tiempo de lixiviación es de 100.000 a.

Las condiciones de borde son las de Bateman a la izquierda, o sea las ecuaciones (2) y actividad nula en infinito, a la derecha.

Esta condición se logró considerando una grilla que llega a 1000m. Este punto está lo suficientemente lejos como para que la condición impuesta no tenga influencia sobre los valores obtenidos al final del camino de integración o sea a 500m.

4.1.1. En este caso la cadena considerada es de 3 radionucleidos de larga vida: U^{234} , Th^{230} y Ra^{226} , con las siguientes propiedades:

Núcleo	R	t1/2 (años)	Inventario (unidades de actividad)
U^{234}	60	$2,445 \times 10^5$	1,000
Th^{230}	500	$7,7 \times 10^4$	0,014
Ra^{226}	20	$1,6 \times 10^3$	0,004

En la figura 1, están representadas la actividad obtenida a la salida del camino de integración, $L = 500$ m, para los 3 nucleidos de la cadena.

Las figuras 2, 3 y 4, se compara el flujo obtenido con el modelo, con el obtenido en el experimento INTRACOIN /2/.

El flujo lo definimos como:

$$Fl = V_1 \cdot A - D_1 \cdot \frac{\partial A}{\partial X} \quad (26)$$

Las figuras 5, 6 y 7, representan la actividad a lo largo del eje y en el tiempo en donde se produce la máxima actividad. Para el U^{234} esta se produce a los 60.000 años, para el Th^{230} a los 140.000 años, y para el Ra^{226} a los 120.000 años.

En la tabla 1, pueden observarse los valores de máxima actividad alcanzadas por cada radionucleído y el tiempo en que fueron alcanzados.

TABLA 1

	NUCLEIDO 1 (U^{234})		NUCLEIDO 2 (Th^{230})		NUCLEIDO 3 (Ra^{226})	
	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)
Promedio de 6 programas en el experimento INTRACOIN/2/	4.591×10^{-6} *	60.000	3.540×10^{-7} *	130.000	2.130×10^{-5} *	120.000
Modelo	2.913×10^{-6}	60.000	2.390×10^{-7}	140.000	2.530×10^{-5}	120.000

4.1.2. En este caso, la cadena radiactiva que se resuelve es de corta vida media: Cm^{245} , Np^{237} y U^{233} , con las siguientes propiedades:

Núcleo	R	t1/2 (años)	Inventario (unidades de actividad)
Cm^{245}	60	$8,500 \times 10^3$	0,700
Np^{237}	200	$2,140 \times 10^6$	1,000
U^{233}	60	$1,592 \times 10^5$	0,004

Los resultados pueden verse en las figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

La máxima actividad alcanzada y el tiempo en que se produce puede observarse en la Tabla 2.

TABLA 2

	NUCLEIDO 1 (Cm^{245})		NUCLEIDO 2 (Np^{237})		NUCLEIDO 3 (U^{233})	
	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)
Promedios de 6 programas en el experimento INTRACOIN/2/	* 1.910×10^{-7}	20.000	* 4.310×10^{-6}	130.000	* 3.277×10^{-6}	110.000
Modelo	1.536×10^{-7}	20.000	2.835×10^{-6}	130.000	1.989×10^{-6}	110.000

* Debe destacarse, que los promedios corresponden simplemente, al promedio aritmético lo que hace que no siempre sea significativo. Para una mejor evaluación, observar los gráficos correspondientes.

4.2. Segundo ejemplo

En este ejemplo se considera un campo de velocidades no paralelas. Los demás parámetros son los mismos que en el ejemplo anterior.

El campo de flujo, puede visualizarse como aquel formado entre una fuente de caudal q y un sumidero de idéntico caudal $-q$.

El potencial correspondiente a dicho campo es

$$\phi = \frac{q}{4\pi} \ln \frac{(x - x_1)^2 + y^2}{(x + x_1)^2 + y^2} \quad (27)$$

del cual se derivan una velocidad según la dirección x y otra según y (u y w respectivamente). Es decir:

$$u = - \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (28)$$

$$u = \frac{-q}{2\pi\epsilon} \left(\frac{x - x_1}{(x - x_1)^2 + y^2} - \frac{x + x_1}{(x + x_1)^2 + y^2} \right) \quad (29)$$

$$w = - \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (30)$$

$$w = \frac{-q \cdot y}{2\pi\epsilon} \left(\frac{1}{(x - x_1)^2 + y^2} - \frac{1}{(x + x_1)^2 + y^2} \right) \quad (31)$$

El caso describe el transporte de material radiactivo disuelto desde una fuente radioactiva situada a 10 m de la fuente de caudal hasta $x = 0,0$ o sea que x_1 fue tomado en 510 m. Además $\epsilon = 0.01$ y $q = 10.89 \text{ m}^3/\text{m}$.

del cual se derivan una velocidad según la dirección x y otra según y (u y w respectivamente). Es decir:

$$u = \frac{-q}{2\pi\epsilon} \left(\frac{x - x_1}{(x - x_1)^2 + y^2} - \frac{x + x_1}{(x + x_1)^2 + y^2} \right) \quad (29)$$

$$w = - \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (30)$$

$$w = \frac{-q \cdot y}{2\pi\epsilon} \left(\frac{1}{(x - x_1)^2 + y^2} - \frac{1}{(x + x_1)^2 + y^2} \right) \quad (31)$$

El caso describe el transporte de material radiactivo disuelto desde una fuente radioactiva situada a 10 m de la fuente de caudal hasta $x = 0,0$ o sea que x_1 fue tomado en 510 m. Además $\epsilon = 0.01$ y $q = 10.89 \text{ m}^3/\text{m}$.

4.2.1. La cadena radioactiva de 3 radionucleidos de larga vida aquí considerada es: U^{234} , Th^{230} , Ra^{226} con las siguientes propiedades

Núcleo	R	$t_{1/2}$ (años)	Inventario (unidades de actividad)
U^{234}	60	$2,445 \times 10^5$	1,000
Th^{230}	500	$7,7 \times 10^4$	0,014
Ra^{226}	20	$1,6 \times 10^3$	0,004

En las figuras 15, 16, 17y 18 pueden observarse los valores obtenidos.

La máxima actividad alcanzada junto al tiempo en que esta se produce, puede verse en la tabla 3.

TABLA 3

	NUCLEIDO 1 (U^{234})		NUCLEIDO 2 (Th^{230})		NUCLEIDO 3 (Ra^{226})	
	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)
Programa SWENT de INTRACON/2/	1.49×10^{-6}	105.000	1.24×10^{-7}	167.000	4.16×10^{-6}	145.000
Programa SWIFT de INTRACON/2/	8.01×10^{-7}	108.000	6.79×10^{-8}	152.000	2.18×10^{-6}	143.000
Modelo	2.01×10^{-6}	110.000	1.50×10^{-7}	160.000	4.19×10^{-6}	150.000

4.2.2. En este caso la cadena considerada es: Cm^{245} , Np^{237} y U^{233} con las siguientes propiedades

Núcleo	R	t _{1/2} (años)	Inventario (unidades de actividad)
Cm^{245}	60	$8,500 \times 10^3$	0,700
Np^{237}	200	$2,140 \times 10^6$	1,000
U^{233}	60	$1,592 \times 10^5$	0,004

Los resultados obtenidos pueden verse en las figuras 19, 20, 21 y 22.

La máxima actividad alcanzada y el tiempo en que se produce puede observarse en la tabla 4.

TABLA 4

	NUCLEIDO 1 (Cm^{245})		NUCLEIDO 2 (Np^{237})		NUCLEIDO 3 (U^{233})	
	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)	Máx. activ. (Unidades de activ.)	T máx. activ. (años)
Programa SWIFT de INTRACON/2/	3.55×10^{-8}	30.000	7.09×10^{-7}	167.000	2.86×10^{-6}	123.000
Modelo	3.04×10^{-8}	20.000	9.98×10^{-7}	150.000	1.32×10^{-6}	130.000

5. ESTUDIO DE SENSIBILIDAD

Se realizó un estudio de sensibilidad de los valores de concentración obtenidos, en relación a la grilla utilizada.

Con este fin, resolvimos el caso (4.1.1) para el primer nucleído, con distintas grillas.

A modo de ejemplo, mencionamos algunos de las posibilidades, que consideramos adecuadas al problema. Resolvimos el problema con una grilla con cuatro incrementos según y, de 2,5 m cada uno, en la parte que simula la fuente que como sabemos era de 10 m. Correspondientemente los incrementos según x, se tomaron también de 2,5 m para los primeros puntos cercanos a la fuente. En estas condiciones, la máxima concentración obtenida se produjo a los 50.000 años, y el valor alcanzado de $4.60^4 \times 10^{-7}$ (1/año).

Si en cambio, el problema se resuelve con una grilla que tiene dos incrementos de 5 m cada uno, para representar la fuente de 10 m y correspondientemente los mismos incrementos para los primeros puntos en el eje y cercanos a la fuente, el máximo valor alcanzado por la concentración es a los 50.000 años y de 7.081×10^{-7} (1/año).

La grilla que utilizamos, que supuestamente es la utilizada en los ejemplos de INTRACOIN/2/ (ya que con ella, obtenemos resultados comparables), tiene dos incrementos de 5 m en el lugar en donde simulamos la fuente y los incrementos según x, son de 50 m. El valor obtenido para la máxima concentración en estas condiciones es de 2.913×10^{-6} y también es alcanzada a los 50.000 años.

Como se ve, el problema así discretizado es altamente sensible a la variación de la grilla y por ende no consideramos que ésta sea la grilla adecuada. La hemos utilizado para poder hacer este estudio, que es solamente comparativo y no de validación.

6. DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos en el ejemplo 4-1 y su intercomparación con los programas que resuelven este ejemplo en INTRACOIN, podemos decir que la extensión bidimensional del modelo desarrollado en /1/, funciona satisfactoriamente.

En cuanto al ejemplo 4-2, no podemos hacer un estudio comparativo ya que este problema es resuelto en INTRACOIN por dos programas en el primer caso y solamente por uno en el segundo. De todas maneras mostramos los resultados.

Los programas desarrollados permiten resolver problemas asociados a cadenas de larga y de corta vida media, como puede verse de los ejemplos mostrados. También admiten mayor cantidad de nucleídos en las cadenas radioactivas, estando este número sólo limitado, por la capacidad de la computadora que se use.

El número de nodos en la grilla de cálculo puede ser incrementado y además ésta puede ser constante o variable.

Contamos en consecuencia, con una herramienta para predecir la actividad resultante, a lo largo del camino que recorren los nucleídos correspondientes a los residuos radioactivos que pueden ser incorporados al agua subterránea a partir de la lixiviación de la matriz vítrea. Se establece también la máxima actividad alcanzada por cada uno de los radionucleidos y el tiempo en que ésta se produce.

Estos son datos básicos para el diseño del repositorio ya que el retardo mínimo de 10^4 años en la llegada de los actínidos a la biósfera se lo

considera una exigencia, así como un retardo de 10^6 años implicaría un impacto radiológico despreciable frente al de las demás etapas del ciclo de combustible.

REFERENCIAS

- (1) Ventura, M. "Predicción de la migración de radionucleídos en un medio rocoso. Parte I". Buenos Aires, CNEA, 1986. REPO-32. 22 p. y figs.
- (2) Statens Kärnkraftinspektion. "INTRACOIN : International Nuclide Transport Code Intercomparison Study. Final report level 1. Code verification". Stockholm, Statens Kärnkraftinspektion (Swedish Nuclear Power Inspectorate), 1984. SKI-84:3.
- (3) Pastor, J.; Calleja, P. y Trejo, C. "Análisis matemático. Volumen III. Análisis funcional y aplicaciones". Buenos Aires, Editorial Kapeluz, 3ra. edic., 1965. 718 p.

Figura 1 - Ejemplos 1. Caso 1
315 nodos. $\Delta t = 5$ años. $L = 500$ m
1 = actividad U^{234}
2 = actividad Th^{230}
3 = actividad Ra^{226}

Figura 2 - Nucleido 1 (U^{234})
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 3 - Nucleido 2 (Th^{230})
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 4 - Nucleido 3 (Ra^{226})
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 5 - Nucleido 1 (U^{234})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 6 - Nucleido 2 (Th^{230})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 7 - Nucleido 3 (Ra^{230})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 8 - Ejemplos 1. Caso 2
315 nodos. $\Delta t = 5$ años. $L = 500$ m
1 = actividad Cm^{245}
2 = actividad Np^{237}
3 = actividad U^{233}

- Figura 9 - Nucleido 1 (Cm^{245})
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos
- Figura 10 - Nucleido 2 (Np^{237})
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos
- Figura 11 - Nucleido 3 (U^{233})
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos
- Figura 12 - Nucleido 1 (Cm^{245})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos
- Figura 13 - Nucleido 2 (Np^{237})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos
- Figura 14 - Nucleido 3 (U^{233})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos
- Figura 15 - Ejemplos 2. Caso 1.
315 nodos. $\Delta t = 5$ años. $L = 500$ m
1 : actividad U^{234}
2 : actividad Th^{230}
3 : actividad Ra^{226}
- Figura 16 - Nucleido 1 (U^{234})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 17 - Nucleido 2 (Th^{230})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 18 - Nucleido 3 (Ra^{226})
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 19 - Ejemplo 2. Caso 2
315 nodos. $\Delta t = 53$ años. $L = 500$ m
1 = actividad U^{233}
2 = actividad Np^{237}
3 = actividad Cm^{245}

Figura 20 - Nucleido 1 (Cm^{245})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 21 - Nucleido 2 (Np^{237})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

Figura 22 - Nucleido 3 (U^{233})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos.

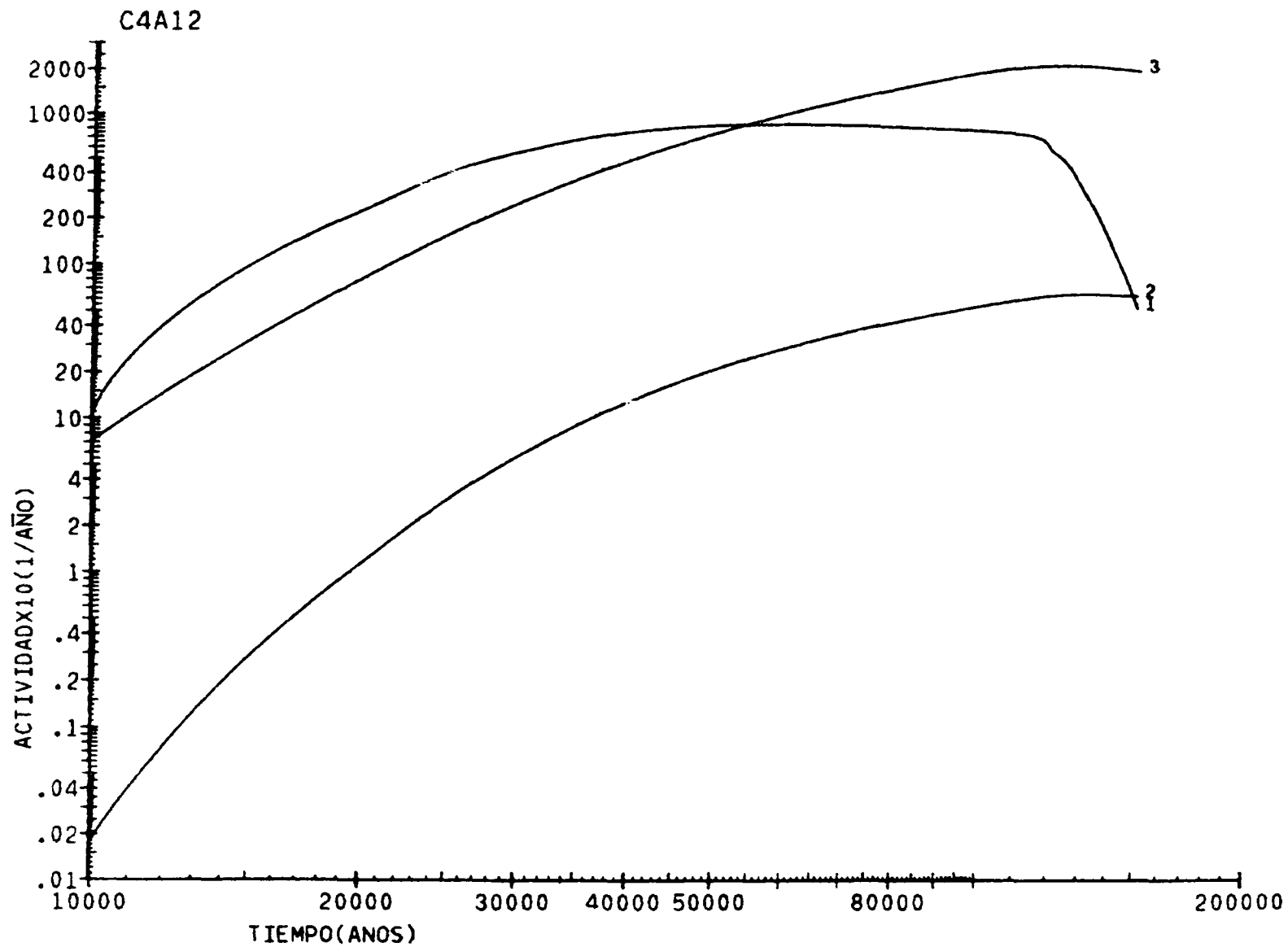


Figura 1 - Ejemplo 1. Caso 1.
 315 nodos. $\Delta t = 5$ años. $L = 500$ m
 1 = actividad U^{234}
 2 = actividad Th^{230}
 3 = actividad Pa^{226}

NUCLIDE 1

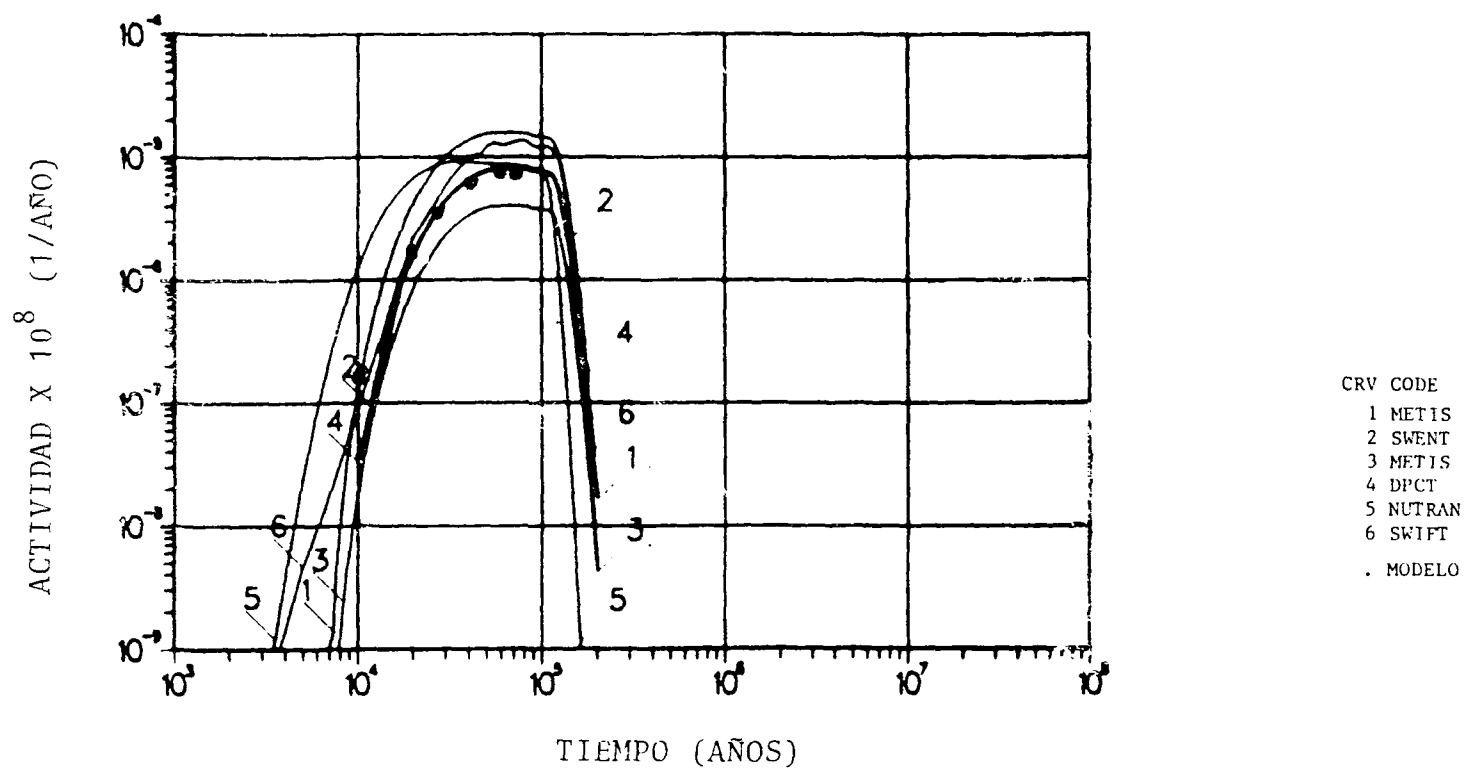


Figura 2 - Nucléido 1 (U^{234})
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACON /2/
 315 nodos

NUCLIDE 2

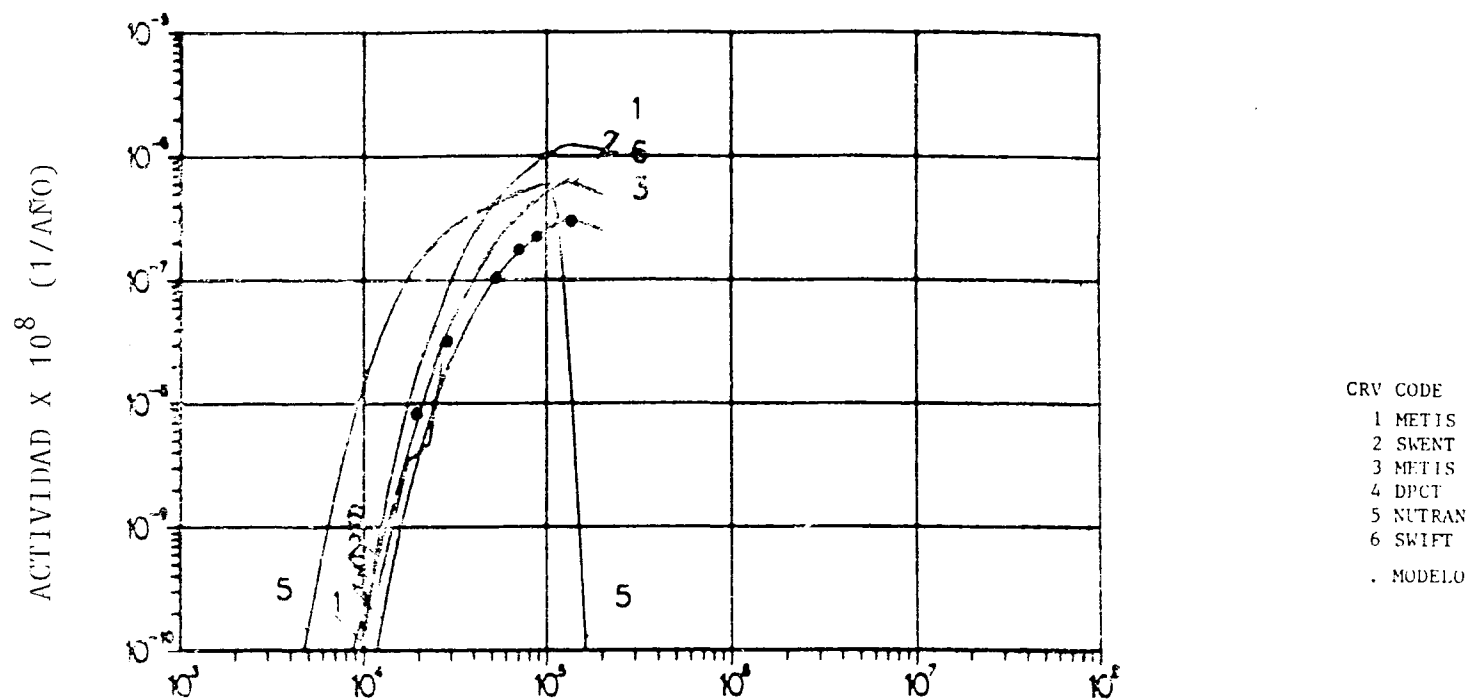


Figura 3 - Nucleido 2 (Th^{230})
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACOIN /2/
 315 nodos

NUCLIDE 3

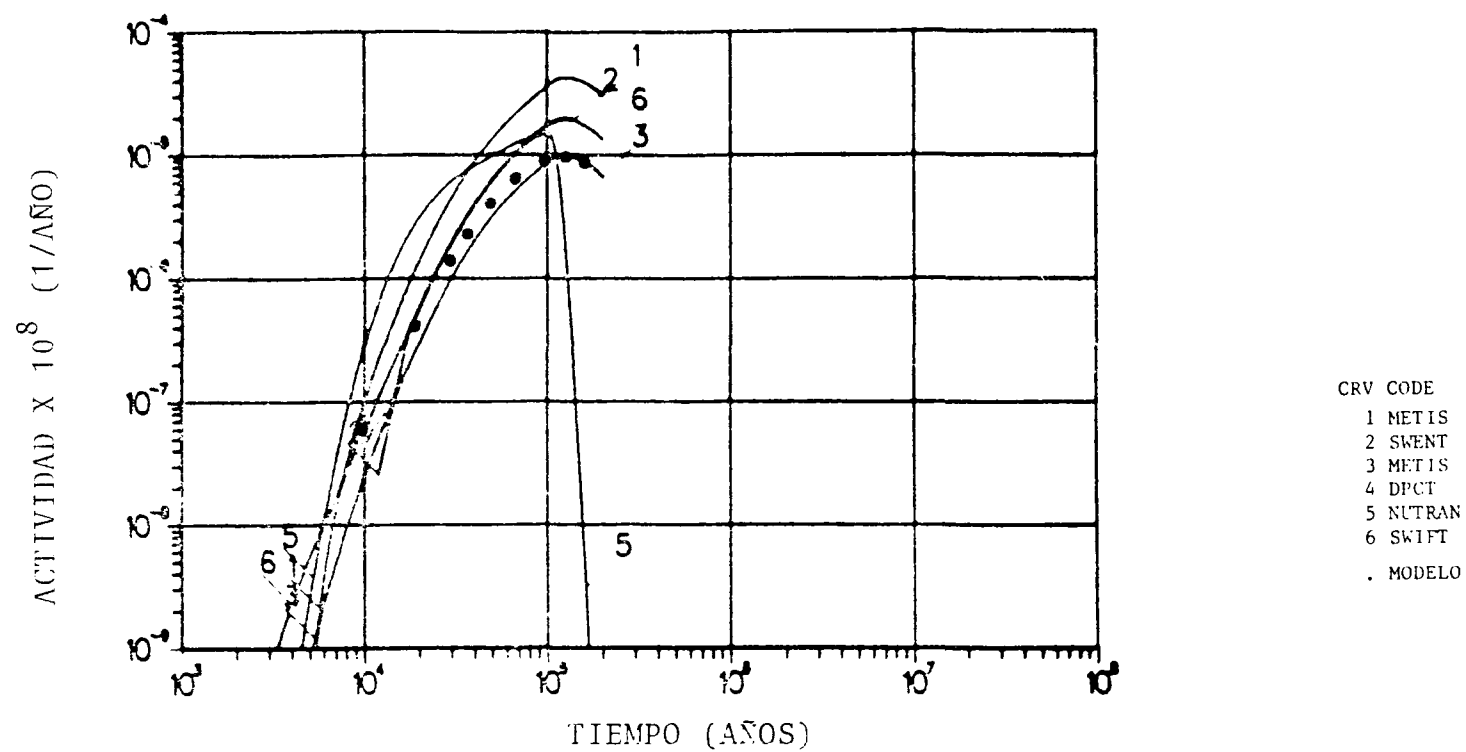


Figura 4 - Nucleido 3 (Ra^{226})
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

NUCLIDE 1

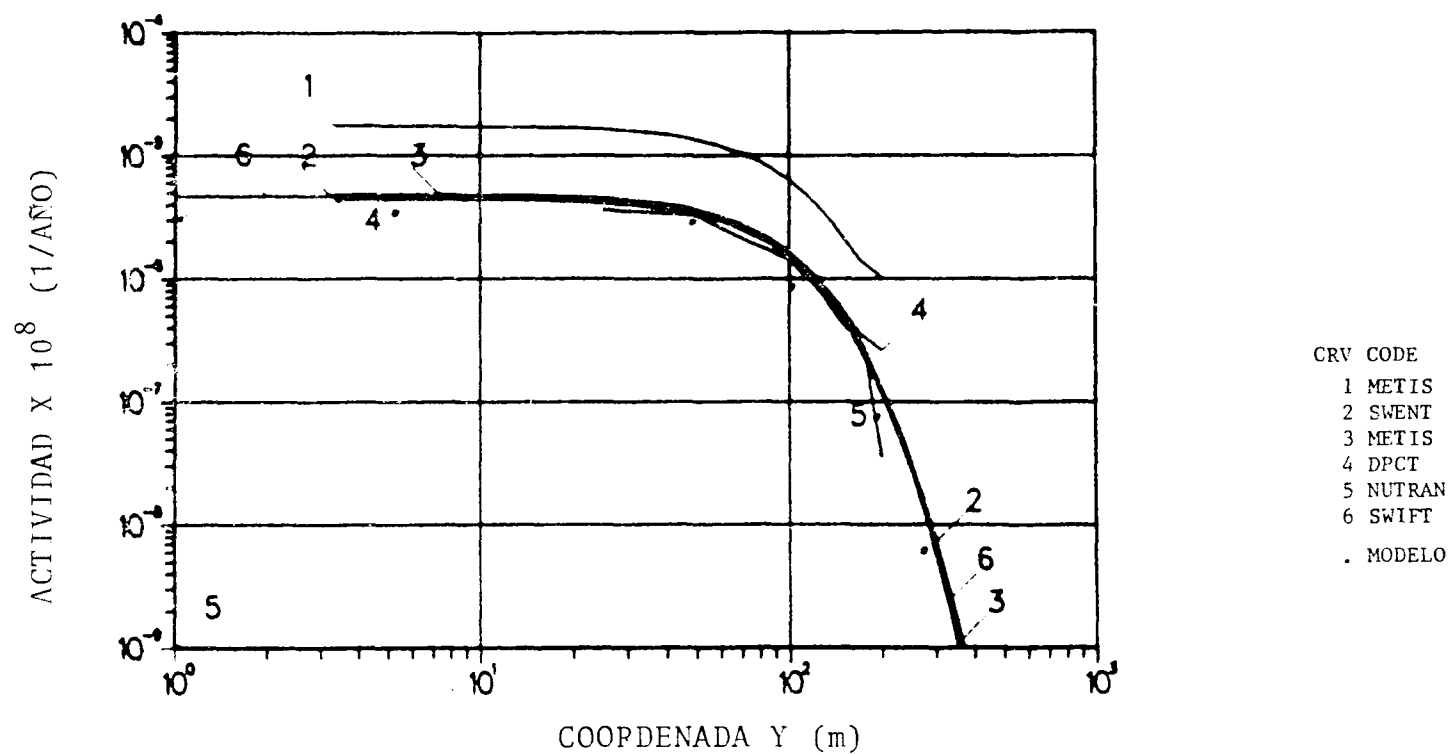


Figura 5 - Nucleido 1 (U^{234})
 Actividad a lo largo del eje Y.
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACON /2/
 315 nodos

NUCLIDE 2

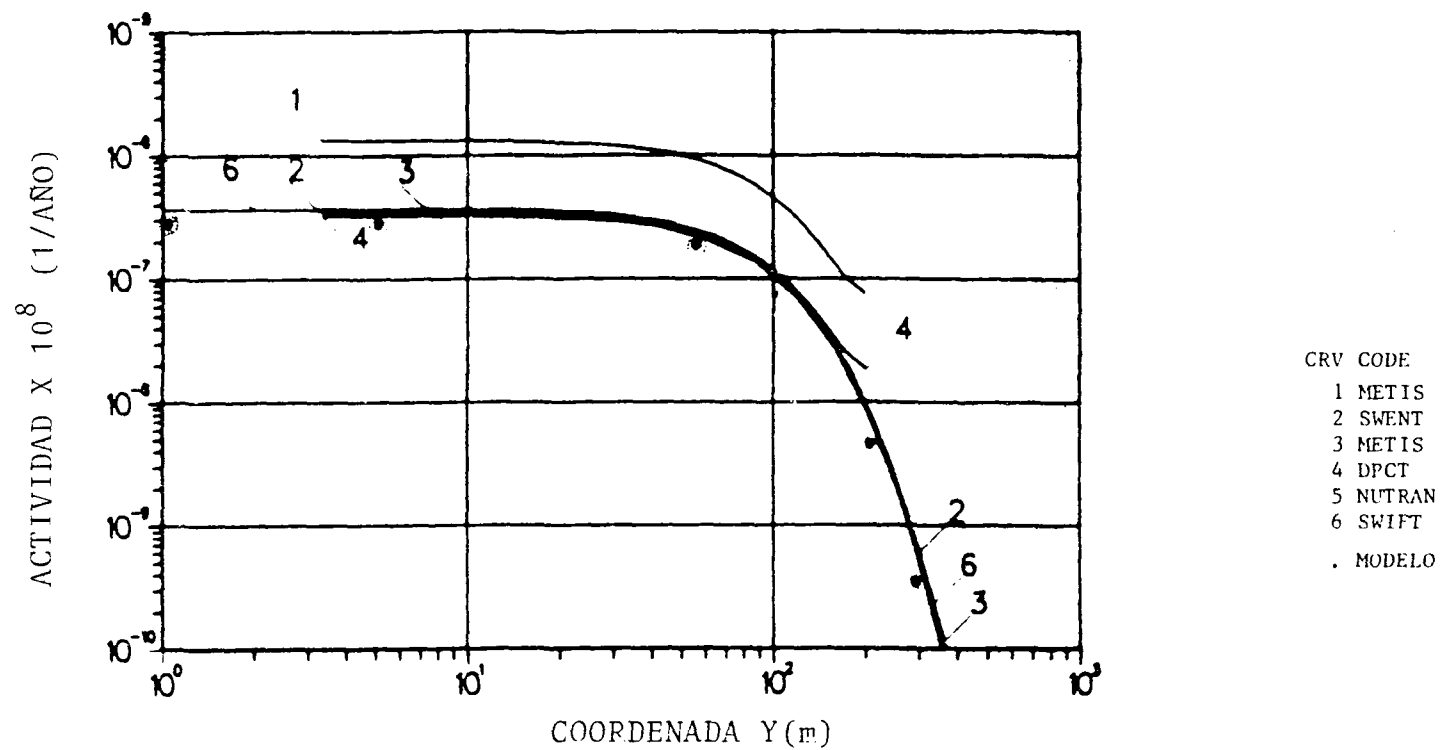


Figura 6 - Nucleido 2 (Th^{230})
 Actividad a lo largo del eje Y.
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACON /2/
 315 nodos

NUCLIDE 3

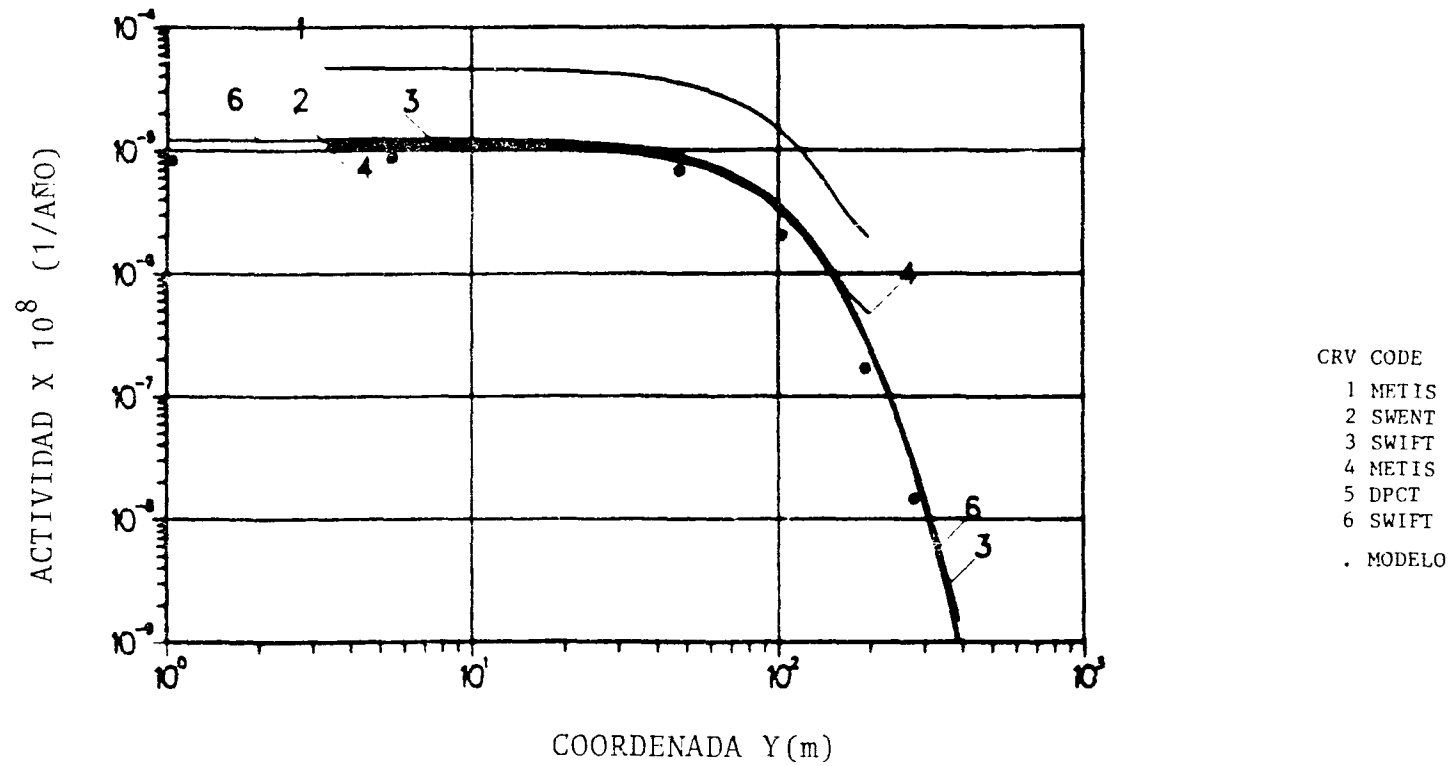


Figura 7 - Nucleido 3 (Ra^{230})
 Actividad a lo largo del eje Y.
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACOIN /2/
 315 nodos

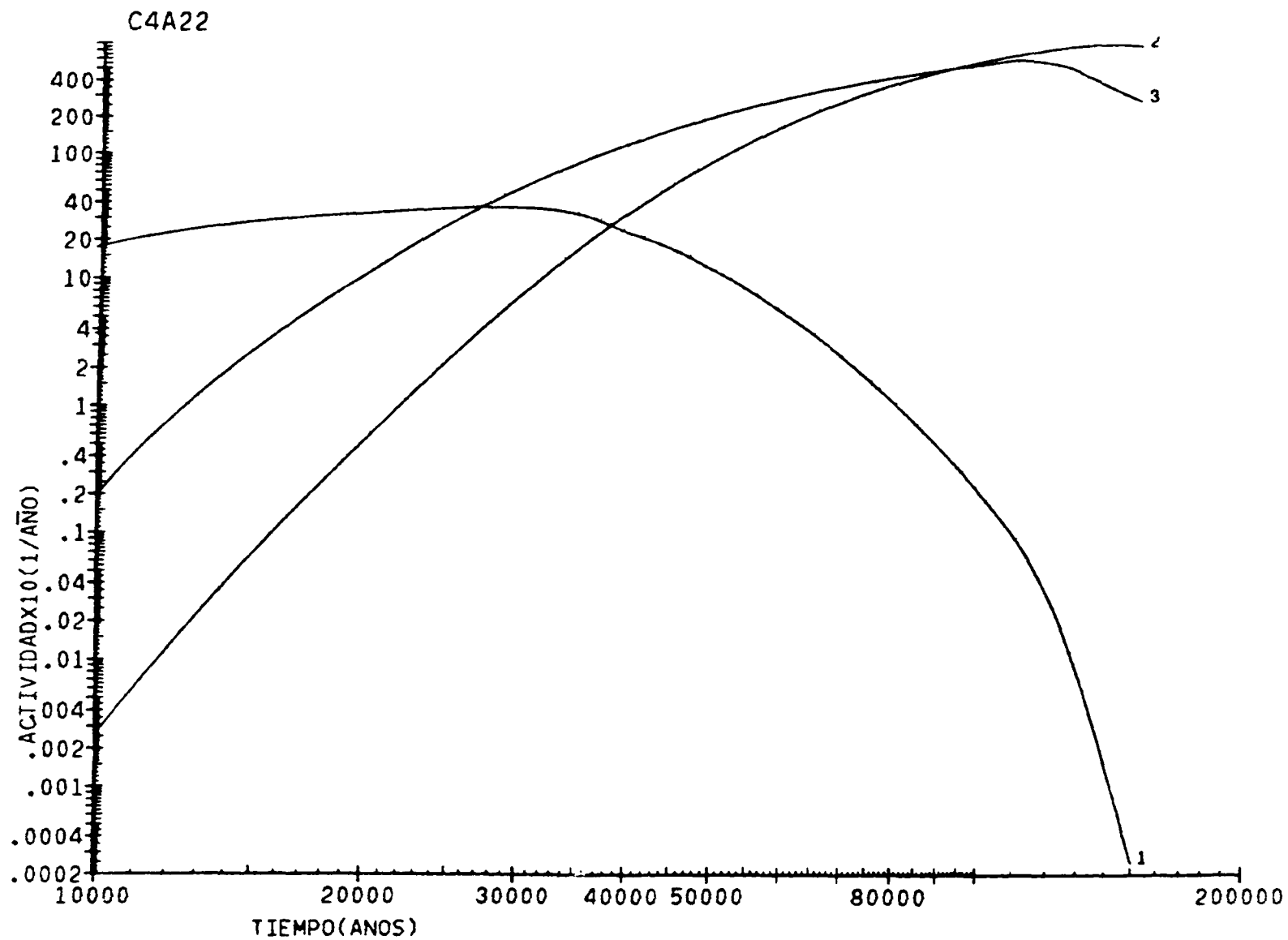


Figura 8 - Ejemplo 1. Caso 2.

315 nodos. $\Delta t = 5$ años. $L = 500$ m

1 = actividad Cm^{245}

2 = actividad Np^{237}

3 = actividad U^{233}

NUCLIDE 1

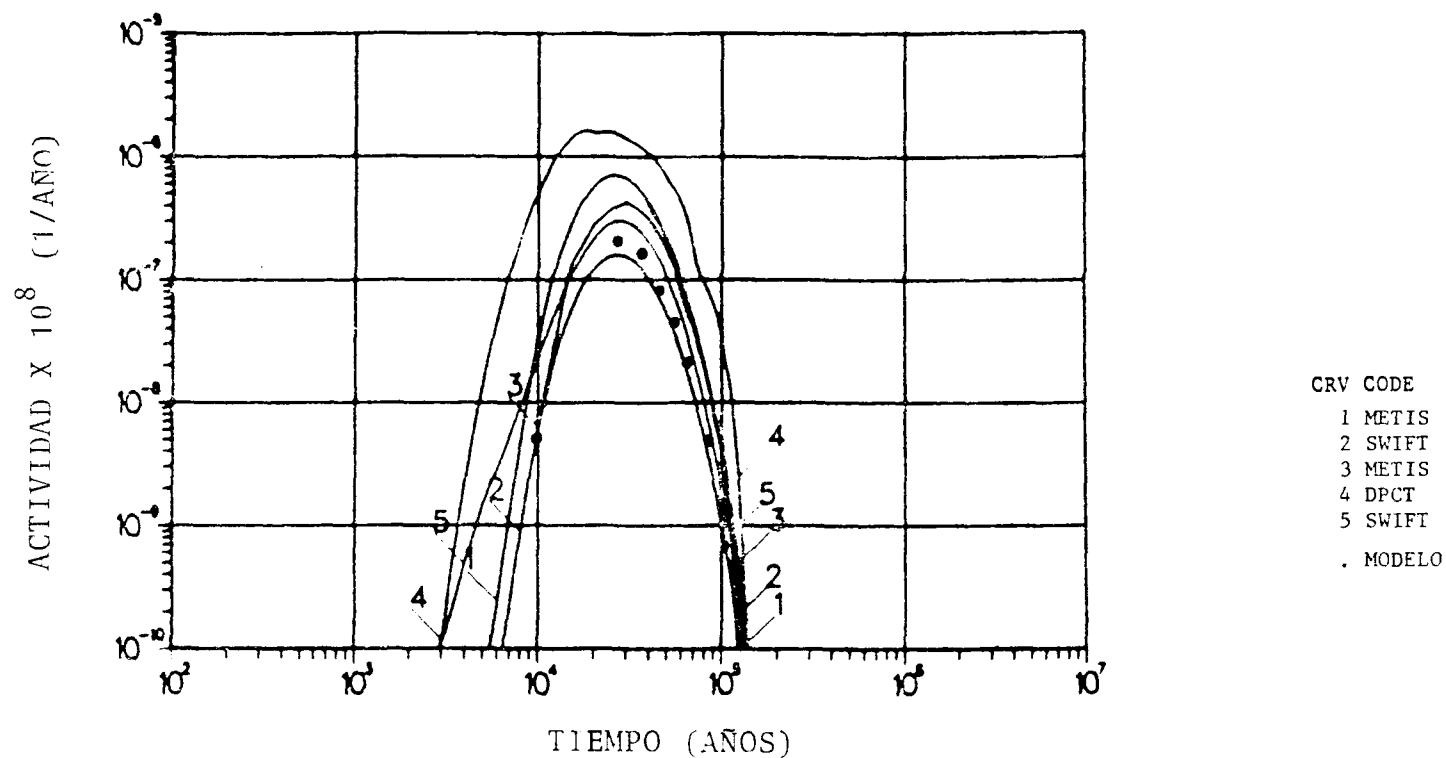


Figura 9 - Nucleido 1 (Cm^{245})
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACOIN /2/
 315 nodos

NUCLIDE 2

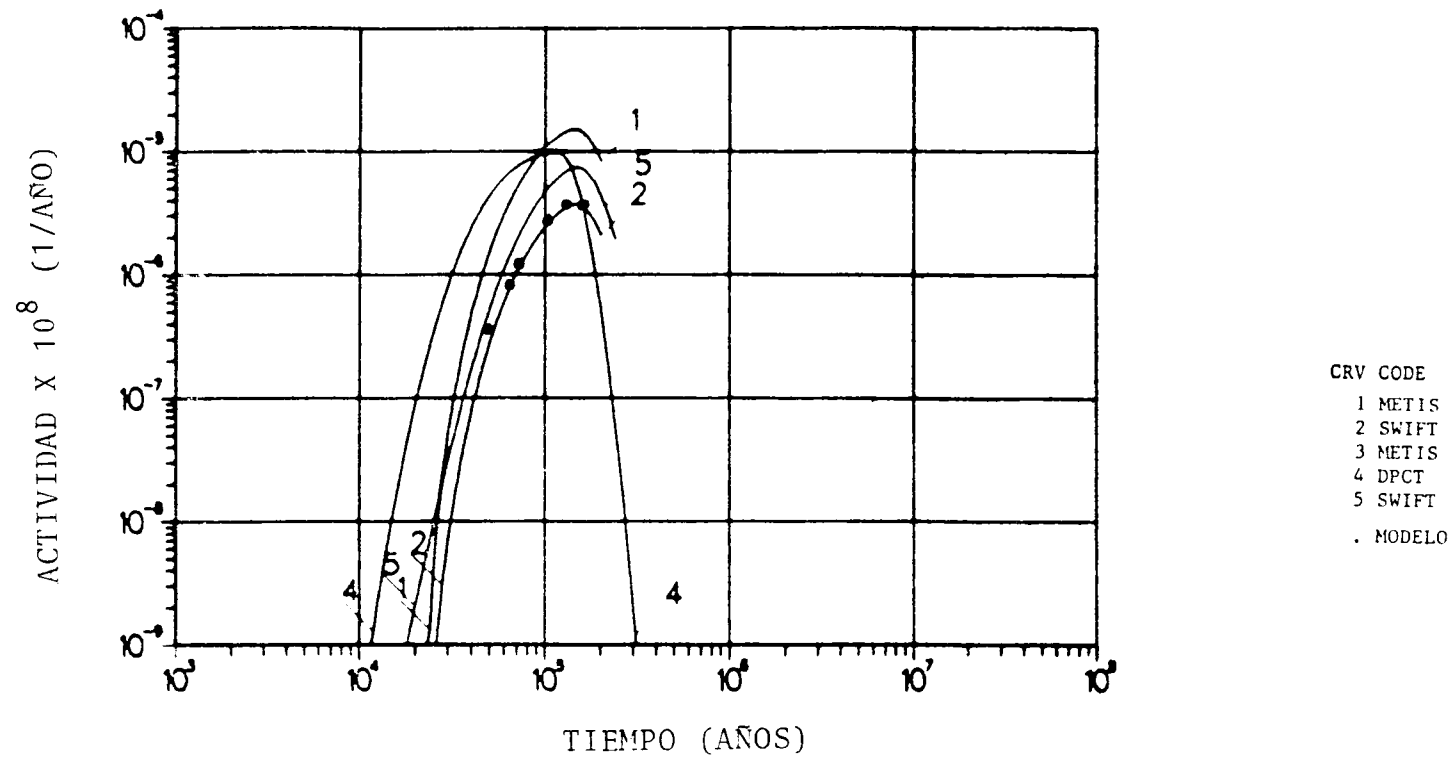


Figura 10 - Nucleido 2 (Np^{237})
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACON /2/
 315 nodos

NUCLIDE 3

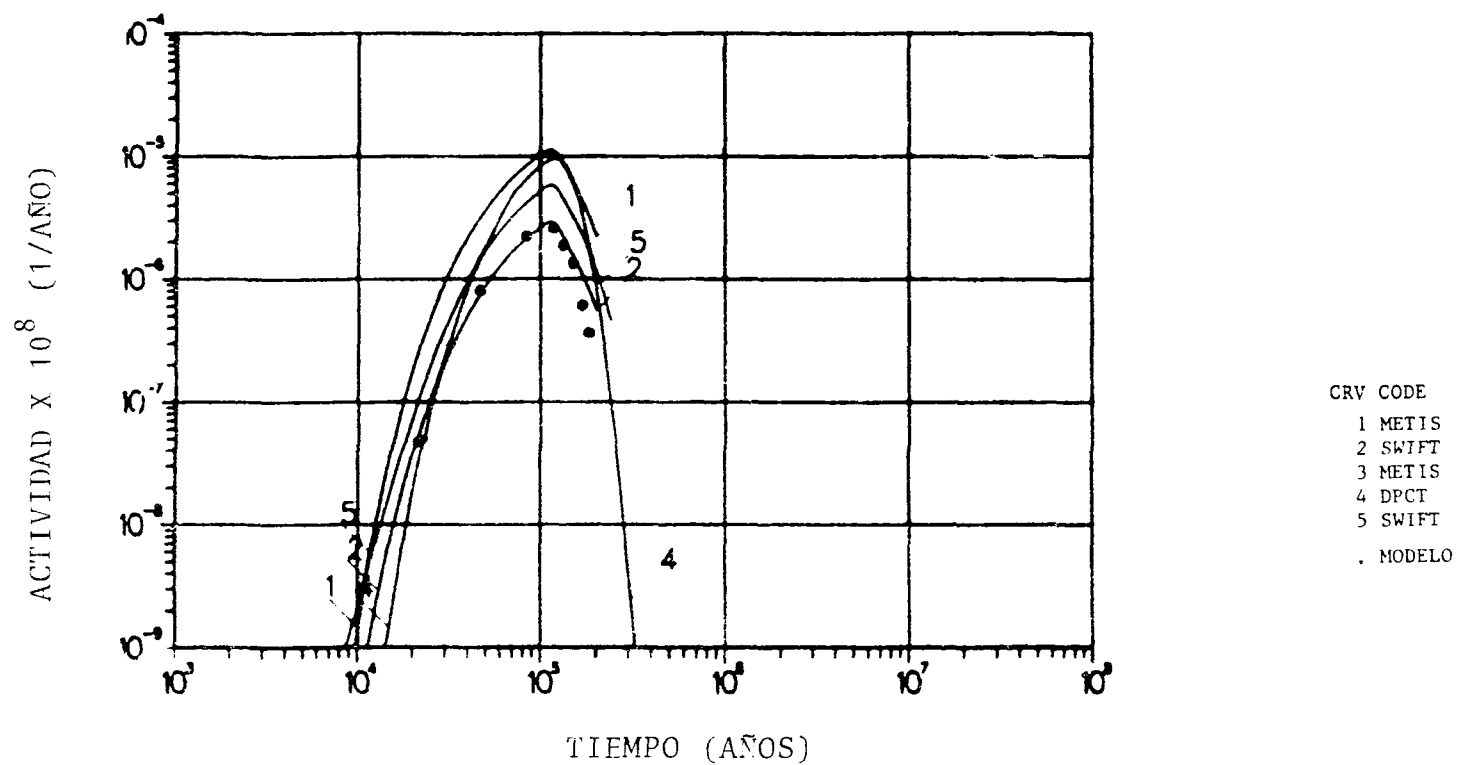


Figura 11 - Nucleido 3 (U^{233})
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACOIN /2/
 315 nodos

NUCLIDE 1

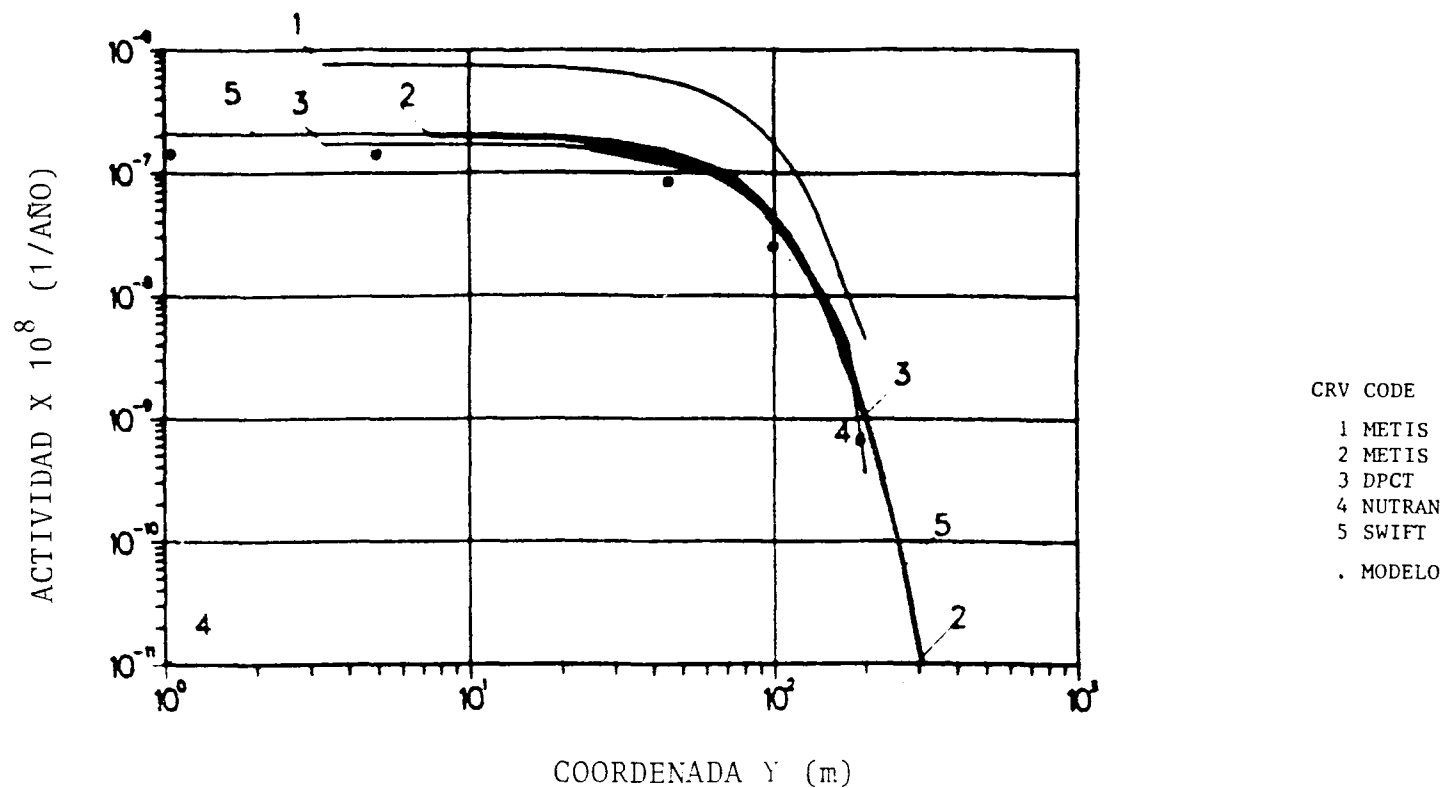


Figura 12 - Nucleido 1 (Cm^{245})
 Actividad a lo largo del eje Y.
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACON /2/
 315 nodos

NUCLIDE 2

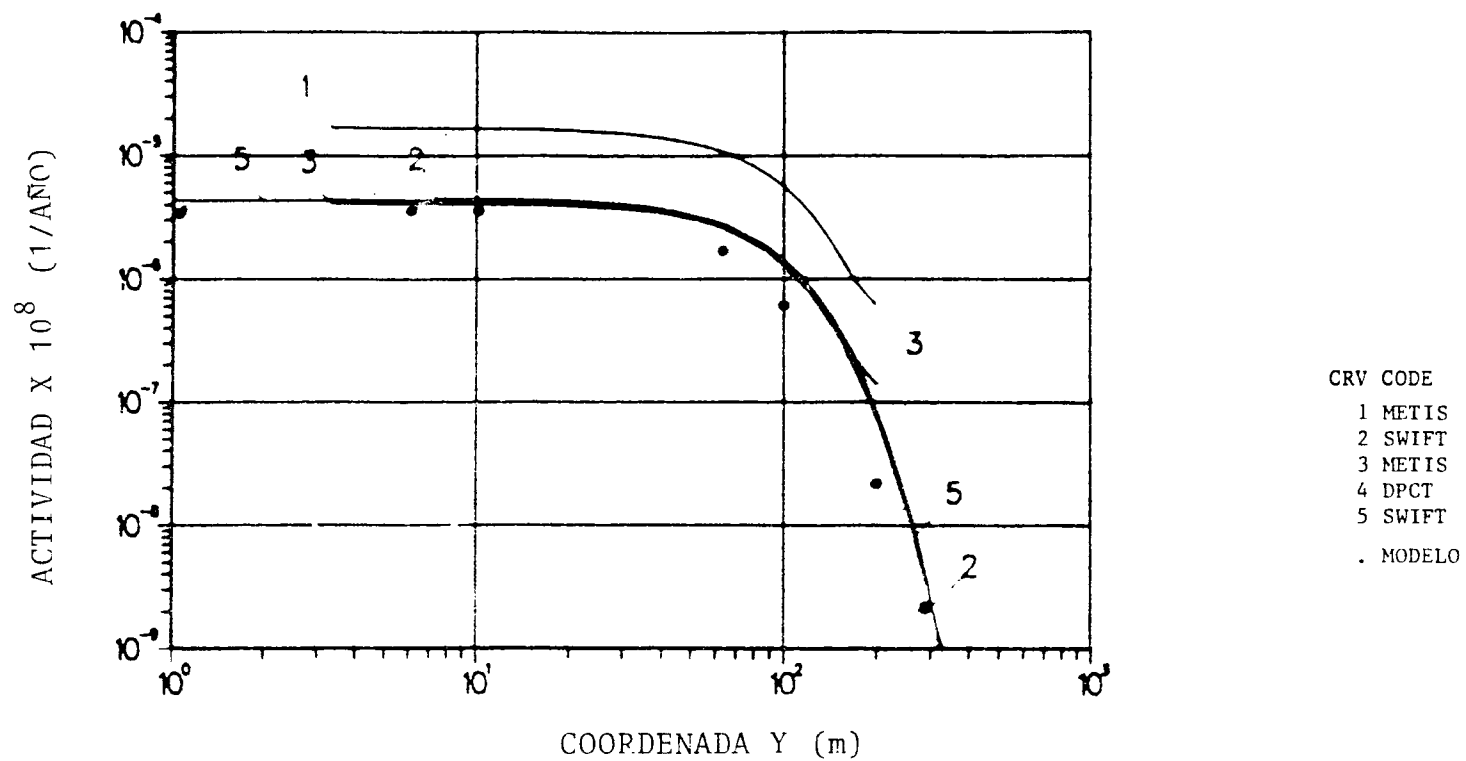


Figura 13 - Nucleido 2 (Np^{237})
 Actividad a lo largo del eje Y.
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACOIN /2/
 315 nodos

NUCLIDE 3

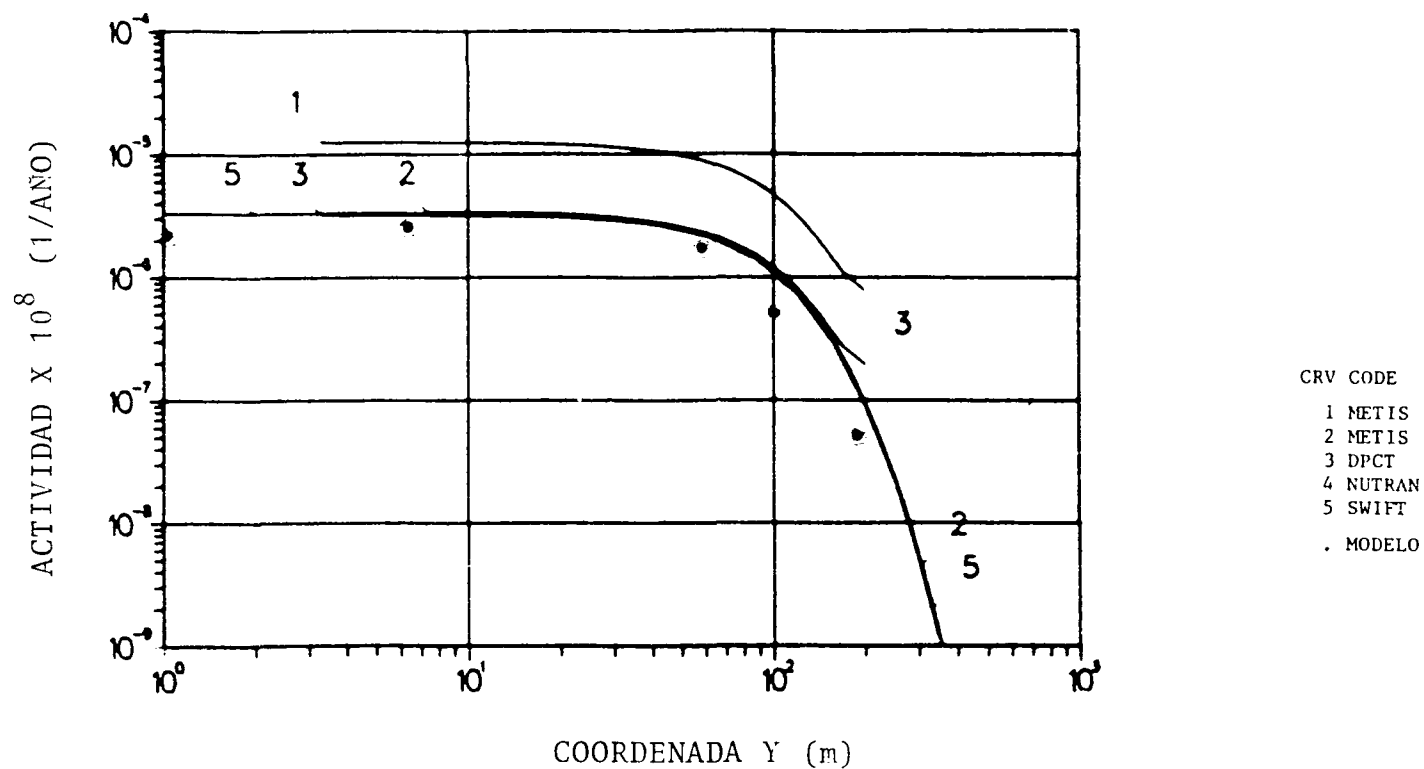


Figura 14 - Nucleido 3 (U^{233})
 Actividad a lo largo del eje Y.
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACOIN /2/
 315 nodos

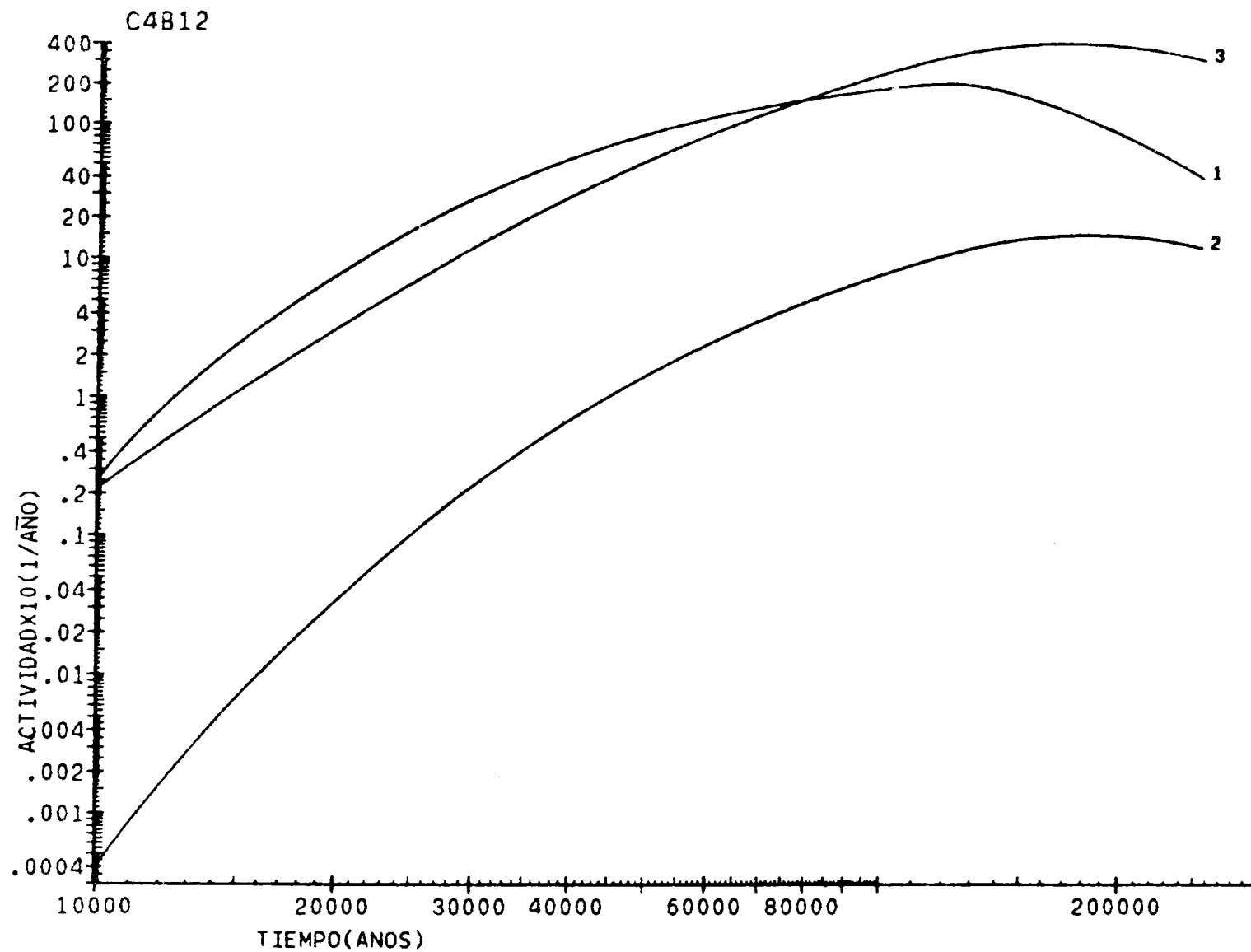


Figura 15 - Ejemplo 2. Caso 1.
315 nodos. $\Delta t = 5$ años. $L = 500$ m
1 = actividad U^{234}
2 = actividad Th^{230}
3 = actividad Ra^{226}

NUCLIDE 1

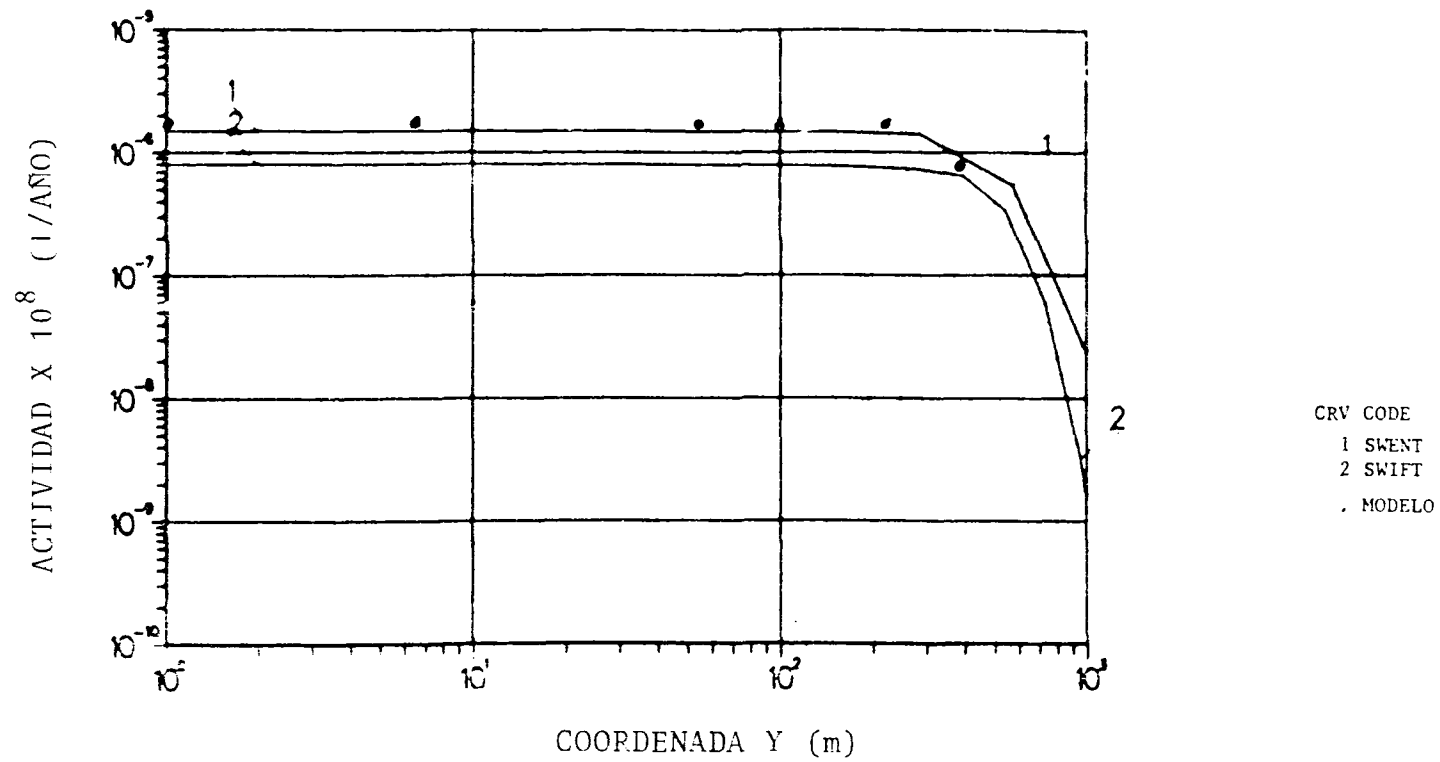


Figura 16 - Nucleido 1 (U^{234})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACON /2/
315 nodos

NUCLIDE 2

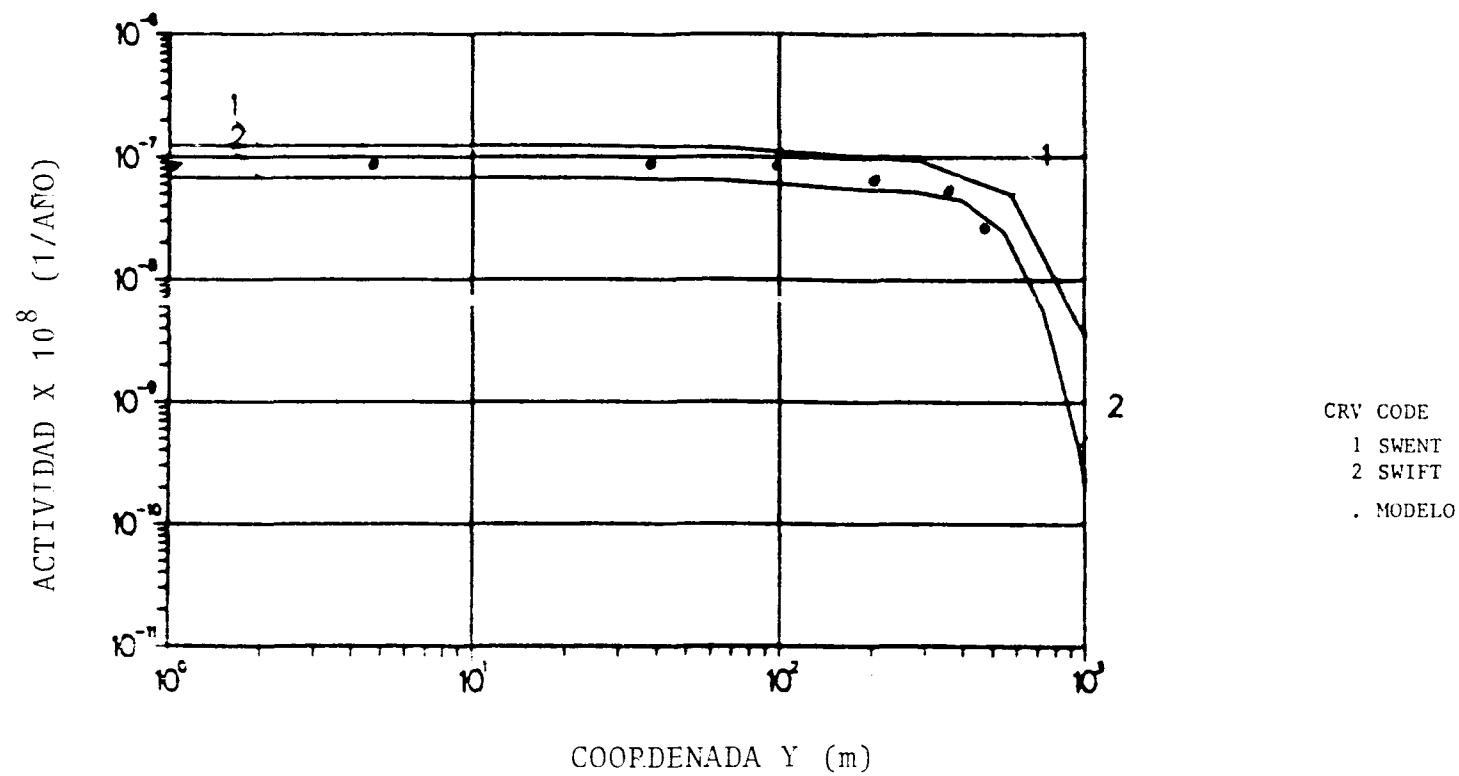


Figura 17 - Nucleido 2 (Th^{230})
Actividad a lo largo del eje Y.
Comparación de resultados con
el experimento INTRACON /2/
315 nodos

NUCLIDE 3

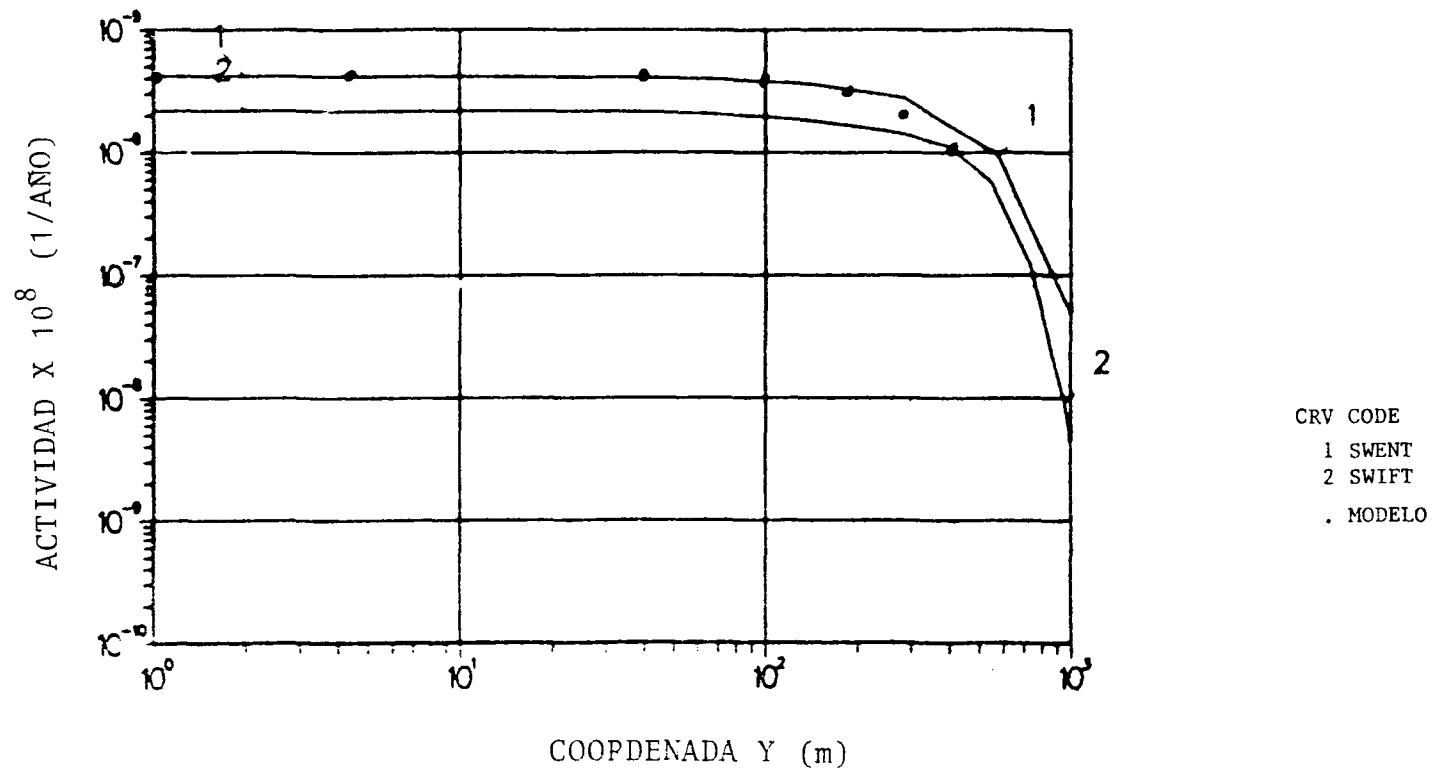


Figura 18 - Nucleido 3 (Ra^{226})
 Comparación de resultados con
 el experimento INTRACOIN /2/
 315 nodos

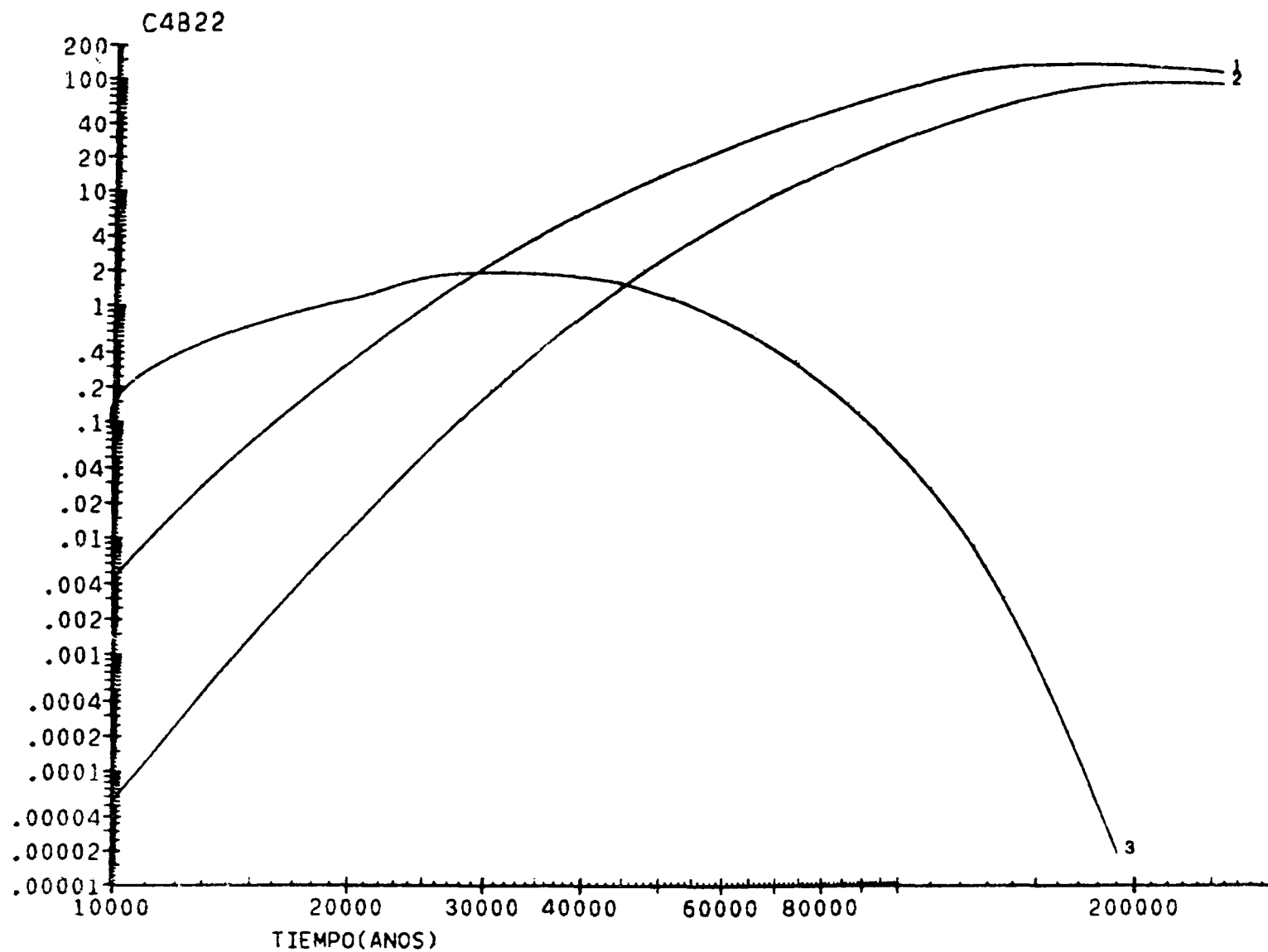


Figura 19 - Ejemplo 2. Caso 2.

315 nodos. $\Delta t = 5$ años. $L = 500$ m

1 = actividad U²³³

2 = actividad Np²³⁷

3 = actividad Cm²⁴⁵

NUCLIDE 1

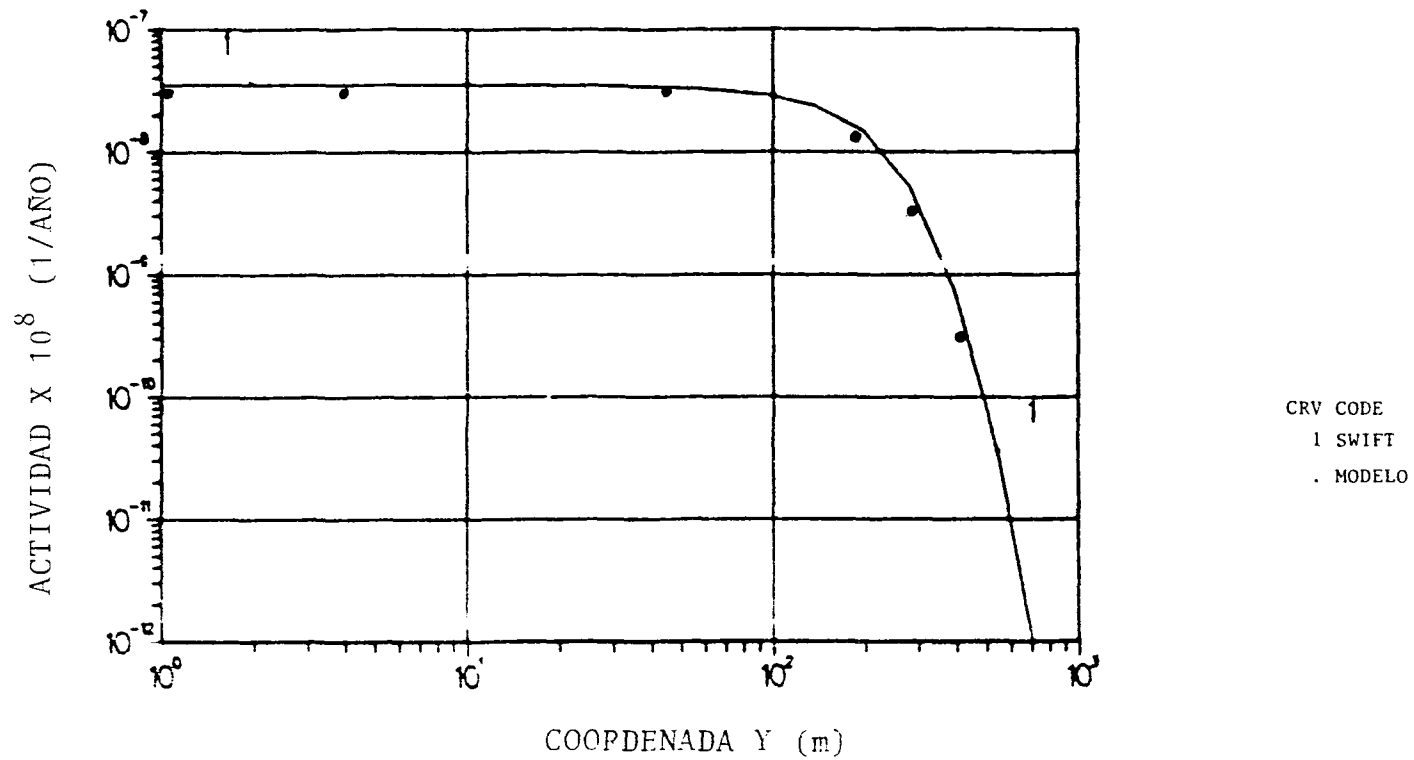


Figura 20 - Nucleido 1 (Cm^{245})
Actividad a lo largo del eje y
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

NUCLIDE 2

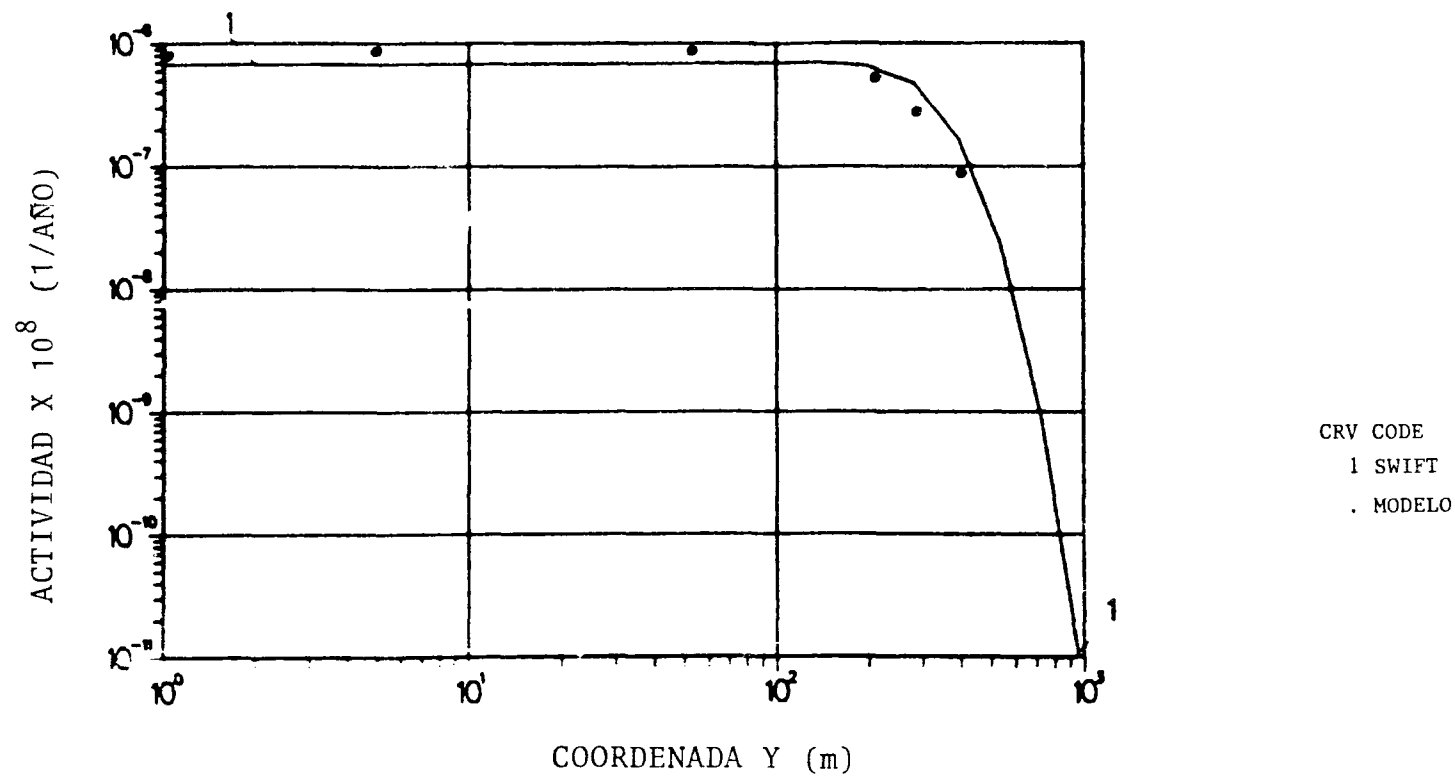


Figura 21 - Nucleido 2 (Np^{237})
Actividad a lo largo del eje y
Comparación de resultados con
el experimento INTRACOIN /2/
315 nodos

NUCLIDE 3

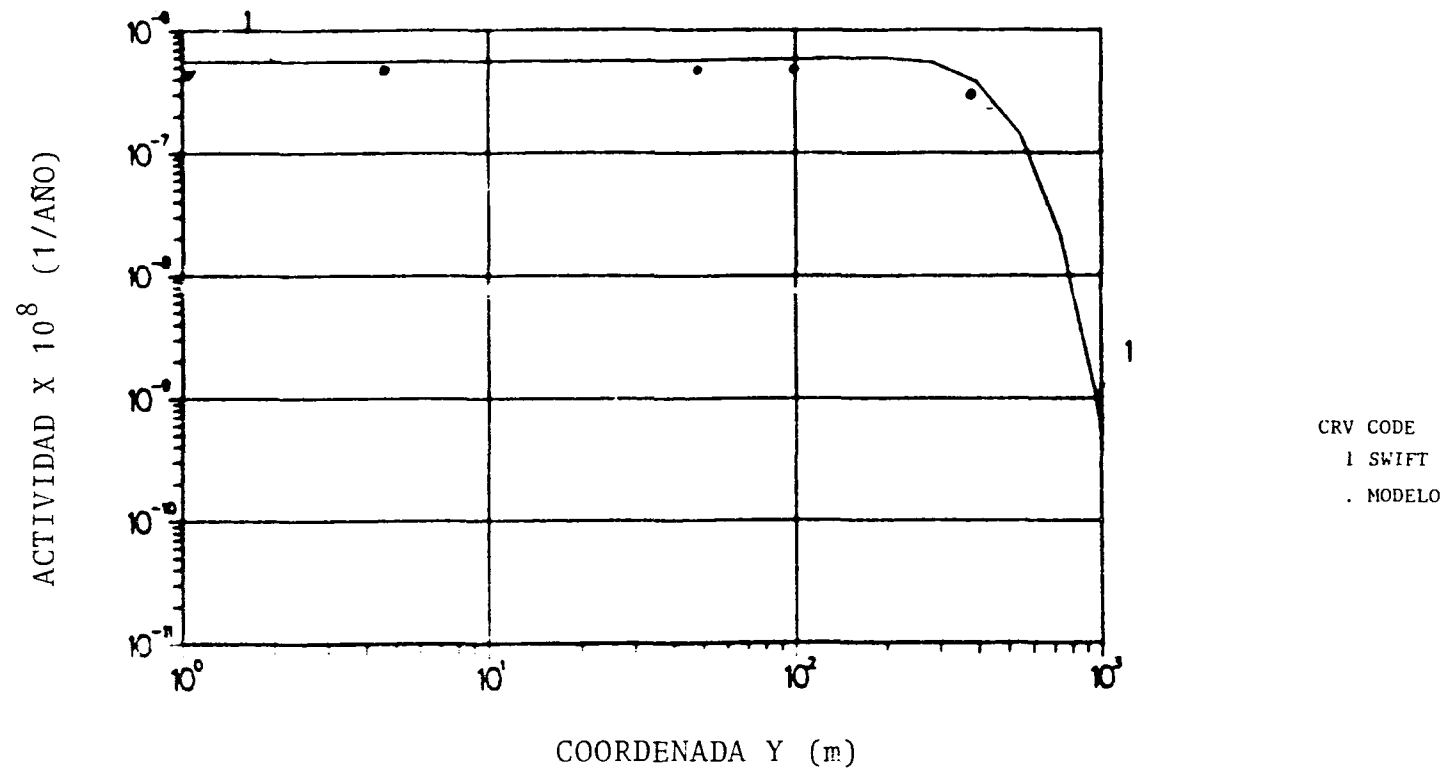


Figura 22 - Nucleido 3 (U^{233})
Actividad a lo largo del eje y
Comparación de resultados con
el experimento INTRACON /2/
315 nodos

- REPO-01 Beninson, D.; Migliori de Beninson, A.
"Radiological impact of radioactive waste management"
- REPO-02 Lucero Michaut, H.
"Aplicación de la geoestadística a la resolución de problemas estructurales en macizos rocosos homogéneos"
- REPO-03 Ventura, M.; Ferreri, J.C.
"Evolución temporal de un macizo granítico bajo cargas térmicas generadas por productos de fisión"
- REPO-04 Ventura, M.; Ferreri, J.C.
"Evolución temporal de un macizo granítico bajo cargas térmicas generadas por productos de fisión (estudio paramétrico)"
- REPO-05 Beninson, D.
"Radioactive emissions and radiation exposures resulting from nuclear power production"
- REPO-06 Beninson, D.; Lindell, B.
"Application of ICRP recommendations to radioactive waste isolation"
- REPO-07 Migliori de Beninson, A.; Cancio, D.
"Impacto radiológico de la gestión de residuos radiactivos del Programa Nuclear Argentino"
- REPO-08 Migliori de Beninson, A.; Palacios, E.
"Política en materia de gestión de desechos y su aplicación en Argentina"
- REPO-09 Palacios, E.; et al.
"Bases conceptuales para la construcción de un repositorio en la Argentina".
- REPO-10 Palacios, E.; et al.
"Estudios para la selección del emplazamiento de un repositorio en Argentina"
- REPO-11 Matar, J.A.; Girardi, J.P.; Matar de Sarquís, M.
"Aplicación de técnicas geoestadísticas al estudio de una formación granítica destinada a la construcción de un repositorio"
- REPO-12 Ferreri, J.C.; VENTURA, M.
"Numerical aspects of the study of the regional thermal impact of a radioactive waste repository"
- REPO-13 Ferreri, J.C.; Caballero, C.H.
"Difusión de calor a partir de una fuente plana rectangular finita"
- REPO-14 Beninson, D.; González, A.J.
"Radiological protection criteria for radioactive waste repositories"
- REPO-15 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"

- REPO-16 Ferreri, J.C.; Ventura, M.
"Aspectos numéricos del modelado de los efectos locales de un repositorio de residuos radiactivos de alta actividad"
- REPO-17 Beninson, D.
"Criterios de radioprotección en el caso de eventos disruptivos probabilísticos"
- REPO-18 Ferreri, J.C.; Grandi, G.
"Models for the study of the local effects produced by a high-level radioactive waste repository"
- REPO-19 Beninson, D.J.; et al.
"The argentine radioactive waste repository: basic criteria, preliminary siting and design conceptual basis"
- REPO-20 De Micheli, S.M. de; et al.
"Uso del plomo en contenedores de residuos radiactivos de alta actividad: estudio de resistencia a la corrosión"
- REPO-21 Peruca, J.C.; et al.
"Investigaciones geológicas e hidrológicas con procesamiento geoestadístico en la preselección del emplazamiento de un repositorio subterráneo para los residuos radiactivos de alta actividad del Programa Nuclear Argentino"
- REPO-22 Varani, J.L.; et al.
"Analysis of different vitreous matrices of the borosilicatype"
- REPO-23 Varani, J.L.; Petraitis, E.J.; Vazquez, A.
"Vitrificación de residuos radiactivos líquidos de alta actividad"
- REPO-24 Varani, J.L.; Petraitis, E.J.; Pasquali, R.C.
"Evaluación de matrices vitreas para inclusión de residuos radiactivos"
- REPO-25 Russo, D.; Messi de Bernasconi, N.; Audero, M.
"Fijación de residuos de alta actividad en matriz vítrea sinterizada"
- REPO-26 Wetten, C.; Grassi, J.I.
"Hydrogeological features of a rocky massif to be used as a nuclear repository"
- REPO-27 Girardi, J.P.; Matar de Sarquís, M.
"Selection of a minimum fracturation area by means of geostatistic for emplacement of subsurface civil works of a nuclear repository in crystalline rock"
- REPO-28 Matar, J.A.; et al.
"Geostatistical investigations of rock masses. The Sierra del Medio case (Argentina)"
- REPO-29 Perucca, J.C.; et al.
"Geological and geophysical investigations at Sierra del Medio Massif - Argentina"

- REPO-30 Russo, D.O.; Messi de Bernasconi, N.; Audero, M.A.
"Inmovilización de residuos de alta actividad en vidrios sinterizados: 1) Proceso de prensado en caliente"
- REPO-31 Bevilacqua, A.M.; et al.
"Inmovilización de residuos de alta actividad en vidrios sinterizados: II) Proceso de prensado a temperatura ambiente"
- REPO-32 Ventura, M.
"Predicción de la migración de radionucleidos en un medio rocoso. Parte I"
- REPO-33 Ventura, M.
"Predicción en la migración de radionucleidos en un medio rocoso. Parte II-Caso bidimensional"
- REPO-34 Palacios, E.
"Política argentina para la eliminación de residuos radiactivos"
- REPO-35 Pahisa, M.; et al.
"Primeros ensayos vinculados a la vitrificación de residuos líquidos de alta actividad".

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) (ext. 248)	701 - 2431
Centro Atómico Ezeiza Ezeiza Atomic Center	Casilla de Correo 40 1802 - Aeropuerto Ezeiza Argentina	23462 CAE PRS AR	620 - 0480	620 - 0160