

Ciema 615
Sp ISSN 0081-8397

**PROGRAMACION DE LOS CONTROLES
DOSIMETRICOS INDIVIDUALES PARA
CONTAMINACION INTERNA POR
INHALACION DE URANIO**

por:

C. Vázquez López

M L. Chapel Gómez

R. Sáenz Gancedo

**CENTRO DE INVESTIGACIONES
ENERGETICAS, MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLOGICAS**

MADRID, 1988

**PROGRAMACION DE LOS CONTROLES
DOSIMETRICOS INDIVIDUALES PARA
CONTAMINACION INTERNA POR
INHALACION DE URANIO**

por:

C. Vázquez López

M. L. Chapel Gómez

R. Sáenz Gancedo

**CENTRO DE INVESTIGACIONES
ENERGETICAS, MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLOGICAS**

MADRID, 1988

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES:

C55.00
RADIATION MONITORING
PLANNING
METABOLISM
PERSONNEL DOSIMETRY
INTERNAL IRRADIATION
INHALATION
URANIUM
DOSE EQUIVALENTS
RADIATION PROTECTION
AIR

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Documentación Biblioteca y Publicaciones, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ciudad Universitaria, 28040-Madrid, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesaurus del INIS para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. Para más detalles consulte el informe IAEA-INIS-12 (INIS: Manual de Indización) y IAEA-INIS-13 (INIS: Thesaurus) publicado por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Este trabajo se ha recibido para su impresión en Febrero de 1988.

INDICE

RESUMEN.....	3
1.- Introducción.....	4
2.- Objetivo e hipótesis de partida.....	7
2.1.- Composición isotópica.....	8
2.2.- Sistemas de detección.....	9
2.3.- Forma de incorporación al organismo.....	10
2.4.- Comportamiento metabólico.....	11
3.- Método.....	13
3.1.- Descripción de los modelos metabólicos.....	15
3.1.1.- Modelo pulmonar.....	16
3.1.2.- Modelo gastrointestinal.....	17
3.1.3.- Organos de depósito.....	17
3.2.- Resolución analítica.....	18
3.3.- Cálculo de la dosis equivalente interna integrada....	22
4.- Resultados.....	25
4.1.- Retenciones pulmonares y excreciones en orina por unidad de incorporación.....	26
4.1.1.- Uranio de Clase Y Incorporación Única.....	27
Incorporación Continua.....	28
4.1.2.- Uranio de Clase W Incorporación Única.....	29
Incorporación Continua.....	30
4.1.3.- Comparación entre las Clases Y y W Incorporación Única.....	31
Incorporación Continua.....	32
4.2.- Retenciones pulmonares y excrecciones en orina por LIA incorporado.....	34
4.2.1.- Incorporación única Caso 1. Incorporación única de 1 LIA de Uranio Clase Y. - Enriquecimiento 3%.....	37
- Uranio natural.....	38
Caso 2. Incorporación única de 1 LIA de	

	Uranio Clase W.	
	- Enriquecimiento 3%.....	38
	- Uranio natural.....	39
4.2.2.-	Incorporación continua	
	Caso 1. Incorporación continua de 1 LIA/año de Uranio Clase Y.	
	- Enriquecimiento 3%.....	40
	- Uranio natural.....	42
	Caso 2. Incorporación continua de 1 LIA/año de Uranio Clase W.	
	- Enriquecimiento 3%.....	42
	- Uranio natural.....	43
4.2.3.-	Incorporaciones máximas anuales no detectables.....	44
5.-	Conclusiones	45
6.-	Referencias y bibliografía	47
APENDICE 1.-	TABLAS	52
APENDICE 2.-	FIGURAS	80

RESUMEN

En este estudio se analiza el comportamiento metabólico del uranio incorporado al organismo por inhalación, siguiendo los criterios y recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP).

La aplicación de los modelos y del procedimiento de cálculo de las dosis internas recomendados por la ICRP, mediante un determinado método de resolución analítica, conducen al cálculo de las dosis internas integradas en los órganos relevantes y de la dosis interna efectiva integrada. A partir de estos datos, se calculan los Límites de Incorporación Anual (LIA) y los límites de Concentraciones Derivadas en Aire (CDA).

En el estudio se tiene en cuenta la influencia que, sobre todos estos resultados, tienen diversos parámetros característicos del tipo de contaminante potencial, para la aplicación al caso concreto de una determinada fábrica de elementos combustibles nucleares.

Los resultados del estudio muestran la influencia decisiva de algunos de dichos parámetros sobre el valor de los límites secundarios y derivados aplicables. Así mismo, se presentan las relaciones entre la incorporación producida - expresada como fracción del LIA aplicable en cada caso - y las retenciones pulmonares o las excreciones en orina, en función del tiempo. Ello permite analizar, para distintas circunstancias e hipótesis, las incorporaciones que en cada caso pueden detectarse, con las distintas técnicas disponibles de control dosimétrico.

Los resultados del estudio permiten decidir el tipo y frecuencia de controles dosimétricos personales, adecuados a cada caso.

1.-INTRODUCCION

El cumplimiento de los requisitos impuestos por el sistema de limitación de dosis, exige el diseño y puesta en práctica de programas de vigilancia radiológica personal y ambiental, que permitan cuantificar los riesgos a los que están sometidas las personas afectadas.

En lo que se refiere a los programas de vigilancia radiológica personal, su diseño ha de ser adecuado para poder evaluar, en todo caso, las dosis recibidas por el personal profesionalmente expuesto. Ello implica la definición del tipo y la frecuencia de los controles dosimétricos individuales que, adaptados a las características de los riesgos específicos a los que está sometido cada individuo o grupo de ellos, permitan evaluar sus dosis personales.

En el caso particular de instalaciones o actividades en las que es significativo el riesgo de contaminación interna, el programa de vigilancia radiológica personal ha de estar diseñado de forma que los controles dosimétricos individuales permitan determinar la dosis equivalente interna integrada en ciertos órganos y la dosis efectiva interna integrada, producidas por la incorporación al organismo de materiales radiactivos.

Las dosis producidas por contaminaciones internas, han de evaluarse a partir del conocimiento de la actividad realmente incorporada al organismo. Este dato puede obtenerse, según los casos, a partir de medidas directas mediante un contador de radiactividad corporal (CRC), o de medidas indirectas mediante el análisis de excretas (bioeliminación). Sólo cuando estos métodos no son técnicamente posibles, es preciso recurrir a estimar la actividad posiblemente incorporada a partir de los datos de contaminación ambiental, proporcionados por el correspondiente programa de vigilancia radiológica en las zonas

de trabajo. En general, lo que se pretende por este método es acotar un nivel superior de las dosis posiblemente recibidas por un individuo o grupo de individuos que trabajan en unas condiciones ambientales determinadas.

En cualquier caso, el cálculo de la actividad realmente incorporada ha de hacerse a partir de los datos experimentales de los que se disponga, a través del conocimiento del comportamiento metabólico del contaminante de que se trate, de la vía de entrada al organismo y de la secuencia temporal de la incorporación.

Por tanto, todo programa de controles dosimétricos individuales, que pretenda detectar cualquier posible contaminación interna significativa, habrá de estar diseñado de forma que cubra todas las posibles contingencias en cuanto a la magnitud de la actividad incorporada, tipo del contaminante, vía de entrada y momento en el que se produce la incorporación.

En la realidad, sin embargo, y con la excepción de ciertos casos especiales o de accidente, rara vez se conocen con precisión todas estas variables, especialmente en lo que se refiere a la vía de entrada y al momento en el que se produce la misma. Por ello, siempre es preciso recurrir a formular ciertas hipótesis extremas sobre estas circunstancias, y adaptar a las mismas el tipo y la frecuencia de los controles personales a efectuar, de forma que se garantice razonablemente la detección de cualquier contaminación que se produzca por encima de un cierto umbral y, en todo caso, la no superación de los límites de dosis aplicables.

Por ello, desde un punto de vista operativo, suele distinguirse entre distintos tipos de controles:

- **Controles Rutinarios:** que se realizan regularmente con una frecuencia previamente fijada. Su objetivo es el de

detectar incorporaciones más o menos constantes o periódicas, que se produzcan en las condiciones habituales de trabajo. Su frecuencia debe asegurar la detección de cierta actividad mínima, que pueda incorporarse en un momento cualquiera entre dos controles sucesivos.

- **Controles Operacionales:** que se realizan para vigilar las posibles consecuencias de operaciones específicas. Su objetivo es detectar incorporaciones que se produzcan en un momento que es fácil de conocer o, al menos, de acotar.

- **Controles Especiales:** que se realizan ante la sospecha o evidencia de una incorporación única producida en un momento o periodo corto de tiempo conocidos, en general como consecuencia de algún tipo de incidente.

En cuanto a la secuencia de incorporación, el primer tipo de controles suele programarse a partir de una hipótesis de incorporación continua o periódica, mientras que para los otros dos tipos de controles la hipótesis de trabajo suele ser la de una incorporación única instantánea.

2.- OBJETIVO E HIPOTESIS DE PARTIDA

En el caso particular de las fábricas de elementos combustibles nucleares, es significativo el riesgo de contaminación interna por los compuestos de uranio manipulados en el proceso de fabricación.

El objetivo del presente trabajo es el de deducir, a través del análisis de las características y comportamiento metabólico de los contaminantes probables, unos criterios que permitan definir el programa de controles dosimétricos, adecuado para evaluar las dosis producidas por contaminación interna a los trabajadores profesionalmente expuestos de una fábrica de elementos combustibles.

En el caso específico de la fábrica para la que se ha efectuado el estudio, la fabricación de elementos combustibles para centrales nucleares de los tipos PWR y BWR, se lleva a cabo a partir de polvo de óxido de uranio sinterizable. El enriquecimiento del uranio manipulado oscila, según los distintos procesos de producción, entre el 0.71% y el 3.80%, siendo el máximo enriquecimiento autorizado del 4.15%.

Para la planificación de los controles individuales de contaminación interna, debe partirse de las siguientes informaciones básicas:

- .Características de emisión de los radionucleidos a controlar.
- .Características y límites de detección de los sistemas de medida disponibles.
- .Vías de entrada y secuencia temporal de las incorporaciones de radionucleidos al organismo.

.Comportamiento metabólico de los distintos tipos de contaminantes.

En el caso particular aquí estudiado, se ha partido de las siguientes hipótesis previas:

2.1.- Composición Isotópica

Se ha considerado que pueden estar presentes cuatro isótopos del uranio (U-234; U-235; U-236 y U-238) en proporciones variables, según el enriquecimiento y la composición isotópica del material que se maneje. En la Tabla 1 se indican las composiciones isotópicas, para distintos grados de enriquecimiento, del material manejado en diferentes procesos reales de producción. En la Tabla 2 se relacionan, para los cuatro isótopos considerados y sus descendientes, las energías y los rendimientos de las emisiones alfa, que son las que constituyen la principal contribución a la dosis producida, así como las energías y los rendimientos de las emisiones de radiación electromagnética, utilizadas en las medidas directas de la contaminación interna (1).

En el estudio realizado se han considerado dos composiciones isotópicas, de entre las que figuran en la Tabla 1, tomadas como representativas de diferentes materiales: la correspondiente a un enriquecimiento del 0.71% como ejemplo de uranio natural, y la correspondiente a un enriquecimiento del 3.00% como ejemplo del enriquecimiento medio del material manejado en la fábrica.

2.2.- Sistemas de Detección

Se supone la disponibilidad de los siguientes sistemas y técnicas de medida para la determinación experimental de contaminaciones ambientales y personales:

- .Sistemas de muestreo de aire capaces de proporcionar las concentraciones de actividad presentes, en cada momento o período de tiempo, en los distintos puestos de trabajo.
- .Sistema para la evaluación de la cantidad de uranio excretada en orina, mediante la determinación de la concentración excretada, expresada en $\mu\text{g}/\text{l}$ si se utiliza fluorimetría, o en Bq/l si se utiliza espectrometría alfa. Para el caso de la determinación por fluorimetría, que es la técnica utilizada en este caso, se formulan distintas hipótesis para el valor del límite inferior de detección, entre $0.2 \mu\text{g}/\text{l}$ y $6 \mu\text{g}/\text{l}$, que corresponderían respectivamente a un valor muy bueno y a un valor aceptable, según la bibliografía sobre el tema (2,3,4,5).
- .Sistema para la medida directa de la contaminación interna existente en el pulmón, mediante un contador de radiactividad corporal constituido por dos detectores del tipo "Phoswich". Según el tiempo de acumulación de contaje y la constitución física de la persona examinada, se considera que el límite inferior de detección puede variar entre 2 y 10 mg para uranio natural, siendo correspondientemente inferior en el caso de uranio enriquecido (2,3).

2.3.- Forma de Incorporación al Organismo

En cuanto a la vía de incorporación al organismo, en todo el estudio se ha considerado que la única vía de entrada es por inhalación de aerosoles, ya que este es el riesgo más significativo en las condiciones de trabajo a controlar.

En cuanto al tipo de secuencia temporal en el que se produce la incorporación, dadas las características de permanencia en el organismo de este tipo de contaminantes y de la naturaleza rutinaria de las tareas desarrolladas, la hipótesis de incorporación continua es la que mejor se adapta a la situación habitual esperable y, por tanto, al programa de controles que se establezca para vigilar las consecuencias de las operaciones rutinarias. No se ha estimado necesario tener en cuenta periodos vacacionales ni ciclos semanales de incorporación.

Por otra parte, para prever las consecuencias de una posible liberación súbita de actividad, o de una exposición individual aislada, se considera también la hipótesis de incorporación única, en relación con los controles especiales o programas de controles operacionales a establecer para cubrir estas circunstancias.

En consecuencia, en el estudio se analizan por separado, para cada caso, las dos situaciones distintas producidas por la incorporación continua a un ritmo determinado y por una incorporación única.

2.4.- Comportamiento Metabólico

El comportamiento metabólico del contaminante incorporado al organismo, depende fundamentalmente de dos características del contaminante inhalado: el tamaño de las partículas del aerosol y el grado de solubilidad biológica de las mismas, según la composición química del material manipulado.

En cuanto al tamaño de las partículas, que determina la distribución y el porcentaje del aerosol inhalado que se retiene en el sistema respiratorio, el mismo se caracteriza por el Diámetro Aerodinámico Medio del Aerosol (AMAD). Para los casos, como es el presente, en los que no se conoce el tamaño real de las partículas inhaladas, la ICRP (6) recomienda la hipótesis de considerar que el AMAD es de 1 μm . Sin embargo, en gran parte de la bibliografía relativa a instalaciones análogas, se tiende a concluir que los AMAD de los aerosoles incorporados varían entre 3 μm y 8 μm (7,8,9). Por todo ello, se ha preferido analizar por separado el comportamiento de cinco tamaños distintos de partículas (0.3, 1.0, 3.0, 8.0 y 10.0 μm), con objeto de disponer de datos suficientes que cubran todo el margen esperable.

En cuanto al grado de solubilidad biológica de las partículas inhaladas, que determina la velocidad de eliminación del aerosol desde las diferentes regiones del sistema respiratorio, el mismo viene definido por la composición química del contaminante, en este caso UO_2 . Este material aparece en general, en la bibliografía sobre el tema, como perteneciente a la clase de materiales de menor grado de solubilidad (Clase Y), considerándose así igualmente por la ICRP (6), por lo que parecería lógico limitar este estudio al comportamiento de ese tipo de material. No obstante, no existe unanimidad en esta consideración, especialmente en lo que respecta al material antes

de sinterizar (2,6,7,9,10,11), por lo que parece conveniente contemplar también la posibilidad de que la solubilidad real sea mayor, con objeto de tener un término de comparación en cuanto a las consecuencias que ello tendría sobre los controles individuales a establecer.

En consecuencia, se analiza en el estudio el comportamiento metabólico del contaminante incorporado, tanto en el caso más probable de que el material sea de solubilidad baja (Clase Y), como en el de que sea de solubilidad intermedia (Clase W).

3.- METODO

En todo el trabajo se han seguido las recomendaciones y líneas marcadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), para el análisis de las contaminaciones internas y el cálculo de las dosis producidas por ellas.

El estudio del problema requiere el análisis de la distribución en el organismo de la actividad incorporada y de la evolución temporal de dicha distribución, como paso previo necesario para el cálculo de la dosis recibida por cada órgano afectado. Igualmente es preciso analizar, en función del comportamiento dinámico del contaminante en el organismo, su retención en ciertos órganos y sus vías de eliminación, para definir las posibilidades y efectividad de los distintos métodos de control dosimétrico.

Para este análisis, es preciso recurrir a la utilización de modelos matemáticos que describan, de la forma más aproximada posible, el comportamiento metabólico del contaminante incorporado.

Se persiguen tres objetivos generales en la utilización de modelos matemáticos compartimentales lineales.

Un primer objetivo es simular los aspectos más interesantes del sistema. La simulación puede ayudar a entender los procesos internos que tienen lugar en el sistema y, por tanto, el modelo podría tener un valor predictivo cuando se alteren las condiciones experimentales.

Un segundo objetivo es obtener respuestas globales del sistema, sin necesidad de tener en cuenta los mecanismos internos subyacentes. Así, podrá suponerse una entrada desde el

exterior del sistema, de la sustancia en estudio, y analizar características del sistema en su conjunto, como pueden ser los tiempos de residencia o de tránsito en el mismo de dicha sustancia.

Y, por último, un tercer objetivo puede ser calcular algunos de los parámetros del sistema, como son: contenidos de los diversos compartimentos que lo forman, cálculo de los coeficientes de transferencia, etc...

La aplicación de modelos compartimentales tiene gran utilidad, tanto para la predicción como para la comprensión de lo que sucede en un sistema real. Sin embargo, es importante tener siempre presente que, por las limitaciones inherentes a su definición, los modelos utilizados no son nunca un reflejo exacto de la realidad, sino una simplificación adaptada a la consecución de determinados objetivos parciales.

Como se verá más adelante, para poder evaluar una dosis producida por contaminación interna, es necesario conocer el número de transformaciones nucleares que se producen en los distintos órganos y tejidos. A su vez, sólo podrá estimarse este número de transformaciones si se conoce la distribución de la actividad depositada en función del tiempo.

Estos fenómenos, en definitiva biológicos, sólo pueden describirse a través de modelos simplificados, que suponen el cuerpo humano dividido en cierto número de compartimentos interconectados entre sí. Cualquier órgano o tejido viene representado por uno o más compartimentos.

La desaparición de los radionucleidos desde los distintos compartimentos se supone regida por una cinética de primer orden. En consecuencia, la retención de un elemento en cualquier órgano o tejido vendrá descrita por una suma de terminos exponenciales.

Las fracciones iniciales de depósito y las velocidades de eliminación utilizadas en los modelos, se deducen a partir de los datos experimentales conocidos, bien de contaminaciones reales de personas o de experimentos de laboratorio sobre animales.

Por otra parte, cada individuo tiene un comportamiento metabólico particular, por lo que es necesario, para el establecimiento de normas y procedimientos de control dentro del campo de la protección radiológica, la consideración de un individuo estandar tomado como referencia. Como tal se utiliza el "Hombre Patrón" descrito por la ICRP en su publicación 23 (12), que representa el metabolismo medio de los adultos.

3.1.- Descripción de los Modelos Metabólicos

Como ya se ha indicado, en este trabajo se seguirán estrictamente las líneas marcadas por la ICRP para el análisis de las contaminaciones internas. Los esquemas compartimentales utilizados aparecen en las Figuras 1 y 2, para contaminaciones producidas por materiales de las Clases Y y W, respectivamente.

La única vía de incorporación que se considera aquí es la inhalación. Por ello, en ambos modelos, los primeros compartimentos corresponden a las dos variantes del modelo pulmonar de la ICRP para las Clases Y y W: compartimentos de A a K para Clase Y, y de A a J para Clase W. Los compartimentos L a P representan el tubo digestivo, al cual se incorpora parte de la contaminación a través del exófago. El compartimento de transferencia T es un compartimento hipotético, más o menos representativo de los fluidos corporales, desde el cual se distribuye la contaminación a los distintos órganos de depósito,

en este caso huesos, riñones y tejido blando, a partir de los cuales se va excretando en forma de orina.

3.1.1.- Modelo Pulmonar

Las partículas inhaladas se supone que se depositan inicialmente en los compartimentos de A á I para Clase Y, y de A á H para Clase W. Estos compartimentos representan: A y B la región nasofaríngea (NP), C y D la traqueobronquial (TB) y de E á I, o de E á H la pulmonar (P), para las Clases Y y W respectivamente (Figs. 1 y 2). Dentro de este modelo pulmonar, los compartimentos J y K para la Clase Y, y sólo J para la Clase W, representan los nódulos linfáticos.

Las fracciones iniciales, N_i^0 , en cada uno de los compartimentos, son las indicadas por la ICRP para las dos clases de solubilidad consideradas. Se obtienen como producto de las fracciones, D_i , de la actividad inhalada que se deposita inicialmente en cada una de las regiones, por las fracciones de distribución, F_i , correspondientes a cada uno de los compartimentos de cada región. En la Tabla 3a aparecen los valores de D_i relativos a las regiones nasofaríngea y pulmonar, para diferentes valores del AMAD; el valor de D_{TB} correspondiente a la región traqueobronquial es constante e igual a 0.08. Las fracciones de distribución F_i aparecen en la Tabla 3b.

La velocidad de eliminación desde cada uno de los compartimentos vendrá dada por $K_i = \ln 2 / T_{1/2}$, donde $T_{1/2}$ es el periodo biológico correspondiente (Tabla 3b). Esta eliminación puede realizarse directamente hacia el compartimento de transferencia (fluidos corporales), o indirectamente a través del exófago hacia el tubo digestivo.

3.1.2.-Modelo Gastrointestinal

Está representado en los dos esquemas (Figs. 1 y 2) por los compartimentos L (estómago), M (intestino delgado), N (parte superior del intestino grueso), y P (parte inferior del intestino grueso). En el compartimento M, se supone la absorción, a través de la pared intestinal, de una fracción f_1 de la contaminación presente hacia los fluidos corporales, representados por el compartimento de transferencia T (Tabla 3c). El valor de esta fracción, también según la ICRP, sería 0.02 para la Clase Y y 0.05 para la Clase W. K_i representa en días⁻¹, la velocidad de salida del contaminante desde cada uno de los compartimentos i. En el caso particular del compartimento M, existen dos velocidades de salida, una hacia el compartimento N y otra hacia el compartimento de transferencia.

3.1.3.-Organos de Depósito

Desde el punto de vista de transferencia, la contaminación se distribuye hacia los huesos, los riñones, y un compartimento representativo de los restantes tejidos blandos. El resto se excreta a través de la orina. La eliminación a través del compartimento de transferencia, está gobernada por una cinética de primer orden, con un periodo de 0.25 días.

Las funciones de retención en estos tres órganos de depósito vienen representadas, según la ICRP (6), por:

$$R_{\text{huesos}}(t) = 0.2 e^{-0.693 t/20} + 0.023 e^{-0.693 t/5000}$$

$$R_{\text{riñones}}(t) = 0.12 e^{-0.693 t/6} + 0.00052 e^{-0.693 t/1500}$$

$$R_{\text{t.blandos}}(t) = 0.12 e^{-0.693 t/6} + 0.00052 e^{-0.693 t/1500}$$

Es decir, del uranio que pasa al compartimento de transferencia, dos fracciones (0.2 y 0.023) pasan a los huesos, donde se retienen con unos periodos de 20 y de 5000 días, respectivamente. Otras dos fracciones (0.12 y 0.00052), se supone que van a los riñones, donde se retienen con periodos de 6 y 1500 días. Fracciones iguales a estas últimas, y con idénticos periodos, se supone que se reparten entre los restantes tejidos del cuerpo, con una distribución uniforme. La eliminación desde los órganos de depósito, tiene lugar también a través de la orina.

3.2.- Resolución Analítica

El procedimiento de resolución analítica es el descrito por Birchall (13). Básicamente, consiste en la aplicación de un algoritmo que permite aislar todos los caminos posibles que pueda seguir el contaminante hasta el compartimento *i* en estudio, calcular la contribución parcial de cada uno de los caminos a la contaminación del compartimento *i* en el instante *t*, y sumar posteriormente todas las contribuciones parciales, de modo que no pueda nunca tomarse una misma contribución por duplicado.

Para el cálculo de la contribución del camino seleccionado, se aplica el procedimiento general de resolución de ecuaciones, para la cinética de fenómenos lineales de primer orden, descrito por Skrable (14).

Si A es la variable en estudio, las ecuaciones diferenciales que describen las variaciones instantaneas de A, en cada compartimento de la cadena, son:

$$\frac{dN_1(t)}{dt} = P_1 - K_1^t N_1(t)$$

.....

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = P_i + K_{i-1} N_{i-1}(t) - K_i^t N_i(t)$$

donde:

$N_i(t)$ es la cantidad de A, en el compartimento i, en el tiempo t

K_i^t es la velocidad total de eliminación de A, desde el compartimento i.

K_i es la velocidad de transferencia de A, desde el compartimento i al compartimento i+1.

P_i es la intensidad de aparición de A en el compartimento i (constante).

Estas ecuaciones pueden resolverse para conocer $N_i(t)$ en cualquier compartimento. El problema se simplifica si se supone $P_i=0$ en cualquier tiempo distinto de $t=0$. En este caso:

$$N_i(t) = \sum_{i=1}^n \left[\left(\prod_{j=1}^{n-1} K_j \right) \sum_{j=1}^n \left(\frac{N_i^0 e^{-k_j^t t}}{\prod_{\substack{p=i \\ p \neq j}}^n (K_p^t - K_j^t)} \right) \right]$$

donde N_i^0 es la cantidad inicial en cada compartimento.

Si N_i^0 se expresa en átomos y el tiempo en segundos, esta misma ecuación puede integrarse con respecto a t y multiplicarse por la constante de desintegración radiactiva del contaminante, para obtener el número total de desintegraciones producidas.

En definitiva, por el procedimiento indicado pueden conocerse:

-La cantidad de contaminante (microgramos, bequerelios, etc) para cualquier compartimento y tiempo, supuesta una incorporación única conocida en el instante $t=0$.

-El número de desintegraciones producidas en cualquier compartimento, a lo largo de un tiempo t posterior a una incorporación única conocida, ocurrida en el instante $t=0$.

Por otra parte, si se supone una incorporación continua A por unidad de tiempo, y si $N_i(t)$ fuese la carga en el órgano i , en un instante t , debida a una incorporación única también de valor A ocurrida en $t=0$, la carga en el órgano i debida a la incorporación continua de A durante un tiempo T , será :

$$N_i^t(T) = \int_0^T N_i(T-t) dt$$

efectuando el cambio de variable $\tau = T-t$:

$$N_i^t(T) = - \int_T^0 N_i(\tau) d\tau = \int_0^T N_i(t) dt$$

lo que demuestra que si se toma el tiempo en segundos, la actividad, en Bq, en un compartimento i , debida a la incorporación de una actividad A por unidad de tiempo, durante un tiempo T , equivale al número de desintegraciones producidas en i durante el tiempo T después de una incorporación única A (15).

Esto permite conocer la cantidad de contaminante en cualquier compartimento y tiempo, supuesta una incorporación continua de A Bq/s, si se conoce el número de desintegraciones producidas en ese mismo compartimento a lo largo del mismo tiempo por la incorporación única de A .

3.3.- Cálculo de la Dosis Equivalente Interna Integrada

Según la ICRP (6), la dosis equivalente interna integrada, $H_{50,T}$, en cualquier órgano o tejido, vendrá representada por la expresión:

$$H_{50,T} = 1.6 \times 10^{-10} \sum_s \sum_j [U_s \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i] \quad (\text{Sv})$$

donde:

U_s es el número de transformaciones que se producen en cada órgano fuente, S, durante los 50 años posteriores a la incorporación de un radionúclido j.

$SEE(T \leftarrow S)_i$ es la energía específica absorbida en el órgano blanco, T, para la radiación de tipo i emitida en el órgano fuente S:

$$SEE(T \leftarrow S) = \frac{Y_i E_i AF(T \leftarrow S)_i Q_i}{M_t} \quad (\text{MeV g}^{-1} \text{ por transform.})$$

Y_i es el rendimiento de la radiación tipo i, producida por la transformación del radionucleido j.

E_i (en MeV) es la energía media o única de la radiación de tipo i.

$AF(T \leftarrow S)_i$ es el valor medio de la fracción de la energía que se absorbe en T, procedente de la emisión de la radiación de tipo i desde S.

Q_i es el factor de calidad de la radiación de tipo i.

M_t es la masa del órgano blanco, T.

La dosis equivalente efectiva integrada será el resultado de sumar las contribuciones, a la dosis total, de cada uno de los órganos blanco, ponderada por los factores correspondientes a los mismos.

En el caso estudiado, de contaminación interna por uranio, tanto si se considera que es de la Clase Y como de la Clase W, para el cálculo de dosis sólo es necesario tomar como órgano fuente el pulmón, puesto que el número de desintegraciones es allí significativamente más elevado que en el resto de los órganos. Así mismo, al tratarse básicamente de emisores α , se toma también este órgano como único blanco.

Como se ha visto anteriormente, en el estudio de los modelos metabólicos, el sistema respiratorio se considera dividido en una serie de compartimentos agrupados en tres regiones:

Nasofaríngea	NP
Traqueobronquial	TB
Pulmonar	P

a las que ha de añadirse el conjunto linfático pulmonar, L.

En la consideración del pulmón como órgano blanco, se desprecia la región nasofaríngea y se toma un hipotético órgano de 1000 gramos, T_s , integrado por la siguientes regiones:

$$T_s = TB+P+L$$

Con estas consideraciones, resulta que:

$$H_{50,T} = 1.6 \times 10^{-10} \left[\sum_j U_t^j \sum_i SEE(T \leftarrow T)_i \right] \text{ (Sv)}$$

donde la suma de j incluye los hijos de los posibles contaminantes.

En un principio, se consideraron las contribuciones del Th-231, en la descendencia del U-235, y las del Th-234, el Pa-234m y el Pa-234, en la descendencia del U-238. En todos los casos, la contribución de los hijos radiactivos a la dosis integrada total resulta ser inferior al 0.3%, por lo que se ha optado por tener en cuenta sólo los contaminantes inhalados, prescindiendo de sus descendientes.

4.-RESULTADOS

Como resultado de la aplicación de los modelos y del procedimiento de cálculo antes descritos, se recogen en las Tablas 4a y 4b, para materiales de las Clases Y y W, respectivamente, el número de desintegraciones ocurridas a lo largo de 50 años por cada bequerelio incorporado, las dosis equivalentes integradas en pulmón, las dosis equivalentes efectivas integradas, los Límites de Incorporación Anual (LIA) y las Concentraciones Derivadas en Aire (CDA), para cada uno de los isótopos y para cada uno de los AMAD considerados en el estudio.

De la observación de los resultados que se indican en las tablas anteriores, se deduce la influencia decisiva del tamaño de las partículas inhaladas sobre los parámetros citados. En efecto, los valores deducidos para los LIA correspondientes a distintos valores del AMAD, llegan a diferir hasta en un factor nueve dentro del margen considerado de tamaños de partículas. Los valores obtenidos para el LIA correspondiente a un AMAD de $1 \mu\text{m}$, están de acuerdo con los valores publicados por la ICRP (16), dentro de la aproximación impuesta por el hecho de que en la publicación citada sólo se utilice una cifra significativa.

4.1 Retenciones Pulmonares y Excreciones en Orina por Unidad de Incorporación

En lo que sigue se presentan los resultados de la aplicación de los modelos descritos al cálculo de la evolución en función del tiempo de la actividad retenida en pulmón y de las excreciones en orina. Para cada clase de solubilidad, se calculan las retenciones pulmonares y las excreciones urinarias para una serie de tamaños medios de partículas y bajo dos hipótesis sobre el modo de incorporación: incorporación unitaria única en un tiempo inicial $t=0$, e incorporación unitaria continua a razón de una unidad de incorporación diaria (bequerelio/día) a partir de un tiempo inicial $t=0$.

Los resultados de la aplicación del modelo y del procedimiento de cálculo, para el caso de uranio de Clase Y, se presentan en las Figuras 3, 4, 5 y 6 y en la Tabla 5. En las Figuras 3 y 4 se refleja la evolución temporal de la cantidad de contaminante depositada en pulmón y de la excreción diaria en orina, respectivamente, tras una incorporación única y para los distintos AMAD considerados. En las Figuras 5 y 6 se reflejan los mismos datos, a partir del momento en el que comienza una incorporación continua a ritmo constante. En la Tabla 5 se agrupan todos estos datos, tabulados para distintos periodos de tiempo transcurridos desde el instante, $t=0$, en el que se produce la incorporación única o comienza la incorporación continua.

Para las hipótesis manejadas de incorporación única de 1 Bq, o de incorporación continua a razón de 1 Bq/día, en las distintas columnas de la Tabla 5 se indican:

- "CARGA PULMONAR", o actividad depositada en cada instante en el pulmón, en Bq.

- "CARGA CORPORAL", o actividad total existente en cada momento en todo el organismo, en Bq.

- "EXCRECION URINARIA", o actividad diaria excretada en orina en cada momento, en Bq/día.

En la Tabla se presentan los datos indicados, separadamente para cada uno de los tamaños de partículas (AMAD) considerados.

El mismo tipo de resultados, con idéntico significado, se presenta en las Figuras 7, 8, 9 y 10 y en la Tabla 6, para el caso de uranio de Clase W,

A continuación se analizan los resultados obtenidos, para las hipótesis formuladas sobre la forma de la incorporación, y se comparan los correspondientes a las dos posibles clases de solubilidad del material.

4.1.1.- Uranio de Clase Y

Incorporación Unica

Los datos representados en la Figura 3 muestran que no existe una diferencia marcada, en la pauta de evolución temporal de las fracciones retenidas en pulmón, para los distintos tamaños de partículas considerados, manteniéndose prácticamente a lo largo del tiempo las mismas diferencias que corresponden a las distintas proporciones de la fracción depositada inicialmente en los pulmones. Se observa que, en todos los casos, las fracciones depositadas en pulmón, tras la incorporación única, no varían mucho a lo largo del primer año aproximadamente, tras un ligero descenso inicial. Esto resulta

favorable para efectuar controles pulmonares mediante medida directa en un CRC. La actividad en pulmón decrece después más rápidamente hasta que, a muy largo plazo, tiende a estabilizarse de nuevo, transcurridos unos 20 años.

Los resultados representados en la Figura 4 muestran que la fracción diaria de contaminante excretada en orina disminuye inicialmente con tanta mayor rapidez cuanto mayor es el tamaño de las partículas inhaladas. Al cabo de un mes, aproximadamente, el ritmo de excreción es prácticamente el mismo cualquiera que sea el tamaño de las partículas, mientras que a partir de ese momento la fracción excretada es tanto mayor cuanto menor es el tamaño de las partículas. Se observa que las condiciones para el control dosimétrico por bioeliminación son muy desfavorables, ya que en todos los casos la excreción diaria, inmediatamente después de producirse la incorporación única, presenta valores entre 2 y 7 diezmilésimas de la cantidad total inhalada, por lo que son muy escasas las posibilidades reales de detección del uranio excretado en condiciones normales de trabajo.

Incorporación Continua

En la Figura 5 se representa la evolución temporal de la cantidad retenida en pulmón, tras el comienzo de una incorporación continua a razón de 1 Bq diario. Al igual que en el caso de la incorporación única, no existen variaciones apreciables en la pauta de comportamiento según el tamaño de las partículas, manteniéndose prácticamente las diferencias iniciales.

Se observa que la fracción retenida, que es mayor cuanto menor es el tamaño de las partículas, aumenta progresivamente a lo largo del tiempo, con un ritmo menor a partir de unos 6 años y sin que llegue a estabilizarse en un

periodo de 50 años. Ello es consecuencia de la reducida velocidad de eliminación del uranio desde el pulmón, en una primera fase, como se indicaba en el caso de la Figura 3. Esta circunstancia facilita los controles pulmonares mediante medida directa, al igual que en el caso de la incorporación única.

Las fracciones diarias excretadas en orina, representadas en la Figura 6, son inicialmente tanto menores cuanto más pequeño es el tamaño de las partículas. Debido al mayor ritmo en el aumento de la excreción cuanto menor es dicho tamaño, al cabo de un año aproximadamente no existen diferencias significativas en las fracciones diarias excretadas. A partir de ese momento se invierte la situación, excretándose tanto más cuanto menor es el AMAD. Aunque el ritmo de aumento se ralentiza considerablemente a partir de unos 6 años, la cantidad diaria excretada no se llega a estabilizar, tampoco en este caso, en un periodo de 50 años. Al igual que en el caso de la incorporación única, las condiciones tampoco son óptimas para el control dosimétrico por bioeliminación, ya que tras una acumulación de un año únicamente se excreta diariamente una centésima parte de la cantidad inhalada cada día.

4.1.2.- Uranio de Clase W

Incorporación Unica

Los resultados representados en la Figura 7 muestran que la evolución de la cantidad retenida en pulmón es tal que se mantienen prácticamente las diferencias iniciales según el tamaño de las partículas inhaladas. La disminución de las fracciones en pulmón es muy lenta durante una primera fase de unos 90 días, momento en el que el ritmo de eliminación aumenta de forma considerable. A los 90 días, la fracción que permanece en los

pulmones oscila entre el 8.5% y el 0.95% de la cantidad incorporada, según sea el tamaño de las partículas. Al cabo de un año, oscila entre 2 milésimas y 2 diezmilésimas de la cantidad inhalada, según cual sea el AMAD. En estas condiciones, el control pulmonar por medida directa en un CRC sólo ofrece posibilidades en un plazo corto (no superior a tres meses) tras la incorporación.

Los resultados de las fracciones diarias excretadas, representados en la Figura 8, muestran que, inicialmente, se excreta tanta más cantidad cuanto mayor es el tamaño de las partículas, hasta que al cabo de unos 15 ó 20 días, y debido al mayor ritmo de eliminación de las de mayor tamaño, se igualan prácticamente las excreciones sea cual sea el tamaño de las partículas para, a partir de ese momento, pasar a ser tanto menor la cantidad excretada cuanto mayor es el AMAD. Las condiciones para el control por bioeliminación, especialmente para plazos cortos de hasta unos 3 ó 6 meses, son más favorables que en la situación análoga con uranio de Clase Y.

Incorporación Continua

Las fracciones retenidas en pulmón según los distintos tamaños de partículas, representadas en la Figura 9, presentan una pauta enteramente análoga a la misma situación para el uranio de Clase Y, con la única diferencia de que, en este caso, las fracciones retenidas se estabilizan al transcurrir un año, aproximadamente. De nuevo, la situación es favorable para los controles pulmonares por medida directa.

En la Figura 10 se presentan los resultados de las excreciones diarias, que son inicialmente tanto menores cuanto menor es el tamaño de las partículas. El ritmo de eliminación aumenta más rápidamente en el caso de partículas de tamaños menores, hasta que se estabiliza prácticamente a partir de un

año, eliminándose desde entonces más cantidad cuanto menor es el AMAD. Las condiciones son aquí más favorables para el control por bioeliminación, ya que entre los 9 y los 90 días, según sea el tamaño de las partículas, se alcanza a eliminar diariamente la décima parte de la cantidad inhalada cada día.

4.1.3.- Comparación entre las Clases Y y W

Puede resultar ilustrativo establecer algunas comparaciones entre el comportamiento respectivo de ambos tipos de clases de material, para iguales supuestos en cuanto a la forma de incorporación. Para ello se ha elegido, a título de ejemplo, el caso de partículas de AMAD igual a 1 μm .

Incorporación Unica

La evolución de la contaminación retenida en pulmón, (Fig. 3 y Fig. 7) presenta pautas muy semejantes para ambas clases de solubilidad del material durante las dos primeras semanas a partir de la incorporación, descendiendo entre un 30% y un 40% en un caso y otro (del 21% al 15% del valor inhalado para la Clase Y, y del 21% al 13% para la Clase W). Al cabo de un mes, las retenciones son del 14% y del 10% de la inhalación para las Clases Y y W, respectivamente. Al cabo de un año, la retención pulmonar se mantiene en el 10% para la Clase Y, mientras que se ha reducido al 0.14% en el caso de la Clase W. Estos resultados ponen de manifiesto que la medida directa en CRC, para este modo de incorporación y contaminante de Clase Y, puede realizarse incluso después de prolongados periodos posteriores al momento de la incorporación, ya que la retención pulmonar se mantiene prácticamente constante a lo largo de los primeros 365 días y durante este periodo no desciende del 10% de la inhalación. Por

el contrario, si el contaminante es de Clase W, para que una medida directa en CRC sea eficaz, el control debería realizarse dentro del primer mes tras haberse producido la contaminación o, en caso contrario, debería conocerse el momento preciso en el que se produjo la misma.

En cuanto a la excreción urinaria diaria, la evolución es más rápida y presenta mayores diferencias relativas. En el caso de la Clase Y (Fig. 4), los valores excretados descienden en un 83% entre los días 1 y 14 (de 3.5 diezmilésimas a 0.6 diezmilésimas de la inhalación), mientras que en el caso de la Clase W (Fig. 8), el descenso en el mismo periodo de tiempo es del 68% (de 3 milésimas a 1 milésima del valor inhalado). Al cabo de un mes, se excretan diariamente 0.3 diezmilésimas para la Clase Y, y 6 diezmilésimas para la Clase W. Al cabo de un año, las excreciones diarias son del mismo orden de magnitud en ambos casos (1.8×10^{-5} y 1.0×10^{-5} , respectivamente). El control de contaminaciones puntuales a través del uranio excretado en orina exige, por tanto, un conocimiento exacto del momento en que se ha producido y de la Clase del contaminante. Incluso en el caso más favorable de material de la Clase W, parece factible sólo después de cortos periodos de tiempo de haberse producido la incorporación, dada la pequeña proporción de uranio que se excreta después de periodos prolongados.

Incorporación Continua

En el supuesto de una incorporación continua a ritmo constante, la diferencia en la evolución de la retención pulmonar que presentan los dos tipos de solubilidad, va aumentando a lo largo del tiempo (Figs. 5 y 9). Tras una primera fase de unas dos semanas, en la que no existe diferencia apreciable entre ambos casos (aumentando la fracción retenida entre 2.3 y 22.5 veces la incorporación diaria para la Clase Y, y entre 2.3 y 21.0 veces para la Clase W), a partir de ese momento va creciendo

retención pulmonar más rápidamente en el caso de la Clase Y que en el de la Clase W, alcanzándose al cabo de 1 mes 4.6 veces la incorporación diaria para la Clase Y y 3.9 veces para la Clase W. Al cabo de los 3 meses, los valores respectivos son de 13 y de 8 veces el valor de la incorporación diaria.

En el caso de la Clase Y, la retención pulmonar sigue aumentando progresivamente, alcanzándose valores de 46 veces la incorporación diaria al cabo de 1 año y de 160 veces a los 10 años. Por el contrario, en el caso de la Clase W, la retención en el pulmón se estabiliza a partir de 1 año en un valor de unas 12 veces la incorporación diaria. Las medidas directas en el CRÇ parecen adecuadas en este tipo de incorporación, para garantizar que en una actividad continuada a largo plazo, las cargas pulmonares se mantienen por debajo de ciertos valores.

En lo que se refiere a la excreción urinaria, la misma aumenta a lo largo del tiempo, ligeramente más para la Clase Y (Fig. 6) que para la Clase W (Fig. 10). En el primer caso, la proporción de la incorporación diaria inhalada que se excreta varía entre las 3 milésimas a los 7 días hasta 1 centésima al cabo de 1 año, mientras que en el caso de la Clase W, se pasa de 5 centésimas a 12 centésimas en el mismo periodo de tiempo. Para la Clase Y, la excreción diaria sigue aumentando al menos durante un periodo de 20 años. En el caso de la Clase W, el valor se estabiliza en la centésima parte de la inhalación diaria a partir de 1 año del comienzo de la incorporación.

4.2.- Retenciones Pulmonares y Excreciones en Orina por LIA Incorporado.

Para el seguimiento de las contaminaciones que puedan producirse, interesa establecer las relaciones existentes entre las incorporaciones reales, expresadas como porcentaje del LIA aplicable, y las correspondientes excreciones en orina y retenciones pulmonares que, en definitiva, son los parámetros medibles con las técnicas de dosimetría interna.

Los límites de incorporación anual están condicionados por los siguientes factores:

- Solubilidad del Contaminante. En este estudio parece lógico aplicar una solubilidad Y. No obstante, y por las causas expuestas con anterioridad, se analiza también el caso de solubilidad W.
- Composición Isotópica del Material. En la Tabla 1 aparece un ejemplo de composiciones isotópicas reales. Para el estudio que se sigue se han elegido dos composiciones tipo correspondientes a los enriquecimientos en U-235 del 0.71% y del 3%, sin perder de vista que el 3% es el valor que mejor representa el tipo medio de tareas desarrolladas.
- Tamaño Medio de las Partículas Inhaladas "AMAD". El ICRP recomienda la hipótesis de AMAD = 1 μm en el caso de que sea desconocido el tamaño real de las partículas. No obstante, en gran parte de los trabajos bibliográficos consultados (4,7,8,9), relativos a instalaciones análogas, se tiende a concluir que los diámetros aerodinámicos medios de los aerosoles van de 3 a 8 μm .

En la Tabla 7a se indican para las clases Y y W, distintos AMAD y grados de enriquecimiento considerados, los límites de incorporación anual en bequerelios y microgramos. En la Tabla 7b se representan los CDA correspondientes también en microgramos y bequerelios.

La hipótesis de incorporación continua representa, en primera aproximación, aquellas tareas que se realizan bajo una contaminación ambiental constante. Una inhalación continua que llegue a producir una incorporación equivalente a un cierto porcentaje del LIA, sería representativa de tareas realizadas bajo un porcentaje análogo de la CDA. Estas tareas, mantenidas a lo largo de un año, supondrían una incorporación real de dicho porcentaje del LIA.

Para relacionar las excreciones y retenciones con los periodos y métodos idóneos de control, han de tenerse en cuenta los límites inferiores de detección de las técnicas de medida utilizadas.

Al tratar de las contaminaciones producidas por uranio, especialmente en el caso del uranio natural, es práctica frecuente utilizar unidades de masa en vez de las de actividad. Por otra parte, si se emplea la fluorimetría como técnica para la determinación de la cantidad de uranio excretado en orina, la magnitud que se mide directamente es la concentración expresada en masa por unidad de volumen. Por todo ello, en lo que sigue se ha optado por expresar todos los resultados en microgramos. Evidentemente, ello exige tener muy presente el grado de enriquecimiento o, más estrictamente, la composición isotópica del material que se está manejando.

Para la medida por fluorimetría del uranio excretado, se han publicado valores para los límites inferiores de detección entre 0.2 y 2 $\mu\text{g/l}$ y aún mayores, lo que

significaría la detección entre 0.3 y 2.8 $\mu\text{g}/\text{día}$ excretados (suponiendo una excreción diaria de 1.4 litros)

Por otra parte, para las determinaciones directas de carga pulmonar, se han publicado límites de detección entre 3000 y 7000 μg para uranio natural y tiempos de recuento razonables. Para mayores enriquecimientos, los límites son correspondientemente más bajos. Los límites de detección de las medidas reales están condicionados, además, por la constitución física del individuo.

4.2.1.- Incorporación Unica

CASO 1. Incorporación Unica de 1 LIA de Uranio Clase Y

Los valores de las excreciones urinarias ($\mu\text{g}/\text{día}$) y de las retenciones pulmonares (μg), correspondientes a una incorporación única de magnitud igual a 1 LIA, se indican en las Tablas 8 y 9 para uranio enriquecido al 3% y para uranio natural, respectivamente, y considerando siempre los distintos AMAD. Las Figuras 11 y 12 representan las excreciones diarias para uranio enriquecido al 3% y para uranio natural, respectivamente. En la Fig. 13 se recoge la evolución de la retención pulmonar, en función del tiempo, expresada como microgramos de uranio retenidos, para los dos tipos de uranio: natural y enriquecido al 3%. No debe olvidarse que los microgramos de uranio que se retienen en pulmón, por la incorporación de un determinado porcentaje del LIA, no dependen del tamaño de las partículas inhaladas, AMAD, ya que el efecto de éste se ha tomado en consideración al determinar los propios valores de los LIA.

-Enriquecimiento 3 %

La primera evidencia que se obtiene de la Tabla 8, es la fuerte influencia del AMAD sobre la excreción, que puede variar en más de un orden de magnitud entre los dos valores extremos considerados.

Suponiendo un control de orina al cabo de un mes de producirse la inhalación de 1 LIA, la excreción correspondiente será:

0.4 $\mu\text{g}/\text{día}$	0.3 $\mu\text{g}/\text{l}$	para un AMAD 0.3 μm		
0.7 "	0.5 "		" 1 "	
1.3 "	0.9 "		" 3 "	
3.3 "	2.4 "		" 8 "	
4.4 "	3.1 "		" 10 "	

En cualquier caso, el control de orina no parece ser un procedimiento muy recomendable para la detección de una contaminación esporádica de Clase Y, suponiendo una técnica fluorimétrica con los límites de detección ya comentados. Con un límite de detección de 1 $\mu\text{g}/\text{l}$ no podrían detectarse, al cabo de un mes, inhalaciones de aerosoles con AMAD = 1 μm , inferiores a dos veces el valor del LIA.

En cuanto a las medidas directas, la retención pulmonar correspondiente a 1 LIA es la misma para cualquier tamaño de partículas. Si se supone para este enriquecimiento del 3% un límite de detección del sistema de control de la actividad pulmonar (CRC) de 2300 μg , sería detectable una incorporación única de 1 LIA prácticamente hasta después de un año de haberse producido. En ningún caso serían detectables incorporaciones inferiores al 70 % del LIA.

-Uranio Natural

Con esta composición isotópica, el control de orina es más favorable, puesto que los microgramos excretados (Tabla 9 y Fig. 12), prácticamente se multiplican por 3 respecto al caso anterior, con lo que a los 30 días para una incorporación de 1 LIA de un aerosol de AMAD = 1 μm , se excretarán 1.5 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Respecto a las medidas directas, la situación queda prácticamente invariable. Bajo el supuesto de un límite inferior de detección de 7000 μg , los porcentajes del LIA que resultan mínimamente detectables son equivalentes a los hallados para el caso de un enriquecimiento del 3%.

CASO 2. Incorporación Unica de 1 LIA de Uranio Clase W

Los resultados equivalentes a los obtenidos para Clase Y, se recogen en las Tablas 10 y 11 y en las Figuras 14, 15 y 16.

-Enriquecimiento 3 %

En este caso la excreción correspondiente a una incorporación única de 1 LIA (Tabla 10 y Fig. 14) es fácilmente detectable. Para un AMAD de 1 μm , a los 30 días se excretarán 241 μg , lo que permite controlar con relativa facilidad incorporaciones de hasta la centésima parte de 1 LIA. Un LIA podría ser detectable incluso al cabo de 1 año.

La retención pulmonar (Tabla 10 y Fig. 16) resulta ser, para este tipo de solubilidad, bastante más elevada para

periodos cortos, en función de que los ALI también lo son. Así, al cabo de dos semanas serían detectables incorporaciones de hasta un 5 % del LIA y a los 90 días podría detectarse una incorporación del 10 % del LIA. Sin embargo, después de 365 días no podrían detectarse incorporaciones inferiores a cuatro veces 1 LIA.

En resumen, en comparación con la solubilidad de Clase Y, para la Clase W mejoran mucho las posibilidades de detección por bioeliminación. Las medidas directas en CRC sólo son eficaces si la fecha de control es inferior a seis meses a partir de la incorporación.

Uranio Natural

La detección de uranio natural de Clase W por bioeliminación a través de la orina (Tabla 11 y Fig. 15), es un método óptimo de control. Para un AMAD de 1 μm , la excreción correspondiente a 1 LIA inhalado 30 días antes, será de 734 $\mu\text{g}/\text{día}$.

La posibilidad de detección en pulmón resulta prácticamente igual que en el caso anterior de material con un grado de enriquecimiento del 3%, y los controles pulmonares, análogamente, sólo son eficaces después de periodos relativamente cortos de haberse producido la inhalación (no superiores a seis meses).

4.2.2.- Incorporación Continua

Esta hipótesis sobre el modo de incorporación es, sin duda, la que mejor se ajusta a las condiciones de trabajo

rutinarias. Además, los resultados pueden relacionarse directamente con las concentraciones de actividad en el aire, es decir, con las CDA.

Caso 1. Incorporación Continua de 1 LIA/año de Uranio Clase Y

Los resultados de la aplicación del modelo, es decir las retenciones pulmonares y excreciones urinarias diarias en función del tiempo, se recogen en las Tablas 12 y 13 y en las Figuras 17, 18 y 19.

-Enriquecimiento 3 %

En la Tabla 12 aparecen las excreciones urinarias diarias y las retenciones pulmonares correspondientes a una inhalación constante equivalente a la incorporación anual de 1 LIA. La Fig. 17 recoge la excreción urinaria en microgramos/día para los diferentes tamaños de partículas considerados. En la Fig. 19 se representa la evolución en función del tiempo de la retención pulmonar en microgramos para este enriquecimiento y para uranio natural

Puede observarse que, al igual que bajo la hipótesis de incorporación única, la detección por bioeliminación para esta clase de solubilidad y enriquecimiento es problemática (Tabla 12 y Fig. 17), fundamentalmente para pequeños tamaños de partículas. Como ejemplo puede verse que, tras un año de inhalar un aerosol de AMAD = 1 μm , es decir tras una incorporación real de 1 LIA, la excreción diaria sería de 0.6 μg , valor difícilmente detectable según se ha señalado reiteradamente.

De acuerdo con los datos anteriores, la Tabla 14 recoge la mínima incorporación diaria detectable por bioeliminación, expresada como porcentaje de la CDA que debería

estar presente en el ambiente (columna cuarta), durante los periodos de tiempo considerados (columna tercera), suponiendo unos límites de detección arbitrarios para los procedimientos de medida utilizados (primera columna). También aparecen en el mismo cuadro las incorporaciones realmente producidas (columna quinta). Según esta tabla, para un aerosol de un tamaño medio de partículas de $1 \mu\text{m}$, y con un límite de detección de $1 \mu\text{g}/\text{l}$, haría falta una concentración ambiental del 50% de la CDA para que al cabo de un mes la excreción en orina fuese mínimamente detectable.

En conclusión, con un límite de detección igual o superior a $1 \mu\text{g}/\text{l}$, no es posible la detección de una incorporación continua equivalente a 1 LIA/año, ni siquiera después de un año de inhalación continuada, para diámetros medios de partículas iguales o inferiores a $3 \mu\text{m}$. La capacidad de detección mejora si se supone que la incorporación continua se ha producido a lo largo de periodos de tiempo más largos.

Con medidas directas de la contaminación pulmonar (Fig. 19), si se supone un límite de detección de $2300 \mu\text{g}$ de uranio en pulmón, al cabo de un año puede detectarse una contaminación continua equivalente a un 85 % del LIA, o lo que es igual, una tarea realizada bajo una contaminación ambiental equivalente al 85 % de la CDA, que se prolongue a lo largo de todo un año, dará lugar a una carga pulmonar mínimamente detectable.

Si se supone un periodo de actividad continuada de dos años, la incorporación mínimamente detectable será equivalente a un 50 % del LIA por año. Es decir, una actividad continuada a lo largo de dos años, bajo una contaminación ambiental del 50% de la CDA, dará lugar a una carga pulmonar mínimamente detectable al cabo de dicho tiempo. Ni tan siquiera al cabo de 30 años de actividad continuada, podrían detectarse incorporaciones anuales inferiores a un 20 % del LIA.

Uranio Natural

La Tabla 13 recoge las excreciones urinarias y las retenciones pulmonares correspondientes a una inhalación diaria constante, equivalente a una incorporación anual de 1 LIA. En comparación con los resultados para un 3 % de enriquecimiento, mejora la capacidad de control por bioeliminación. Los porcentajes de LIA mínimamente detectables se reducen en un factor 3 para esta técnica de control e iguales límites de detección.

La capacidad de detección de uranio en pulmón es prácticamente igual al caso anterior, de un grado de enriquecimiento del 3%.

CASO 2. Incorporación Continua de 1 LIA/año de Uranio Clase W

Las posibilidades de control de la contaminación interna mejoran sensiblemente respecto a la Clase Y, sobre todo para el control por bioeliminación.

Las Tablas 15 y 16 recogen, para enriquecimiento 3% y uranio natural, respectivamente, las excreciones en orina y las retenciones pulmonares correspondientes a la incorporación continua de 1 LIA/año. Las Figuras 20, 21 y 22 representan estos mismos resultados.

-Enriquecimiento 3 %

Con un sólo ejemplo puede ponerse de manifiesto, con

toda evidencia, cómo este tipo de contaminación puede controlarse mucho más fácilmente que una de Clase Y. Al cabo de 30 días de actividad continuada, la excreción correspondiente a una contaminación de un determinado porcentaje de la CDA, con un aerosol de $AMAD = 1 \mu m$, es casi 300 veces mayor que si el contaminante fuese de Clase Y (véanse Tablas 12 y 15). Ello significa que, si en aquel caso, para un determinado límite de detección sólo podía detectarse una incorporación continua equivalente a 5 veces 1 LIA/año (vease Tabla 14), en este caso sería detectable una equivalente al 2% del LIA/año, es decir, podrían controlarse por esta técnica, ya al cabo de un mes, tareas realizadas con niveles de contaminación ambiental equivalentes al 2% de la CDA.

Las retenciones pulmonares son también ligeramente superiores durante los primeros años de incorporación. Así, la retención pulmonar al cabo de un año sería un 38% más elevada que la correspondiente a Clase Y, para una incorporación continua, en ambos casos, de un determinado porcentaje de los LIA correspondientes.

-Uranio Natural

Los resultados recogidos en la Tabla 16 y en las Figs. 21 y 22, reflejan una respuesta todavía mejor para los controles por bioeliminación y resultados análogos para las medidas directas. Podrían efectuarse comentarios similares a los realizados para un enriquecimiento del 3%, que no se repiten aquí por resultar excesivamente reiterativos.

4.2.3.- Incorporaciones Máximas Anuales No Detectables.

En la Tabla 17 se indican las incorporaciones máximas que anualmente podrían pasar inadvertidas efectuando controles mensuales de bioeliminación con diferentes límites de detección, y controles anuales de radiactividad corporal capaces de detectar la incorporación de 1 LIA cualquiera que haya sido la secuencia de inhalación a lo largo del tiempo.

Puede advertirse que para un aerosol de Clase Y y de AMAD = 1 μm , cualquiera que sea el enriquecimiento, las incorporaciones podrían llegar el primer año al 100 % del LIA para límites de detección de 1.5 y 6 $\mu\text{g}/\text{l}$. Fácilmente puede deducirse que esto ocurriría también para límites de detección iguales o superiores a 0.3 $\mu\text{g}/\text{l}$ si el enriquecimiento es del 3%, y para 0.02 $\mu\text{g}/\text{l}$ si el uranio es natural. Por tanto, parece poco eficaz el seguimiento mensual rutinario, por análisis fluorimétrico del uranio excretado en orina, de todas aquellas personas expuestas a incorporación de uranio de Clase Y, resultando más adecuado el seguimiento de los niveles de contaminación ambiental y, en función de los valores registrados, un control periódico de radiactividad corporal, como mínimo anual.

Por el contrario, si la contaminación fuese de Clase W, el seguimiento mensual del uranio excretado, como puede apreciarse también con facilidad en la tabla citada con anterioridad, conduciría en todos los casos a resultados óptimos, haciendo superfluo el control de radiactividad corporal, salvo para confirmar excreciones o, si se desea, estudiar sobre algunos casos de mayor interés la solubilidad real del contaminante.

5.-CONCLUSIONES

Para establecer un programa de controles de dosimetría interna, que ofrezca la necesaria fiabilidad en cuanto a la obtención de resultados significativos, es esencial el conocimiento previo de la clase de solubilidad del contaminante potencial y del tamaño de partículas del mismo, puesto que, en función de estos dos parámetros, los Límites de Incorporación Anual aplicables pueden llegar a diferir en un factor superior a ocho.

Igualmente es preciso conocer bien los límites inferiores de actividad detectable por las técnicas de determinación experimental a emplear (CRC y bioeliminación), tratando de reducir al máximo posible dichos umbrales. De los mínimos que se alcancen dependerá, en buena medida, la posibilidad de que no pasen desapercibidos ciertos valores significativos de contaminación.

En el caso de las medidas directas por CRC, la optimización incluye factores como el aumento razonable del tiempo de contaje, una calibración cuidadosa del instrumento, la consecución de niveles de fondo suficientemente reducidos y la aplicación de los factores de corrección adecuados en función del espesor de tejido.

En el caso de las técnicas de bioeliminación, para la determinación del uranio excretado en orina, la situación es radicalmente diferente según cual sea la clase de solubilidad del contaminante. Así como en el caso de material de Clase W es posible garantizar la detección de incorporaciones equivalentes a porcentajes reducidos de los LIA, en el caso de material de Clase Y es preciso bajar hasta un límite inferior de detección de $1\mu\text{g}/\text{l}$, al menos, para poder detectar incorporaciones equivalentes

a 1 LIA. Por ello, este procedimiento de control, que es adecuado para el seguimiento de contaminaciones producidas por material de Clase W, resulta inoperante en el caso de que el contaminante potencial sea de la Clase Y.

A pesar de la influencia del tamaño de partículas sobre las fracciones del contaminante inhalado que se depositan en pulmón, la carga pulmonar correspondiente a la incorporación de un determinado porcentaje del LIA es independiente de dicho tamaño, por lo que los controles pulmonares mediante CRC no se ven afectados por tal parámetro.

Para uranio de Clase Y, con enriquecimiento del 3%, la aplicación del modelo muestra que los controles de uranio excretado en orina no son significativos para la evaluación de las posibles contaminaciones producidas. Por otra parte, un control anual negativo de la carga pulmonar, mediante CRC, sólo ofrece la garantía de que no se han superado los límites de incorporación anual.

Por tanto, el único método eficaz para el control de las posibles contaminaciones personales, tratándose de material de Clase Y, es establecer un seguimiento adecuado de las concentraciones de actividad en aire, en los puestos de trabajo, y un control ajustado de la permanencia en los mismos. Es decir, la estimación de dosis ha de hacerse a partir de los datos proporcionados por la vigilancia radiológica de área.

Para uranio de Clase W, por el contrario, la técnica de bioeliminación, mediante un seguimiento mensual del uranio excretado en orina, conduce a resultados óptimos. Las medidas directas de retención pulmonar en CRC son adecuadas para valorar incorporaciones puntuales a muy corto plazo. La posibilidad de controlar incorporaciones continuas por esta técnica mejora respecto a la Clase Y en un 40%.

6.- REFERENCIAS

- (1).- International Commission on Radiological Protection. "Radionuclides Transformations", ICRP publication 38 , Oxford, Pergamon Press, 1983.

- (2).- Frost, S.E.; Neill, W. "Internal dosimetry in the canadian uranium industry". International symposium on the assessment of radioactive contamination in man. IAEA-SM-276/35. Paris. 1984.

- (3).- Spitz, H.B.; Simpson, J.C.; Aldridge, T.L. "Analisis of uranium urinalysis and "in vivo" measurement results from eleven participants uranium mills" .NUREG/CR-2955. 1984.

- (4).- Campbell, E.E.; McInroy, J.F.; Schultc, H.F. "Uranium in the tissue of occupationally exposed workers" .Conference on occupational health experience with uranium. LA-UR-75-1610. 1975.

- (5).- Gautier, M.A.; "Manual of analytical methods for radiobioassay". LA-9763-M. Los Alamos National Laboratory. 1983.

- (6).- International Commission on Radiological Protection. "Limits for intakes of radionuclides by workes ". ICRP publication 30, part 1, Oxford, Pergamon Press, 1979.

- (7).- Avadhanula, M.R.; Chatterjee, R.M.; Healey, G.J.; Horvath, F.J.; Measures, M.P.; Stocker, H.; Pomroy, C.T.; Johnson, J.R.; Dunford, D.W. "Canadian uranium fuel fabrication study:
I. Intake, Retention and Excretion monitoring results
II. Comparison of results to metabolic models".
International symposium on the assessment of radioactive contamination in man. IAEA-SM-276/51. Paris. 1984.
- (8).- Thind, K.S. "Determination of particle size for airborne UO_2 dust at a fuel fabrication work station and its implication on the derivation and use of ICRP publication 30 derived air concentration values". Health Physics vol. 51 N° 1. pp 97-105. 1986.
- (9).- Schieferdecker, H.; Dilger, H.; Doerfel, H.; Rudolph, W.; Anton, R. "Inhalation of uranium aerosols from UO_2 fuel element fabrication". Health Physics vol. 48 N° 1. pp 29-48. 1985.
- (10).- Pomroy, C.; Noel, L. "Retention of uranium thorax burdens in fuel fabricators". Health Physics vol. 41. pp 393-400. 1981.
- (11).- U.S. Atomic Energy Commission. "Applications of bioassay for uranium". Regulatory guide 8.11. 1974.
- (12).- International Commission on Radiological Protection. "Report of the task group on reference man", ICRP publication 23, Oxford, Pergamon Press, 1975.

- (13).- Birchall, A. "A microcomputer algorithm for solving compartmental models involving radionuclide transformations". Health Physics vol. 50 № 3. pp 389-397. 1986.
- (14).- Skrabble, K.W.; Chabot, G.E.; French, C.S.; Wrenn, M.E.; Lipsztein, J.; Lo Sasso, T.; Durbin, P.W. "Blood-organ transfer kinetics". Health Physics vol. 39. pp 193-209. 1979.
- (15).- Keverling Buisman, A.S. "From body burden to effective dose equivalent. A compilation of data for the evaluation of whole body counter measurements". ECN-116. Netherlands Energy Research Foundation. 1982.
- (16).- International Commission on Radiological Protection. "Limits for intakes of radionuclides by workers", ICRP publication 30 supplement to part 1, Oxford, Pergamon Press, 1979.

BIBLIOGRAFIA GENERAL

- (17).- Kruger, P.J.; Feather, J.I. "In vivo measurement of uranium in the human chest under high background conditions". PEL-275, Atomic Energy Board, Pelindaba, Pretoria, 1980.

- (18).- Johnson, J.R. "Annual limits on intake, organ burdens, and excretion rates for occupational exposure to uranium". AECL-6478. 1980.
- (19).- David Maillie, H. "The calculation of total transformations in organs following the inhalation of radioactive aerosols of different sizes". Health Physics vol. 46 N^o 3. pp 587-597. 1984.
- (20).- King, W.C. "Bioassay at uranium mills: a discussion of Nuclear Regulatory Commission regulatory guide 8.22". UCID-18027. Lawrence Livermore Laboratory. 1979.
- (21).- Cristy, M. "Calculation of annual limits of intake of radionuclides by workers: Significance of breast as an explicitly represented tissue". Health Physics vol. 46 N^o 2 . pp 283-291. 1984.
- (22).- Fisher, D.R.; Jackson, P.O.; Brodacynsky, G.G.; Scherpelz, R.I. "Measurements of ^{234}U , ^{238}U and ^{230}Th in excreta of uranium-mill crushermen". NUREG/CR-2503. 1982.
- (23).- Jackson, P.O.; Thomas, C.W. "An investigation of the degree of equilibrium of the long-lived ^{238}U decay-chain members in airborne and bulk uranium-ore dust". NUREG/CR-1895. 1982.
- (24).- Swaja, R.E.; Sims, C.S.; Roecklein, A.K. "Occupational radiological monitoring at uranium mills". NUREG/CR-3598.

1983.

- (25).- International Commission on Radiological Protection. "Recommendations of the ICRP". ICRP publication 26, Oxford, Pergamon Press, 1977.
- (26).- Piechowski, J.; Menoux, B. "Rétention et excrétion des Radionuclides, après incorporation par inhalation chez l'homme adulte". Raport CEA-R-5266, 1984.
- (27).- Garcia Montano, E. "Aplicación y desarrollo de modelos compartimentales para el estudio de la dispersión de radionúclidos en el medio ambiente y en el cuerpo humano". Tesis doctoral, Sevilla, 1987.

APENDICE 1.- TABLAS

TABLA 1.- Composiciones isotópicas de los óxidos de uranio utilizados en diversos procesos de fabricación, con distintos grados de enriquecimiento.

Enriquecimiento	U-234	U-235	U-236	U-238
0.71	0.005	0.715	0.000	99.279
1.30	0.010	1.311	0.010	98.670
1.60	0.012	1.610	0.003	98.376
1.70	0.013	1.697	0.003	98.287
2.00	0.015	2.015	0.001	97.867
2.10	0.016	2.104	0.010	97.870
2.40	0.019	2.408	0.005	97.570
3.00	0.026	3.002	0.006	96.966
3.25	0.026	3.242	0.013	96.729
3.30	0.027	3.297	0.017	96.669
3.38	0.028	3.380	0.000	96.592
3.60	0.029	3.615	0.011	96.348
3.80	0.030	3.812	0.002	96.157

TABLA 2.- Energías y rendimientos de las distintas emisiones de isótopos de uranio.

U-234 (Th-230)		U-235 (Th-231)		U-236 (Th-232)		U-238 (Th-234)	
Y_i (Bq.s ⁻¹)	E(i) (MeV)	Y_i (Bq.s ⁻¹)	E(i) (MeV)	Y_i (Bq.s ⁻¹)	E(i) (MeV)	Y_i (Bq.s ⁻¹)	E(i) (MeV)
EMISION α							
.24 .723 (.23) (.76)	4.73 4.77 (4.62) (4.68)	.057 .0456 .176 .56 .0435 .0518	4.22 4.33 4.36 4.39 4.56 4.59	.259 (.77) (.23)	4.47 (3.95) (3.95)	.229	4.15
EMISION γ							
.0012 .000397 (.00375)	.0532 .121 (.0677)	.105 .54 (.148) (.065)	.144 .186 (.0256) (.084)	.00077 (.0019)	.0494 (.059)	.000697 (.027)	.0495 (.092)
RAYOS X							
.0356 .0544 .0125 (.0263) (.043)	.0129 .0161 .0191 (.012) (.15)	.0552 .0338 .0128 .0982 .13 (.28) (.34) (.077)	.0933 .0899 .105 .0129 .016 (.013) (.016) (.019)	.0508 .0336 (.042)	.016 .0129 (.015)	.0447 .0296 (.0366) (.047)	.0161 .0129 (.013) (.016)

TABLA 3a.- Fraccion, D, de la incorporación que se deposita inicialmente en las regiones nasofaríngea y pulmonar para diferentes tamaños de partículas.

AMAD (micras)	0.3	1.0	3.0	8.0	10.0
D _{NP}	.075	.3	.57	.825	.87
D _P	.45	.25	.14	.065	.05

TABLA 3b.- Distribución inicial (F_i) de contaminante entre los distintos compartimentosⁱ de cada región. Periodo biológico de eliminación desde cada uno de ellos (T_{1/2})

REGION	COMPARTIMENTO	CLASE W		CLASE Y	
		F _i	T _{1/2} (días)	F _i	T _{1/2} (días)
NP	A	0.1	0.01	0.01	0.99
	B	0.9	0.4	0.99	0.4
TB	C	0.5	0.01	0.01	0.01
	D	0.5	0.2	0.99	0.2
P	E	0.15	50	0.05	500
	F	0.4	50	0.4	1
	G	0.4	50	0.4	500
	H	0.05	50	0.135	500
	I	0	--	0.015	500
Nódulos	J	---	50	---	1000
Linfáticos	K	---	--	---	---

TABLA 3c.- Velocidad de salida, K_i , desde cada uno de los compartimentos del sistema gastrointestinal.

COMPARTIMENTO		VEL. TRANSF.
SALIDA	LLEGADA	(dias-1)
L	M	24
M	N	6
M	T	$f_1 6 / (1 - f_1)$
N	P	1.8
P	HECES	1.0

TABLA 4a.- Resultados de la aplicación del modelo a la incorporación de 1 bequerelio de Uranio Clase Y

URANIO CLASE Y									
ISOTOPO	ACTIVIDAD ESPECIFICA (Bq/ g)	CONSTANTE DESINTEGRACION (s ⁻¹)	ENERGIA ESPECIFICA (SSE) (MeV)	AMAD (micras)	Nº TRANS. EN 50 AÑOS PULMON (Us)	DOSIS INTEGRADA PULMON (Sv)	DOSIS INTEGRADA EFECTIVA (Sv)	LIA (Bq)	CDA 2000 h/año (Bq/m ³)
U-234	226.8	.1297 10 ⁻¹²	9.7 10 ⁻²	0.3	0.3465 10 ⁸	5.38 10 ⁻⁴	6.46 10 ⁻⁵	774	0.32
				1.0	0.1925 10 ⁸	2.99 10 ⁻⁴	3.58 10 ⁻⁵	1396	0.58
				3.0	0.1078 10 ⁸	1.67 10 ⁻⁴	2.01 10 ⁻⁵	2487	1.03
				8.0	0.8008 10 ⁷	7.77 10 ⁻⁵	9.32 10 ⁻⁶	5588	2.23
				10.0	0.3850 10 ⁷	5.98 10 ⁻⁵	7.17 10 ⁻⁶	6973	2.90
U-235	0.079	.45 10 ⁻¹⁶	8.9 10 ⁻²	0.3	0.3465 10 ⁸	4.94 10 ⁻⁴	5.92 10 ⁻⁵	844	0.35
				1.0	0.1925 10 ⁸	2.74 10 ⁻⁴	3.29 10 ⁻⁵	1519	0.63
				3.0	0.1078 10 ⁸	1.54 10 ⁻⁴	1.84 10 ⁻⁵	2717	1.13
				8.0	0.5006 10 ⁷	7.13 10 ⁻⁵	8.55 10 ⁻⁶	5848	2.43
				10.0	0.3850 10 ⁷	5.48 10 ⁻⁵	6.57 10 ⁻⁶	7610	3.17
U-236	2.2903	.135 10 ⁻¹⁴	9.2 10 ⁻²	0.3	0.3465 10 ⁸	5.10 10 ⁻⁴	6.12 10 ⁻⁵	817	0.34
				1.0	0.1925 10 ⁸	2.83 10 ⁻⁴	3.40 10 ⁻⁵	1470	0.61
				3.0	0.1078 10 ⁸	1.58 10 ⁻⁴	1.90 10 ⁻⁵	2631	1.12
				8.0	0.5006 10 ⁷	7.37 10 ⁻⁵	8.84 10 ⁻⁶	5656	2.35
				10.0	0.3850 10 ⁷	5.67 10 ⁻⁵	6.80 10 ⁻⁶	7353	3.06
U-238	0.0123	.7097 10 ⁻¹⁷	8.5 10 ⁻²	0.3	0.3465 10 ⁸	4.71 10 ⁻⁴	5.65 10 ⁻⁵	825	0.36
				1.0	0.1925 10 ⁸	2.62 10 ⁻⁴	3.14 10 ⁻⁵	1591	0.66
				3.0	0.1078 10 ⁸	1.46 10 ⁻⁴	1.76 10 ⁻⁵	2841	1.18
				8.0	0.5006 10 ⁷	6.81 10 ⁻⁵	8.17 10 ⁻⁶	6120	2.55
				10.0	0.3850 10 ⁷	5.24 10 ⁻⁵	6.28 10 ⁻⁶	7962	3.32

TABLA 4b.- Resultados de la aplicación del modelo a la incorporación de 1 bequerelio de Uranio Clase W

URANIO CLASE W

ISOTOPO	ACTIVIDAD ESPECIFICA (Bq/ g)	CONSTANTE DESINTEGRACION (s ⁻¹)	ENERGIA ESPECIFICA (SEE) (MeV)	AMAD (micras)	Nº TRANS. EN 50 AÑOS PULMON (Us)	DOSIS INTEGRADA PULMON (Sv)	DOSIS INTEGRADA EFECTIVA (Sv)	LIA (Bq)	CDA 2000 h/año (Bq/m ³)
U-234	226.8	.1297 10 ⁻¹²	9.7 10 ⁻²	0.3	0.1857 10 ⁷	2.88 10 ⁻⁵	3.46 10 ⁻⁶	14455.	6.02
				1.0	0.1032 10 ⁷	1.60 10 ⁻⁵	1.92 10 ⁻⁶	26020.	10.84
				3.0	0.5778 10 ⁶	8.97 10 ⁻⁶	1.07 10 ⁻⁶	46464.	19.36
				8.0	0.2683 10 ⁶	4.16 10 ⁻⁶	4.99 10 ⁻⁷	100077	41.69
				10.0	0.2063 10 ⁶	3.20 10 ⁻⁶	3.84 10 ⁻⁷	130100.	54.21
U-235	0.079	.45 10 ⁻¹⁶	8.9 10 ⁻²	0.3	0.1857 10 ⁷	2.64 10 ⁻⁵	3.17 10 ⁻⁶	15755	6.56
				1.0	0.1032 10 ⁷	1.47 10 ⁻⁵	1.76 10 ⁻⁶	28359.	11.81
				3.0	0.5778 10 ⁶	8.23 10 ⁻⁶	9.87 10 ⁻⁷	50641	21.10
				8.0	0.2683 10 ⁶	3.82 10 ⁻⁶	4.58 10 ⁻⁷	109073	45.45
				10.0	0.2063 10 ⁶	2.94 10 ⁻⁶	3.53 10 ⁻⁷	141795	59.08
U-236	2.2903	.135 10 ⁻¹⁴	9.2 10 ⁻²	0.3	0.1857 10 ⁷	2.74 10 ⁻⁵	3.28 10 ⁻⁶	15241	6.35
				1.0	0.1032 10 ⁷	1.52 10 ⁻⁵	1.82 10 ⁻⁶	27434	11.43
				3.0	0.5778 10 ⁷	8.51 10 ⁻⁶	1.02 10 ⁻⁶	48989	20.41
				8.0	0.2683 10 ⁶	3.95 10 ⁻⁶	4.74 10 ⁻⁷	105516	43.96
				10.0	0.2063 10 ⁶	3.04 10 ⁻⁶	3.65 10 ⁻⁷	137171	57.15
U-238	0.0123	.7097 10 ⁻¹⁷	8.5 10 ⁻²	0.3	0.1857 10 ⁷	2.53 10 ⁻⁵	3.03 10 ⁻⁶	16496	6.87
				1.0	0.1032 10 ⁷	1.40 10 ⁻⁵	1.68 10 ⁻⁶	29693	12.37
				3.0	0.5778 10 ⁷	7.86 10 ⁻⁶	9.43 10 ⁻⁷	53024	22.09
				8.0	0.2683 10 ⁶	3.65 10 ⁻⁶	4.37 10 ⁻⁷	114206	47.58
				10.0	0.2063 10 ⁶	2.81 10 ⁻⁶	3.37 10 ⁻⁷	148467	61.86

TABLA 5.- Retención pulmonar, retención corporal y excreción urinaria diaria bajo los supuestos de incorporación única de 1 Bq y de incorporación continua de 1 Bq/día, para Uranio Clase Y.

URANIO (CLASE Y)

AIAAD = 0.30 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR (BQ)		CARGA CORPORAL (BQ)		EXCRECION URINARIA (BQ/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC. CONT.
1	0.381E+00	0.419E+00	0.424E+00	0.516E+00	0.211E-03	0.102E-02
2	0.326E+00	0.770E+00	0.339E+00	0.092E+00	0.127E-03	0.123E-02
4	0.203E+00	0.137E+01	0.206E+00	0.150E+01	0.035E-04	0.146E-02
7	0.269E+00	0.219E+01	0.271E+00	0.233E+01	0.641E-04	0.160E-02
9	0.260E+00	0.273E+01	0.269E+00	0.207E+01	0.576E-04	0.181E-02
14	0.266E+00	0.406E+01	0.267E+00	0.421E+01	0.477E-04	0.207E-02
30	0.262E+00	0.829E+01	0.263E+00	0.844E+01	0.362E-04	0.273E-02
60	0.254E+00	0.160E+02	0.254E+00	0.164E+02	0.320E-04	0.375E-02
90	0.246E+00	0.235E+02	0.246E+00	0.237E+02	0.323E-04	0.472E-02
180	0.224E+00	0.447E+02	0.225E+00	0.449E+02	0.326E-04	0.764E-02
365	0.106E+00	0.026E+02	0.107E+00	0.029E+02	0.329E-04	0.137E-01
730	0.132E+00	0.139E+03	0.132E+00	0.140E+03	0.310E-04	0.254E-01
1025	0.523E-01	0.233E+03	0.536E-01	0.234E+03	0.193E-04	0.533E-01
3650	0.173E-01	0.200E+03	0.189E-01	0.290E+03	0.643E-05	0.750E-01
7300	0.752E-02	0.326E+03	0.045E-02	0.329E+03	0.655E-06	0.041E-01
10250	0.675E-02	0.401E+03	0.695E-02	0.406E+03	0.298E-07	0.056E-01

URANIO (CLASE Y)

AMAD - 1.00 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR (DQ)		CARGA CORPORAL (DQ)		EXCRECION URINARIA (DQ/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC. CONT.
1	0.212E+00	0.233E+00	0.300E+00	0.467E+00	0.354E-03	0.230E-02
2	0.181E+00	0.420E+00	0.20E+00	0.710E+00	0.100E-03	0.274E-02
4	0.157E+00	0.761E+00	0.161E+00	0.106E+01	0.120E-03	0.307E-02
7	0.149E+00	0.122E+01	0.151E+00	0.152E+01	0.974E-04	0.342E-02
9	0.149E+00	0.152E+01	0.150E+00	0.102E+01	0.037E-04	0.361E-02
14	0.140E+00	0.225E+01	0.149E+00	0.257E+01	0.605E-04	0.390E-02
30	0.145E+00	0.400E+01	0.146E+00	0.493E+01	0.317E-04	0.467E-02
60	0.141E+00	0.090E+01	0.141E+00	0.924E+01	0.214E-04	0.543E-02
90	0.136E+00	0.130E+02	0.137E+00	0.134E+02	0.190E-04	0.603E-02
100	0.123E+00	0.240E+02	0.125E+00	0.252E+02	0.101E-04	0.760E-02
165	0.104E+00	0.450E+02	0.104E+00	0.463E+02	0.103E-04	0.111E-01
730	0.730E-01	0.777E+02	0.736E-01	0.703E+02	0.173E-04	0.176E-01
1325	0.291E-01	0.129E+03	0.290E-01	0.130E+03	0.107E-04	0.330E-01
3650	0.963E-02	0.159E+03	0.104E-01	0.161E+03	0.359E-05	0.451E-01
7300	0.410E-02	0.101E+03	0.472E-02	0.103E+03	0.376E-06	0.502E-01
10250	0.375E-02	0.223E+03	0.307E-02	0.226E+03	0.106E-07	0.511E-01

AMAD - 3.00 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR (DU)		CARGA CORPORAL (DU)		EXCRECION URINARIA (DU/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC. CONT.
1	0.110E+00	0.131E+00	0.204E+00	0.532E+00	0.552E-03	0.403E-02
2	0.101E+00	0.239E+00	0.134E+00	0.721E+00	0.202E-03	0.450E-02
4	0.080E-01	0.426E+00	0.924E-01	0.932E+00	0.194E-03	0.500E-02
7	0.039E-01	0.603E+00	0.064E-01	0.119E+01	0.146E-03	0.561E-02
9	0.033E-01	0.049E+00	0.055E-01	0.137E+01	0.124E-03	0.509E-02
14	0.020E-01	0.126E+01	0.044E-01	0.179E+01	0.044E-04	0.643E-02
30	0.014E-01	0.250E+01	0.023E-01	0.313E+01	0.349E-04	0.731E-02
60	0.709E-01	0.490E+01	0.794E-01	0.555E+01	0.166E-04	0.002E-02
90	0.765E-01	0.732E+01	0.769E-01	0.709E+01	0.123E-04	0.044E-02
100	0.690E-01	0.139E+02	0.701E-01	0.145E+02	0.103E-04	0.942E-02
165	0.500E-01	0.257E+02	0.504E-01	0.264E+02	0.101E-04	0.117E-01
730	0.409E-01	0.435E+02	0.413E-01	0.443E+02	0.969E-05	0.140E-01
1025	0.163E-01	0.724E+02	0.160E-01	0.735E+02	0.604E-05	0.236E-01
3650	0.539E-02	0.096E+02	0.591E-02	0.912E+02	0.202E-05	0.304E-01
7300	0.234E-02	0.101E+03	0.269E-02	0.103E+03	0.200E-06	0.333E-01
10250	0.210E-02	0.125E+03	0.210E-02	0.120E+03	0.149E-07	0.330E-01

URANIO (CLASE Y)

AMAD - 8.00 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR (DQ)		CARGA CORPORAL (DQ)		EXCRECION URINARIA (DQ/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC. CONT.
1	0.350E-01	0.606E-01	0.206E+00	0.621E+00	0.745E-03	0.559E-02
2	0.470E-01	0.111E+00	0.917E-01	0.703E+00	0.374E-03	0.633E-02
4	0.409E-01	0.198E+00	0.463E-01	0.901E+00	0.259E-03	0.700E-02
7	0.389E-01	0.317E+00	0.422E-01	0.103E+01	0.195E-03	0.771E-02
9	0.387E-01	0.184E+00	0.416E-01	0.111E+01	0.164E-03	0.800E-02
14	0.385E-01	0.587E+00	0.406E-01	0.132E+01	0.109E-03	0.878E-02
30	0.378E-01	0.119E+01	0.389E-01	0.196E+01	0.400E-04	0.988E-02
60	0.366E-01	0.231E+01	0.372E-01	0.309E+01	0.143E-04	0.106E-01
90	0.355E-01	0.339E+01	0.359E-01	0.419E+01	0.793E-05	0.109E-01
100	0.324E-01	0.645E+01	0.327E-01	0.728E+01	0.409E-05	0.114E-01
365	0.269E-01	0.119E+02	0.273E-01	0.120E+02	0.479E-05	0.123E-01
730	0.190E-01	0.202E+02	0.193E-01	0.212E+02	0.452E-05	0.140E-01
1825	0.756E-02	0.336E+02	0.794E-02	0.349E+02	0.282E-05	0.181E-01
3650	0.250E-02	0.416E+02	0.205E-02	0.434E+02	0.946E-06	0.213E-01
7300	0.109E-02	0.471E+02	0.131E-02	0.495E+02	0.109E-06	0.226E-01
18250	0.975E-03	0.579E+02	0.102E-02	0.609E+02	0.601E-08	0.229E-01

AMAD - 10.00 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR (UQ)		CARGA CORPORAL (UQ)		EXCRECION URINARIA (UQ/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC. CONT.
1	0.423E-01	0.466E-01	0.205E+00	0.635E+00	0.778E-03	0.506E-02
2	0.362E-01	0.055E-01	0.020E-01	0.791E+00	0.390E-03	0.664E-02
4	0.314E-01	0.152E+00	0.371E-01	0.890E+00	0.270E-03	0.734E-02
7	0.299E-01	0.244E+00	0.334E-01	0.994E+00	0.203E-03	0.807E-02
9	0.297E-01	0.303E+00	0.320E-01	0.106E+01	0.170E-03	0.846E-02
14	0.296E-01	0.452E+00	0.310E-01	0.122E+01	0.113E-03	0.919E-02
30	0.291E-01	0.921E+00	0.303E-01	0.172E+01	0.140E-04	0.103E-01
60	0.202E-01	0.170E+01	0.200E-01	0.260E+01	0.136E-04	0.110E-01
90	0.273E-01	0.261E+01	0.277E-01	0.345E+01	0.704E-05	0.113E-01
100	0.249E-01	0.496E+01	0.252E-01	0.503E+01	0.383E-05	0.117E-01
365	0.207E-01	0.917E+01	0.210E-01	0.101E+02	0.369E-05	0.124E-01
730	0.146E-01	0.155E+02	0.149E-01	0.166E+02	0.340E-05	0.137E-01
1025	0.501E-02	0.250E+02	0.616E-02	0.272E+02	0.218E-05	0.169E-01
3650	0.192E-02	0.319E+02	0.223E-02	0.338E+02	0.736E-06	0.193E-01
7300	0.036E-02	0.362E+02	0.103E-02	0.306E+02	0.030E-07	0.204E-01
18250	0.750E-03	0.446E+02	0.793E-03	0.476E+02	0.550E-08	0.207E-01

TABLA 6.- Retención pulmonar, retención corporal y excreción urinaria diaria bajo los supuestos de incorporación única de 1 Bq y de incorporación continua de 1 Bq/día, para Uranio Clase W.

URANIO (CLASE W)

AMAD = 0.30 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR(BQ)		CARGA CORPORAL(BQ)		EXCRECION URINARIA (BQ/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC.CONTINUA
1	0.378E+00	0.418E+00	0.438E+00	0.520E+00	0.257E-02	0.267E-01
2	0.320E+00	0.765E+00	0.353E+00	0.910E+00	0.194E-02	0.293E-01
4	0.271E+00	0.135E+01	0.293E+00	0.154E+01	0.171E-02	0.331E-01
7	0.249E+00	0.212E+01	0.267E+00	0.237E+01	0.147E-02	0.379E-01
9	0.242E+00	0.261E+01	0.258E+00	0.289E+01	0.135E-02	0.408E-01
14	0.226E+00	0.370E+01	0.240E+00	0.414E+01	0.114E-02	0.471E-01
30	0.185E+00	0.706E+01	0.195E+00	0.761E+01	0.814E-03	0.624E-01
60	0.126E+00	0.116E+02	0.134E+00	-0.125E+02	0.571E-03	0.029E-01
90	0.859E-01	0.148E+02	0.927E-01	0.158E+02	0.415E-03	0.977E-01
180	0.270E-01	0.194E+02	0.316E-01	0.209E+02	0.155E-03	0.122E+00
365	0.247E-02	0.213E+02	0.579E-02	0.235E+02	0.185E-04	0.134E+00
730	0.210E-04	0.214E+02	0.301E-02	0.240E+02	0.641E-06	0.135E+00
1825	0.103E-10	0.215E+02	0.255E-02	0.270E+02	0.372E-06	0.136E+00
3650	0.000E+00	0.215E+02	0.195E-02	0.319E+02	0.260E-06	0.136E+00
7300	0.000E+00	0.215E+02	0.116E-02	0.375E+02	0.149E-06	0.137E+00
18250	0.000E+00	0.215E+02	0.255E-03	0.439E+02	0.447E-07	0.130E+00

URANIO (CLASE W)

AMAD = 1.00 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR(BQ)		CARGA CORPORAL(BQ)		EXCRECION URINARIA (BQ/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC.CONTINUA
1	0.310E+00	0.232E+00	0.326E+00	0.470E+00	0.330E-02	0.391E-01
2	0.178E+00	0.425E+00	0.225E+00	0.735E+00	0.233E-02	0.424E-01
4	0.151E+00	0.748E+00	0.178E+00	0.112E+01	0.196E-02	0.468E-01
7	0.138E+00	0.118E+01	0.161E+00	0.163E+01	0.150E-02	0.523E-01
9	0.134E+00	0.145E+01	0.154E+00	0.195E+01	0.139E-02	0.554E-01
14	0.126E+00	0.210E+01	0.142E+00	0.268E+01	0.105E-02	0.616E-01
30	0.102E+00	0.372E+01	0.113E+00	0.471E+01	0.596E-03	0.743E-01
60	0.700E-01	0.648E+01	0.767E-01	0.752E+01	0.356E-03	0.880E-01
90	0.477E-01	0.823E+01	0.529E-01	0.944E+01	0.244E-03	0.969E-01
180	0.150E-01	0.100E+02	0.186E-01	0.124E+02	0.072E-04	0.110E+00
365	0.137E-02	0.110E+02	0.422E-02	0.139E+02	0.104E-04	0.117E+00
730	0.116E-04	0.119E+02	0.262E-02	0.151E+02	0.477E-06	0.118E+00
1825	0.576E-11	0.119E+02	0.222E-02	0.177E+02	0.342E-06	0.118E+00
3650	0.000E+00	0.119E+02	0.170E-02	0.212E+02	0.253E-06	0.119E+00
7300	0.000E+00	0.119E+02	0.102E-01	0.261E+02	0.126E-06	0.120E+00
18250	0.000E+00	0.119E+02	0.222E-03	0.318E+02	0.372E-07	0.120E+00

AMAD = 3.00 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR(BQ)		CARGA CORPORAL(BQ)		EXCRECION URINARIA (BQ/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC.CONTINUA
1	0.117E+00	0.130E+00	0.307E+00	0.534E+00	0.435E-02	0.540E-01
2	0.996E-01	0.230E+00	0.167E+00	0.754E+00	0.296E-02	0.584E-01
4	0.844E-01	0.419E+00	0.121E+00	0.103E+01	0.244E-02	0.640E-01
7	0.775E-01	0.660E+00	0.107E+00	0.136E+01	0.190E-02	0.707E-01
9	0.752E-01	0.813E+00	0.102E+00	0.157E+01	0.163E-02	0.744E-01
14	0.705E-01	0.117E+01	0.911E-01	0.205E+01	0.115E-02	0.815E-01
30	0.575E-01	0.219E+01	0.693E-01	0.332E+01	0.525E-03	0.941E-01
60	0.392E-01	0.363E+01	0.450E-01	0.502E+01	0.251E-03	0.105E+00
90	0.267E-01	0.460E+01	0.315E-01	0.616E+01	0.154E-03	0.111E+00
180	0.842E-02	0.603E+01	0.110E-01	0.794E+01	0.490E-04	0.119E+00
365	0.771E-03	0.663E+01	0.368E-02	0.910E+01	0.602E-05	0.123E+00
730	0.655E-05	0.668E+01	0.272E-02	0.102E+02	0.462E-06	0.124E+00
1825	0.322E-11	0.668E+01	0.231E-02	0.129E+02	0.335E-06	0.124E+00
3650	0.000E+00	0.668E+01	0.177E-02	0.166E+02	0.246E-06	0.124E+00
7300	0.000E+00	0.668E+01	0.106E-02	0.216E+02	0.149E-06	0.125E+00
18250	0.000E+00	0.668E+01	0.231E-03	0.276E+02	0.447E-07	0.126E+00

URANIO (CLASE W)

AHAD = 8.00 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR(BQ)		CARGA CORPORAL(BQ)		EXCRECION URINARIA (BQ/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC.CONTINUA
1	0.546E-01	0.604E-01	0.314E+00	0.622E+00	0.537E-02	0.682E-01
3	0.462E-01	0.110E+00	0.134E+00	0.822E+00	0.361E-02	0.736E-01
4	0.392E-01	0.194E+00	0.849E-01	0.102E+01	0.293E-02	0.804E-01
7	0.360E-01	0.306E+00	0.727E-01	0.126E+01	0.225E-02	0.885E-01
9	0.349E-01	0.377E+00	0.675E-01	0.139E+01	0.189E-02	0.928E-01
14	0.337E-01	0.546E+00	0.577E-01	0.171E+01	0.120E-02	0.101E+00
30	0.267E-01	0.102E+01	0.402E-01	0.247E+01	0.500E-03	0.114E+00
60	0.162E-01	0.168E+01	0.251E-01	0.342E+01	0.106E-03	0.123E+00
90	0.124E-01	0.214E+01	0.172E-01	0.405E+01	0.959E-04	0.127E+00
180	0.391E-02	0.280E+01	0.734E-02	0.506E+01	0.244E-04	0.132E+00
365	0.350E-03	0.300E+01	0.349E-02	0.593E+01	0.305E-05	0.134E+00
730	0.304E-05	0.310E+01	0.295E-02	0.707E+01	0.447E-06	0.134E+00
1025	0.149E-11	0.310E+01	0.250E-02	0.100E+02	0.372E-06	0.134E+00
3650	0.000E+00	0.310E+01	0.192E-02	0.140E+02	0.260E-06	0.135E+00
7300	0.000E+00	0.310E+01	0.115E-02	0.195E+02	0.149E-06	0.136E+00
18250	0.000E+00	0.310E+01	0.151E-03	0.259E+02	0.298E-07	0.137E+00

AHAD = 10.00 MICRAS

TIEMPO (DIAS)	CARGA PULMONAR(BQ)		CARGA CORPORAL(BQ)		EXCRECION URINARIA (BQ/DIA)	
	INC.UNICA	INC.CONT.	INC.UNICA	INC.CONT.	INC. UNICA	INC.CONTINUA
1	0.420E-01	0.465E-01	0.313E+00	0.636E+00	0.555E-02	0.707E-01
2	0.355E-01	0.849E-01	0.126E+00	0.831E+00	0.371E-02	0.763E-01
4	0.301E-01	0.149E+00	0.774E-01	0.101E+01	0.302E-02	0.833E-01
7	0.277E-01	0.215E+00	0.656E-01	0.123E+01	0.230E-02	0.916E-01
9	0.168E-01	0.290E+00	0.605E-01	0.135E+01	0.194E-02	0.960E-01
14	0.252E-01	0.420E+00	0.509E-01	0.163E+01	0.130E-02	0.104E+00
30	0.205E-01	0.785E+00	0.343E-01	0.229E+01	0.493E-03	0.117E+00
60	0.140E-01	0.129E+01	0.209E-01	0.309E+01	0.173E-03	0.126E+00
90	0.954E-02	0.164E+01	0.143E-01	0.361E+01	0.039E-04	0.130E+00
180	0.300E-02	0.215E+01	0.643E-02	0.447E+01	0.193E-04	0.134E+00
365	0.275E-03	0.236E+01	0.343E-02	0.520E+01	0.247E-05	0.135E+00
730	0.234E-05	0.238E+01	0.298E-02	0.642E+01	0.462E-06	0.136E+00
1025	0.115E-11	0.239E+01	0.253E-02	0.943E+01	0.343E-06	0.136E+00
3650	0.000E+00	0.239E+01	0.194E-02	0.135E+02	0.260E-06	0.137E+00
7300	0.000E+00	0.239E+01	0.116E-02	0.190E+02	0.149E-06	0.137E+00
18250	0.000E+00	0.239E+01	0.153E-03	0.255E+02	0.290E-07	0.138E+00

TABLA 7a .- Límites de Incorporación Anual para las dos clases de solubilidad consideradas y distintos valores de AMAD. Expresados en microgramos de Uranio Natural , en microgramos de Uranio Enriquecido al 3%, y en bequerelios.

AMAD	URANIO NATURAL (μg)		URANIO ENRIQUECIDO (μg)		URANIO (Bq)	
	Clase W	Clase Y	Clase W	Clase Y	Clase W	Clase Y
0.3	683683	36679	224430	12040	16490	884
1.0	1230638	65939	403976	21645	29683	1590
3.0	2197600	117747	721397	38654	53006	2820
8.0	4733310	253646	1553784	83264	114167	6118
10.0	6153271	329990	2019908	108326	148417	7904

TABLA 7b.- Concentraciones Derivadas en Aire para las dos clases de solubilidad consideradas y distintos valores de AMAD. Expresadas en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Uranio Natural, en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Uranio Enriquecido y en (Bq/m^3); para un trabajador con una jornada anual de 2000 horas.

AMAD	URANIO NATURAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		URANIO ENRIQUECIDO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		URANIO (Bq/m^3)	
	Clase W	Clase Y	Clase W	Clase Y	Clase W	Clase Y
0.3	284.87	15.28	93.51	5.01	7.17	0.38
1.0	512.76	27.47	168.32	9.02	12.91	0.69
3.0	915.66	49.06	300.58	16.10	23.05	1.23
8.0	1972.21	105.68	647.41	34.69	49.64	2.66
10.0	2564.86	137.49	841.63	45.13	64.53	3.44

TABLA 8.- Retención pulmonar (μg) y excreción urinaria ($\mu\text{g}/\text{día}$) correspondientes a la incorporación única de 1 LIA de Uranio Enriquecido al 3%, Clase Y, para diferentes tamaños de partículas.

URANIO ENRIQUECIDO 3% (CLASE Y)							
INCORPORACION UNICA							
TIEMPO (DIAS)	AMAD (MICRAS)	EXCRECION URINARIA (MICROGRAMOS/DIA)				RETENCION PULMONAR	
		0.3	1.00	3.00	8.00	10.00	(MICROGRAMOS)
1		0.254E+01	0.765E+01	0.213E+02	0.620E+02	0.842E+02	0.458E+04
2		0.153E+01	0.408E+01	0.108E+02	0.311E+02	0.422E+02	0.391E+04
4		0.100E+01	0.278E+01	0.751E+01	0.215E+02	0.293E+02	0.340E+04
7		0.771E+00	0.211E+01	0.566E+01	0.162E+02	0.220E+02	0.324E+04
9		0.693E+00	0.181E+01	0.478E+01	0.136E+02	0.184E+02	0.322E+04
14		0.574E+00	0.131E+01	0.326E+01	0.907E+01	0.122E+02	0.320E+04
30		0.435E+00	0.686E+00	0.135E+01	0.333E+01	0.441E+01	0.315E+04
60		0.394E+00	0.462E+00	0.642E+00	0.117E+01	0.147E+01	0.305E+04
90		0.388E+00	0.412E+00	0.474E+00	0.660E+00	0.762E+00	0.295E+04
180		0.392E+00	0.393E+00	0.397E+00	0.407E+00	0.412E+00	0.270E+04
365		0.396E+00	0.396E+00	0.397E+00	0.399E+00	0.400E+00	0.224E+04
730		0.373E+00	0.374E+00	0.375E+00	0.376E+00	0.377E+00	0.150E+04
1825		0.232E+00	0.233E+00	0.233E+00	0.235E+00	0.236E+00	0.629E+03
3650		0.773E-01	0.777E-01	0.782E-01	0.788E-01	0.796E-01	0.208E+03
7300		0.788E-02	0.814E-02	0.806E-02	0.915E-02	0.907E-02	0.905E+02
18250		0.358E-03	0.403E-03	0.576E-03	0.567E-03	0.604E-03	0.802E+02

TABLA 9.- Retención pulmonar (μg) y excreción urinaria en ($\mu\text{g}/\text{día}$) correspondientes a la incorporación única de 1 LIA de Uranio Natural, Clase Y, para diferentes tamaños de partículas.

URANIO NATURAL (CLASE Y)							
INCORPORACION UNICA							
TIEMPO (DIAS)	AMAD (MICRAS)	EXCRECION URINARIA (MICROGRAMOS/DIA)				RETENCION PULMONAR	
		0.3	1.00	3.00	8.00	10.00	(MICROGRAMOS)
1		0.774E+01	0.233E+02	0.649E+02	0.189E+03	0.256E+03	0.139E+05
2		0.466E+01	0.124E+02	0.332E+02	0.949E+02	0.129E+03	0.119E+05
4		0.306E+01	0.848E+01	0.228E+02	0.657E+02	0.891E+02	0.103E+05
7		0.234E+01	0.642E+01	0.172E+02	0.494E+02	0.670E+02	0.980E+04
9		0.211E+01	0.55E+01	0.145E+02	0.415E+02	0.562E+02	0.982E+04
14		0.174E+01	0.399E+01	0.994E+01	0.276E+02	0.373E+02	0.975E+04
30		0.132E+01	0.209E+01	0.412E+01	0.101E+02	0.134E+02	0.959E+04
60		0.120E+01	0.140E+01	0.195E+01	0.350E+01	0.440E+01	0.929E+04
90		0.118E+01	0.125E+01	0.144E+01	0.201E+01	0.232E+01	0.901E+04
180		0.119E+01	0.119E+01	0.120E+01	0.124E+01	0.125E+01	0.822E+04
365		0.120E+01	0.120E+01	0.121E+01	0.121E+01	0.122E+01	0.683E+04
730		0.113E+01	0.114E+01	0.114E+01	0.115E+01	0.115E+01	0.482E+04
1825		0.709E+00	0.710E+00	0.712E+00	0.716E+00	0.719E+00	0.191E+04
3650		0.235E+00	0.237E+00	0.238E+00	0.240E+00	0.243E+00	0.634E+03
7300		0.240E-01	0.248E-01	0.246E-01	0.278E-01	0.276E-01	0.276E+03
18250		0.109E-02	0.123E-02	0.175E-02	0.173E-02	0.184E-02	0.247E+03

TABLA 10.- Retención pulmonar (μg) y excreción urinaria ($\mu\text{g}/\text{día}$) correspondientes a la incorporación única de 1 LIA de Uranio Enriquecido al 3%, Clase W, para diferentes tamaños de partículas.

URANIO ENRIQUECIDO AL 3% (CLASE W)						
INCORPORACION UNICA						
TIEMPO (DIAS)	AMAD (MICRAS)	EXCRECION URINARIA (MICROGRAMOS/DIA)				RETENCION PULMONAR
		0.3	1.00	3.00	8.00	10.00
1	0.578E+03	0.133E+04	0.313E+04	0.835E+04	0.112E+05	0.849E+05
2	0.437E+03	0.941E+03	0.214E+04	0.560E+04	0.751E+04	0.718E+05
4	0.384E+03	0.792E+03	0.176E+04	0.456E+04	0.610E+04	0.609E+05
7	0.330E+03	0.640E+03	0.137E+04	0.349E+04	0.466E+04	0.559E+05
9	0.304E+03	0.563E+03	0.118E+04	0.295E+04	0.392E+04	0.543E+05
14	0.255E+03	0.425E+03	0.829E+03	0.199E+04	0.263E+04	0.508E+05
30	0.182E+03	0.241E+03	0.379E+03	0.777E+03	0.996E+03	0.414E+05
60	0.128E+03	0.143E+03	0.181E+03	0.289E+03	0.348E+03	0.283E+05
90	0.931E+02	0.906E+02	0.111E+03	0.149E+03	0.169E+03	0.193E+05
180	0.349E+02	0.352E+02	0.359E+02	0.379E+02	0.391E+02	0.607E+04
365	0.415E+01	0.421E+01	0.435E+01	0.475E+01	0.499E+01	0.556E+03
730	0.144E+00	0.192E+00	0.333E+00	0.694E+00	0.933E+00	0.472E+01
1825	0.836E-01	0.138E+00	0.242E+00	0.578E+00	0.692E+00	0.232E-05
3650	0.601E-01	0.102E+00	0.177E+00	0.416E+00	0.542E+00	0.000E+00
7300	0.334E-01	0.512E-01	0.107E+00	0.231E+00	0.301E+00	0.000E+00
18250	0.100E-01	0.150E-01	0.322E-01	0.463E-01	0.602E-01	0.000E+00

TABLA 11.- Retención pulmonar (μg) y excreción urinaria ($\mu\text{g}/\text{día}$) correspondientes a la incorporación única de 1 LIA de Uranio Natural Clase W para diferentes tamaños de partículas.

URANIO NATURAL (CLASE W)							
INCORPORACION UNICA							
TIEMPO (DIAS)	AMAD (MICRAS)	EXCRECION URINARIA (MICROGRAMOS/DIA)				RETENCION PULMONAR	
		0.3	1.00	3.00	8.00	10.00	(MICROGRAMOS)
1		0.176E+04	0.406E+04	0.955E+04	0.254E+05	0.341E+05	0.258E+06
2		0.133E+04	0.286E+04	0.652E+04	0.170E+05	0.228E+05	0.218E+06
4		0.116E+04	0.241E+04	0.536E+04	0.138E+05	0.185E+05	0.185E+06
7		0.100E+04	0.194E+04	0.418E+04	0.106E+05	0.142E+05	0.170E+06
9		0.924E+03	0.171E+04	0.358E+04	0.898E+04	0.119E+05	0.165E+06
14		0.777E+03	0.129E+04	0.252E+04	0.608E+04	0.803E+04	0.154E+06
30		0.556E+03	0.734E+03	0.115E+04	0.236E+04	0.303E+04	0.126E+06
60		0.390E+03	0.438E+03	0.552E+03	0.882E+03	0.106E+04	0.862E+05
90		0.283E+03	0.300E+03	0.339E+03	0.454E+03	0.516E+03	0.587E+05
180		0.106E+03	0.107E+03	0.109E+03	0.115E+03	0.119E+03	0.185E+05
365		0.126E+02	0.128E+02	0.132E+02	0.144E+02	0.152E+02	0.169E+04
730		0.438E+00	0.586E+00	0.101E+01	0.211E+01	0.284E+01	0.144E+02
1825		0.254E+00	0.421E+00	0.736E+00	0.176E+01	0.211E+01	0.708E-05
3650		0.183E+00	0.311E+00	0.540E+00	0.127E+01	0.165E+01	0.000E+00
7300		0.102E+00	0.156E+00	0.327E+00	0.705E+00	0.917E+00	0.000E+00
18250		0.305E-01	0.458E-01	0.982E-01	0.141E+00	0.183E+00	0.000E+00

TABLA 12.- Retención pulmonar (μg) y excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{día}$) correspondientes a la incorporación en forma continua de 1 LIA/año de Uranio Enriquecido al 3% Clase Y para diferentes tamaños de partículas

URANIO ENRIQUECIDO AL 3% (CLASE Y)
INCORPORACION CONTINUA

TIEMPO (DIAS)	AMAD (MICRAS)	EXCRECION URINARIA (MICROGRAMOS/DIA)					RETENCION PULMONAR
		0.30	1.00	3.00	8.00	10.00	(MICROGRAMOS)
1		0.336E-01	0.141E+00	0.427E+00	0.127E+01	0.174E+01	0.138E+02
2		0.406E-01	0.162E+00	0.485E+00	0.144E+01	0.197E+01	0.254E+02
4		0.481E-01	0.182E+00	0.539E+00	0.159E+01	0.217E+01	0.451E+02
7		0.555E-01	0.203E+00	0.595E+00	0.176E+01	0.239E+01	0.722E+02
9		0.596E-01	0.214E+00	0.624E+00	0.184E+01	0.273E+01	0.899E+02
14		0.684E-01	0.236E+00	0.681E+00	0.200E+01	0.306E+01	0.133E+03
30		0.892E-01	0.277E+00	0.775E+00	0.225E+01	0.327E+01	0.273E+03
60		0.123E+00	0.322E+00	0.849E+00	0.241E+01	0.336E+01	0.528E+03
90		0.155E+00	0.357E+00	0.894E+00	0.248E+01	0.348E+01	0.775E+03
180		0.251E+00	0.455E+00	0.997E+00	0.260E+01	0.369E+01	0.147E+04
365		0.452E+00	0.656E+00	0.119E+01	0.281E+01	0.408E+01	0.272E+04
730		0.840E+00	0.104E+01	0.150E+01	0.320E+01	0.501E+01	0.461E+04
1825		0.176E+01	0.196E+01	0.249E+01	0.413E+01	0.501E+01	0.766E+04
3650		0.247E+01	0.267E+01	0.322E+01	0.485E+01	0.574E+01	0.948E+04
7300		0.277E+01	0.298E+01	0.353E+01	0.516E+01	0.606E+01	0.107E+05
18250		0.282E+01	0.303E+01	0.358E+01	0.523E+01	0.613E+01	0.132E+05

TABLA 13.- Retención pulmonar (μg) y excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{dia}$) correspondientes a la incorporación en forma continua de 1 LIA/año de Uranio Natural, Clase Y, para diferentes tamaños de partículas

URANIO NATURAL (CLASE Y)							
INCORPORACION CONTINUA							
TIEMPO (DIAS)	AMAD (MICRAS)	EXCRECION URINARIA (MICROGRAMOS/DIA)				RETENCION PULMONAR	
		0.3	1.00	3.00	8.00	10.00	
		(MICROGRAMOS)					
1		0.102E+00	0.430E+00	0.130E+01	0.300E+01	0.529E+01	0.421E+02
2		0.124E+00	0.494E+00	0.147E+01	0.440E+01	0.600E+01	0.773E+02
4		0.146E+00	0.555E+00	0.164E+01	0.486E+01	0.663E+01	0.137E+03
7		0.169E+00	0.618E+00	0.181E+01	0.535E+01	0.729E+01	0.220E+03
9		0.181E+00	0.652E+00	0.190E+01	0.561E+01	0.765E+01	0.274E+03
14		0.208E+00	0.718E+00	0.207E+01	0.610E+01	0.830E+01	0.408E+03
30		0.274E+00	0.844E+00	0.236E+01	0.686E+01	0.932E+01	0.832E+03
60		0.376E+00	0.981E+00	0.258E+01	0.736E+01	0.997E+01	0.161E+04
90		0.474E+00	0.108E+01	0.272E+01	0.758E+01	0.102E+02	0.236E+04
180		0.767E+00	0.138E+01	0.303E+01	0.794E+01	0.106E+02	0.448E+04
365		0.137E+01	0.199E+01	0.365E+01	0.855E+01	0.112E+02	0.829E+04
730		0.255E+01	0.318E+01	0.483E+01	0.975E+01	0.124E+02	0.140E+05
1825		0.534E+01	0.597E+01	0.763E+01	0.125E+02	0.152E+02	0.233E+05
3650		0.753E+01	0.815E+01	0.982E+01	0.147E+02	0.174E+02	0.289E+05
7300		0.844E+01	0.907E+01	0.107E+02	0.157E+02	0.184E+02	0.327E+05
18250		0.859E+01	0.923E+01	0.109E+02	0.159E+02	0.186E+02	0.402E+05

TABLA 14.- Porcentaje de la CDA que produciría una incorporación de Uranio Clase Y enriquecido al 3%, mínimamente detectable en orina para diferentes AMAD y tiempos.

LD ($\mu\text{g/l}$)	AMAD (μm)	TIEMPO (días)	Mínima Incorp. diaria (% CDA)	Incorp. Anual realmente recibida (% LIA)
0.2	0.3	30	314	26
	1.0		101	8
	3.0		36	3
	8.0		12	1
	10.0		8	0.7
1	0.3	30	1569	129
	1.0		505	41
	3.0		180	15
	8.0		62	5
	10.0		43	3.5
1	0.3	365	310	310
	1.0		213	213
	3.0		118	118
	8.0		59	59
	10.0		34	34
1.5	0.3	365	465	465
	1.0		320	320
	3.0		176	176
	8.0		75	75
	10.0		51	51
1.5	0.3	730	250	250
	1.0		202	202
	3.0		133	133
	8.0		65	65
	10.0		42	42
1.5	0.3	3650	85	85
	1.0		78	78
	3.0		65	65
	8.0		43	43
	10.0		37	37

TABLA 15.- Retención pulmonar (μg) y excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{día}$) correspondientes a la incorporación en forma continua de 1 LIA/año de Uranio Clase W, enriquecido al 3% para diferentes tamaños de partículas

URANIO ENRIQUECIDO AL 3% (CLASE W)							
INCORPORACION CONTINUA							
TIEMPO (DIAS)	AMAD (MICRAS)	EXCRECION URINARIA (MICROGRAMOS/DIA)				RETENCION PULMONAR	
		0.3	1.00	3.00	8.00	10.00 (MICROGRAMOS)	
1		0.164E+02	0.432E+02	0.106E+03	0.290E+03	0.391E+03	0.257E+03
2		0.180E+02	0.469E+02	0.115E+03	0.313E+03	0.422E+03	0.470E+03
4		0.203E+02	0.518E+02	0.126E+03	0.342E+03	0.461E+03	0.828E+03
7		0.233E+02	0.579E+02	0.139E+03	0.376E+03	0.506E+03	0.130E+03
9		0.251E+02	0.613E+02	0.147E+03	0.395E+03	0.531E+03	0.160E+04
14		0.289E+02	0.681E+02	0.161E+03	0.429E+03	0.577E+03	0.233E+04
30		0.383E+02	0.822E+02	0.186E+03	0.485E+03	0.650E+03	0.434E+04
60		0.510E+02	0.974E+02	0.207E+03	0.525E+03	0.700E+03	0.717E+04
90		0.600E+02	0.107E+03	0.219E+03	0.542E+03	0.720E+03	0.910E+04
180		0.748E+02	0.122E+03	0.235E+03	0.561E+03	0.741E+03	0.119E+05
365		0.822E+02	0.129E+03	0.243E+03	0.569E+03	0.749E+03	0.131E+05
730		0.832E+02	0.131E+03	0.244E+03	0.571E+03	0.751E+03	0.132E+05
1825		0.835E+02	0.131E+03	0.245E+03	0.573E+03	0.753E+03	0.132E+05
3650		0.839E+02	0.132E+03	0.246E+03	0.575E+03	0.757E+03	0.132E+05
7300		0.844E+02	0.132E+03	0.247E+03	0.579E+03	0.761E+03	0.132E+05
18250		0.849E+02	0.133E+03	0.249E+03	0.582E+03	0.766E+03	0.132E+05

TABLA 16.- Retención pulmonar (μg) y excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{día}$) correspondientes a la incorporación en forma continua de 1 LIA/año de Uranio Natural, Clase W, para diferentes tamaños de partículas

URANIO NATURAL (CLASE W)						
INCORPORACION CONTINUA						
TIEMPO (DIAS)	AMAD (MICRAS)	EXCRECCION URINARIA (MICROGRAMOS/DIA)				RETENCION PULMONAR
		0.3	1.00	3.00	8.00	10.00
1	0.500E+02	0.132E+03	0.325E+03	0.884E+03	0.119E+04	0.784E+03
2	0.549E+02	0.143E+03	0.352E+03	0.954E+03	0.128E+04	0.143E+04
4	0.619E+02	0.158E+03	0.385E+03	0.104E+04	0.140E+04	0.252E+04
7	0.711E+02	0.176E+03	0.426E+03	0.114E+04	0.154E+04	0.397E+04
9	0.765E+02	0.187E+03	0.448E+03	0.120E+04	0.162E+04	0.489E+04
14	0.882E+02	0.207E+03	0.491E+03	0.131E+04	0.176E+04	0.708E+04
30	0.117E+03	0.250E+03	0.567E+03	0.148E+04	0.198E+04	0.132E+05
60	0.155E+03	0.296E+03	0.632E+03	0.160E+04	0.213E+04	0.218E+05
90	0.183E+03	0.327E+03	0.667E+03	0.165E+04	0.219E+04	0.277E+05
180	0.228E+03	0.373E+03	0.717E+03	0.171E+04	0.226E+04	0.363E+05
365	0.251E+03	0.395E+03	0.740E+03	0.173E+04	0.228E+04	0.399E+05
730	0.253E+03	0.399E+03	0.744E+03	0.174E+04	0.228E+04	0.402E+05
1825	0.254E+03	0.400E+03	0.746E+03	0.174E+04	0.229E+04	0.403E+05
3650	0.255E+03	0.402E+03	0.749E+03	0.175E+04	0.230E+04	0.402E+05
7300	0.257E+03	0.404E+03	0.754E+03	0.176E+04	0.232E+04	0.402E+05
18250	0.258E+03	0.407E+03	0.759E+03	0.1775E+04	0.233E+04	0.402E+05

TABLA 17

INCORPORACIONES MAXIMAS ANUALES NO DETECTABLES

POR BIOELIMINACION, SUPUESTOS CONTROLES MENSUALES

EXPRESADAS COMO % DEL LIA

PARA DISTINTOS LIMITES INFERIORES DE DETECCION (LID)

URANIO (CLASE Y) ENRIQUECIMIENTO 3 %

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 0.2 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	71.9	70.6	67.0	47.1	39.5
2	2.9	3.0	4.9	15.6	17.1
3	7.7	7.2	6.0	7.7	9.3
4	9.2	8.9	8.2	6.9	7.3
5	9.7	9.6	9.2	7.7	7.3

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 1.5 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	18.6	22.4	36.5	100.0	100.0
3	58.0	54.0	44.4	58.0	69.7
4	68.8	67.0	61.4	51.9	54.8
5	73.1	72.1	68.9	57.5	55.0

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 6.0 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	74.6	89.9	100.0	100.0	100.0
3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

URANIO (CLASE Y) ENRIQUECIMIENTO 0.71 %

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 0.2 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	23.6	23.2	22.0	15.5	13.0
2	0.8	1.0	1.6	5.1	5.6
3	2.5	2.4	2.0	2.5	3.0
4	3.0	3.0	2.7	2.3	2.4
5	3.2	3.2	3.0	2.5	2.4

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 1.5 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	100.0	100.0	100.0	100.0	97.2
2	6.1	7.4	12.0	38.3	41.9
3	19.0	17.7	14.5	19.0	22.8
4	22.6	22.0	20.1	17.0	17.9
5	23.9	23.6	22.6	18.8	18.0

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 6.0 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	24.5	29.5	48.0	100.0	100.0
3	76.2	70.9	58.3	76.2	91.5
4	90.4	88.1	80.7	68.2	71.9
5	95.9	94.7	90.5	75.5	72.3

URANIO (CLASE W) ENRIQUECIMIENTO 3 %

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 0.2 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	0.64	0.55	0.42	0.25	0.20
2	0.52	0.46	0.36	0.22	0.18
3	0.52	0.46	0.36	0.22	0.18
4	0.52	0.46	0.36	0.22	0.18
5	0.52	0.46	0.36	0.22	0.18

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 1.5 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	4.7	1.4	3.2	1.9	1.5
2	3.9	3.5	2.7	1.7	1.4
3	3.9	3.5	2.7	1.7	1.4
4	3.9	3.5	2.7	1.7	1.4
5	3.9	3.5	2.7	1.7	1.4

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 6.0 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	19.2	16.5	12.6	7.5	6.2
2	15.7	13.9	10.9	6.7	5.6
3	15.7	13.8	10.8	6.7	5.5
4	15.7	13.8	10.8	6.7	5.5
5	15.7	13.8	10.8	6.7	5.5

URANIO (CLASE W) ENRIQUECIMIENTO 0.71 %

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 0.2 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	0.21	0.18	0.14	0.08	0.07
2	0.17	0.15	0.12	0.08	0.06
3	0.17	0.15	0.12	0.07	0.06
4	0.17	0.15	0.12	0.07	0.06
5	0.17	0.15	0.12	0.07	0.06

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 1.5 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	1.6	1.4	1.0	0.62	0.50
2	1.3	1.1	0.9	0.55	0.46
3	1.3	1.1	0.9	0.55	0.45
4	1.3	1.1	0.9	0.55	0.45
5	1.3	1.1	0.9	0.55	0.45

PORCENTAJES DEL LIA (LID= 6.0 $\mu\text{g}/\text{l}$)

AÑO	AMAD (μm)				
	.3	1	3	8	10
1	6.2	5.4	4.2	2.5	6.9
2	5.2	4.6	3.6	2.2	5.7
3	5.1	4.6	3.6	2.2	5.7
4	5.1	4.5	3.6	2.2	5.7
5	5.1	4.5	3.5	2.2	5.7

APENDICE 2.- FIGURAS

URANIO CLASE Y

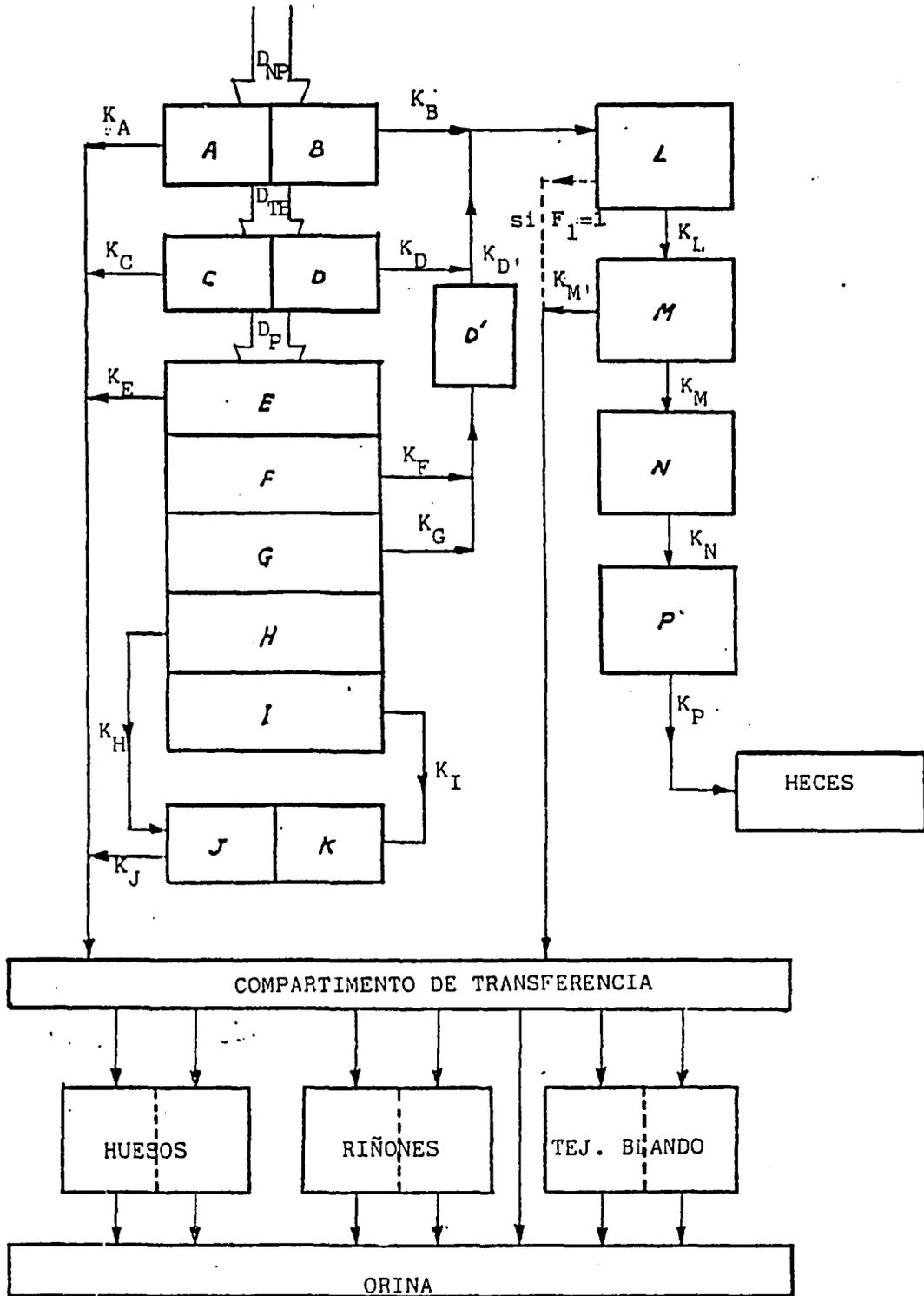


FIG. 1.- Modelo compartimental para Uranio Clase Y.

URANIO CLASE W

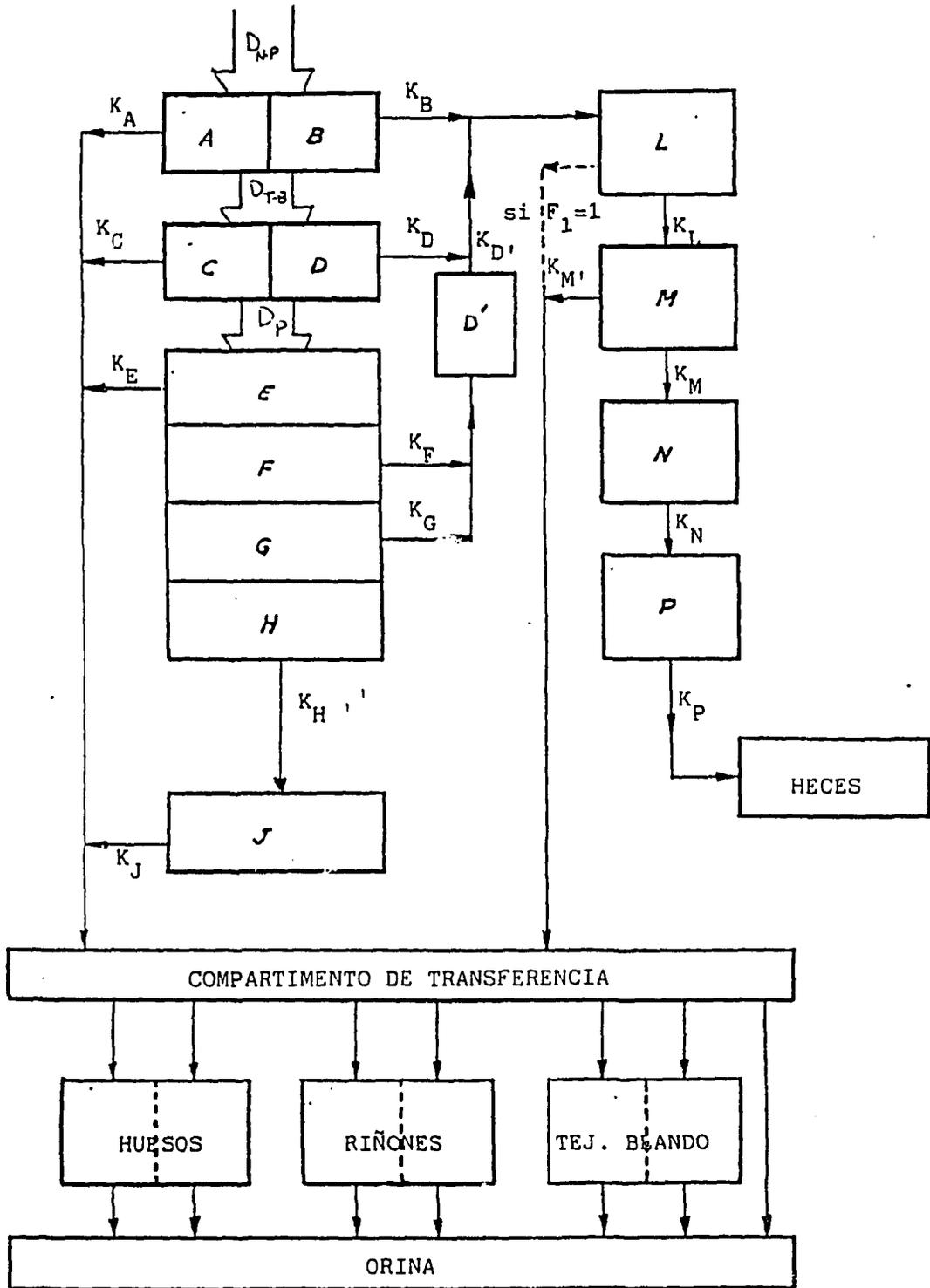


FIG. 2.- Modelo compartimental para Uranio Clase W.

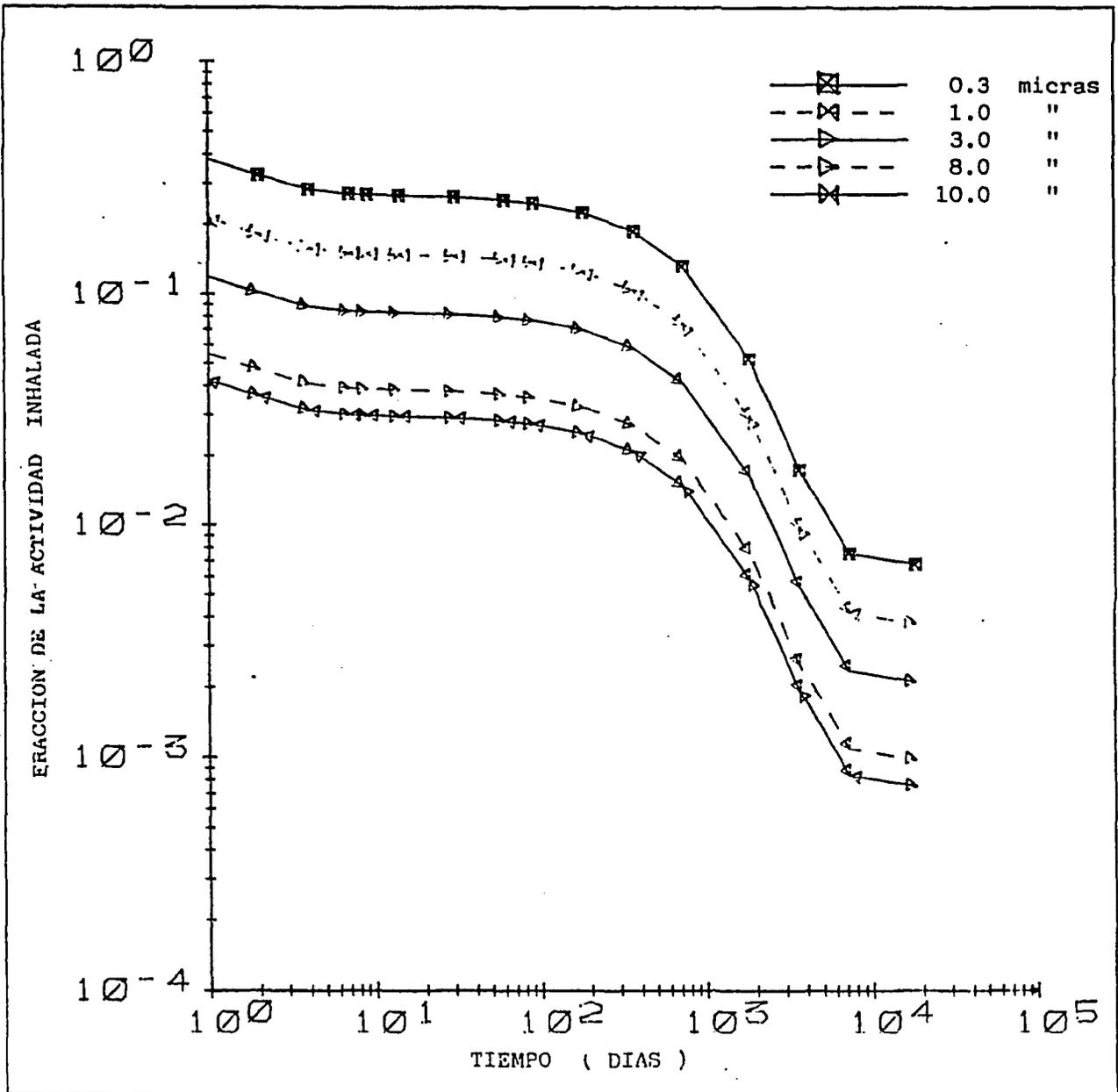


FIG. 3.- Retención pulmonar para incorporación única de Uranio Clase Y y distintos valores de AMAD. Expresada como fracción de la actividad inhalada.

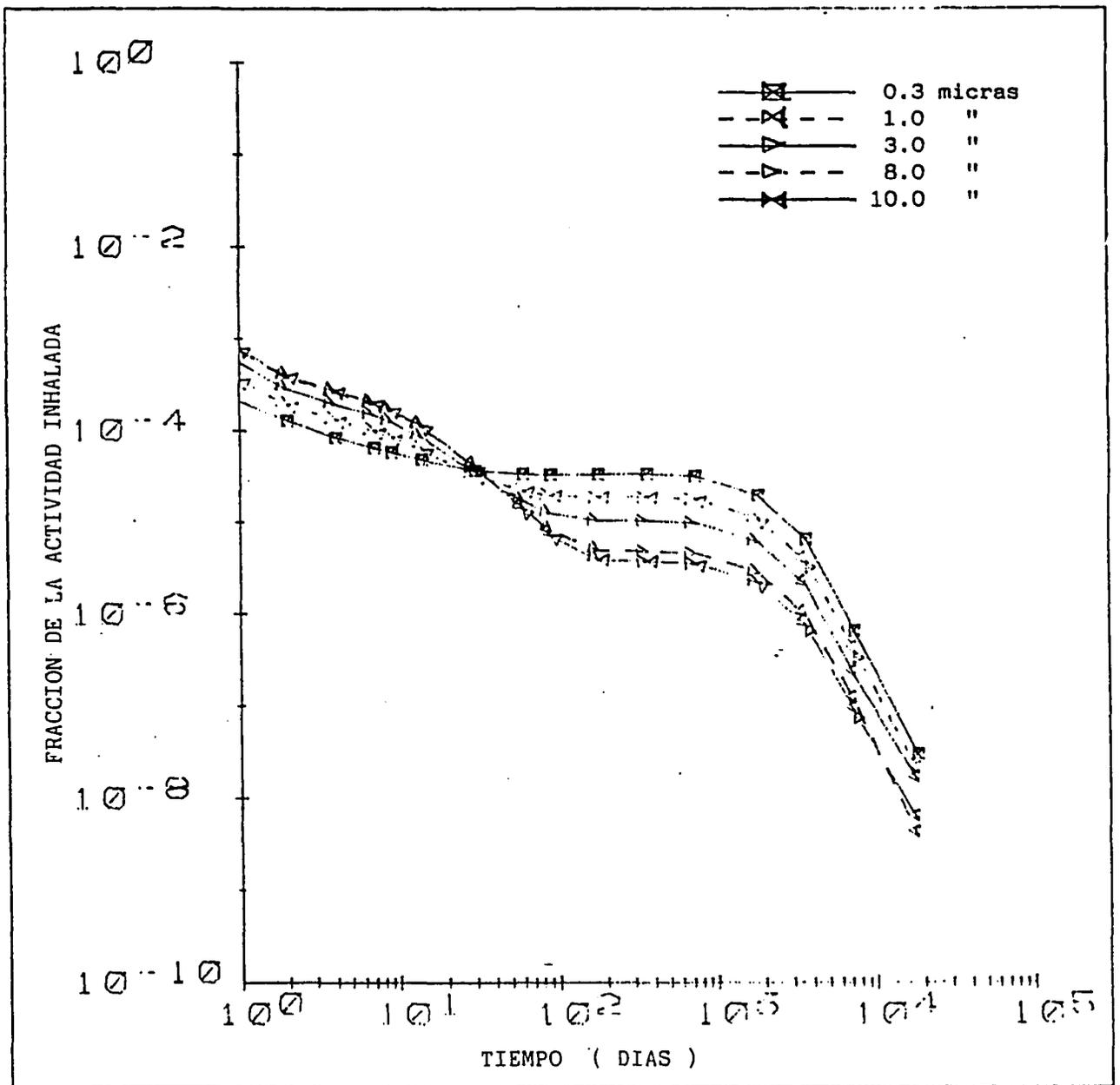


FIG. 4.- Excreción urinaria diaria para incorporación única de Uranio Clase Y y distintos valores de AMAD. Expresada como fracción de la actividad inhalada.

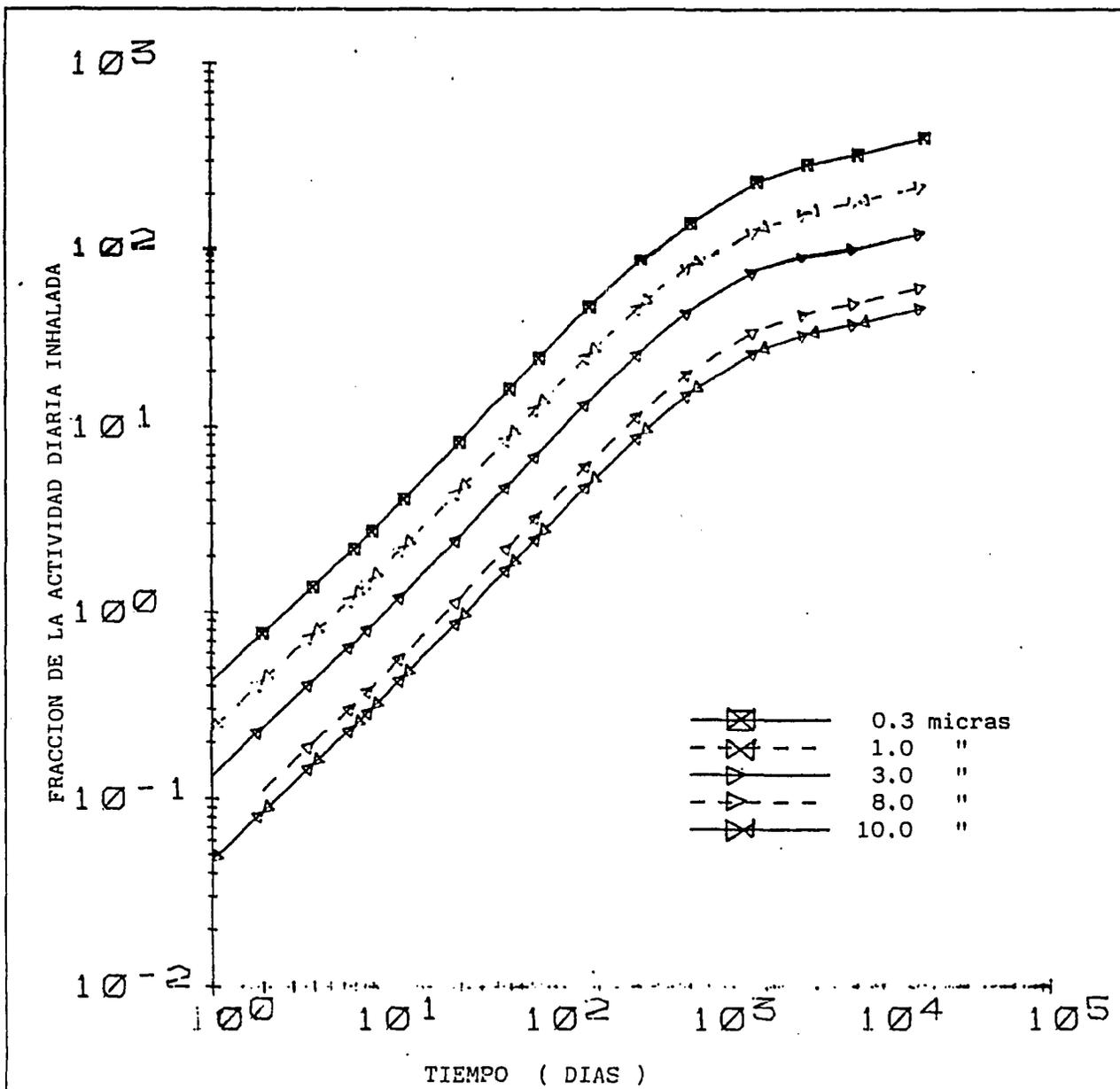


FIG. 5.- Retención pulmonar para incorporación continua de Uranio Clase Y y distintos valores de AMAD. Expresada como fracción de la actividad diaria inhalada.

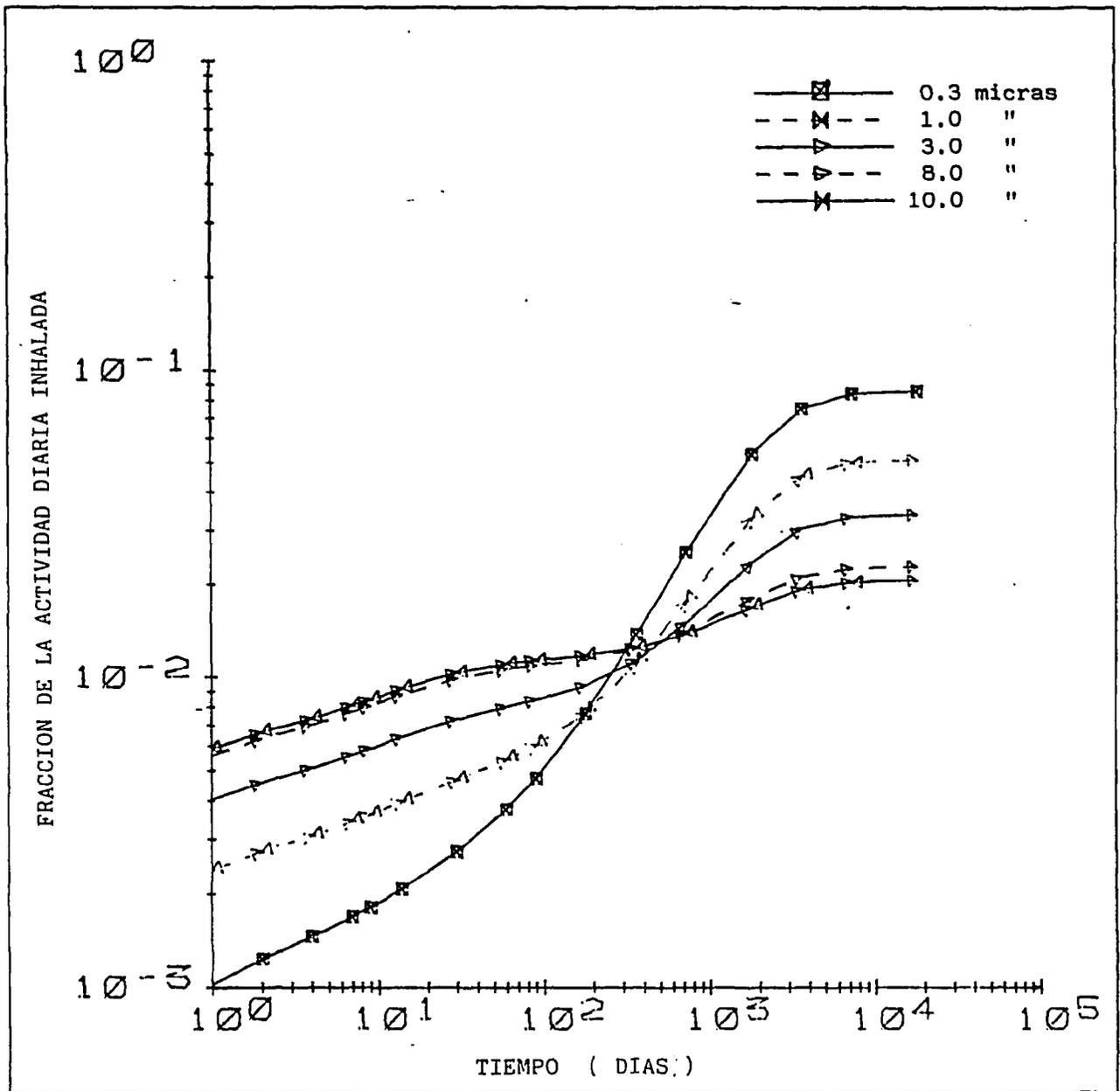


FIG. 6.- Excreción urinaria diaria para incorporación continua de Uranio Clase Y y distintos valores de AMAD. Expresada como fracción de la actividad diaria inhalada.

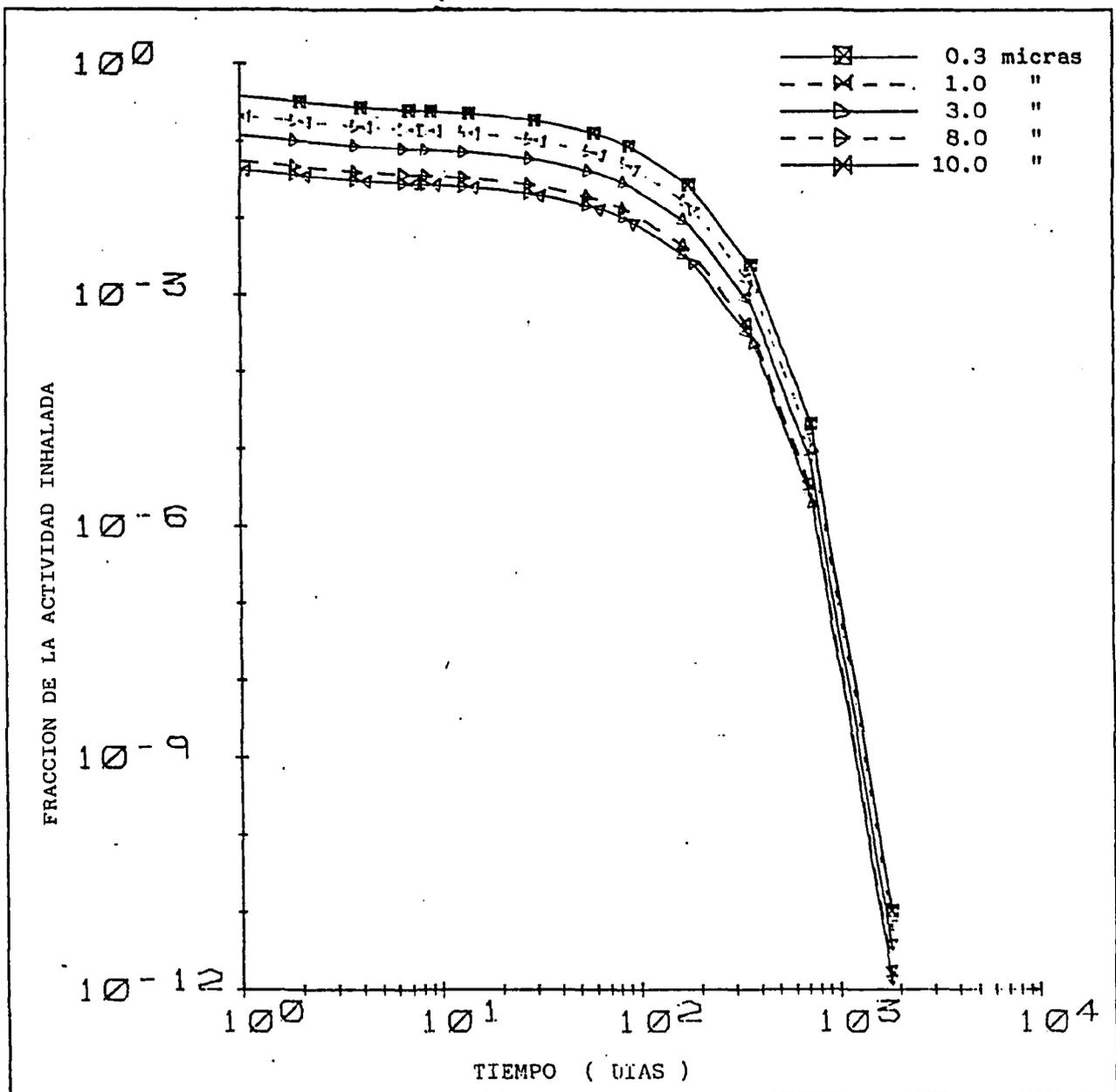


FIG. 7.- Retención pulmonar para incorporación única de Uranio Clase W y distintos valores de AMAD. Expresada como fracción de la actividad inhalada.

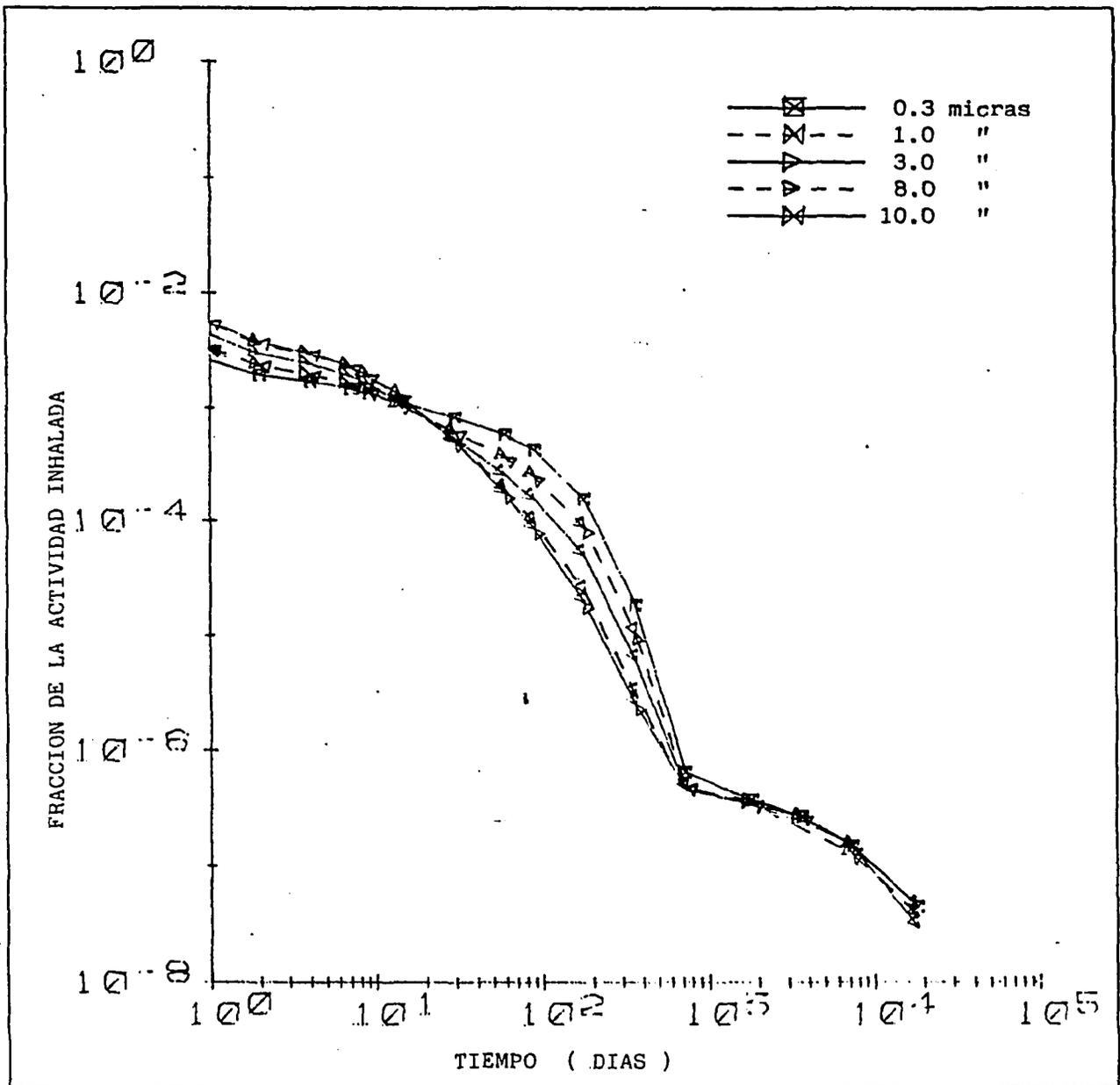


FIG. 8.- Excreción urinaria diaria para incorporación única de Uranio Clase W y distintos valores de AMAD. Expresada como fracción de la actividad inhalada.

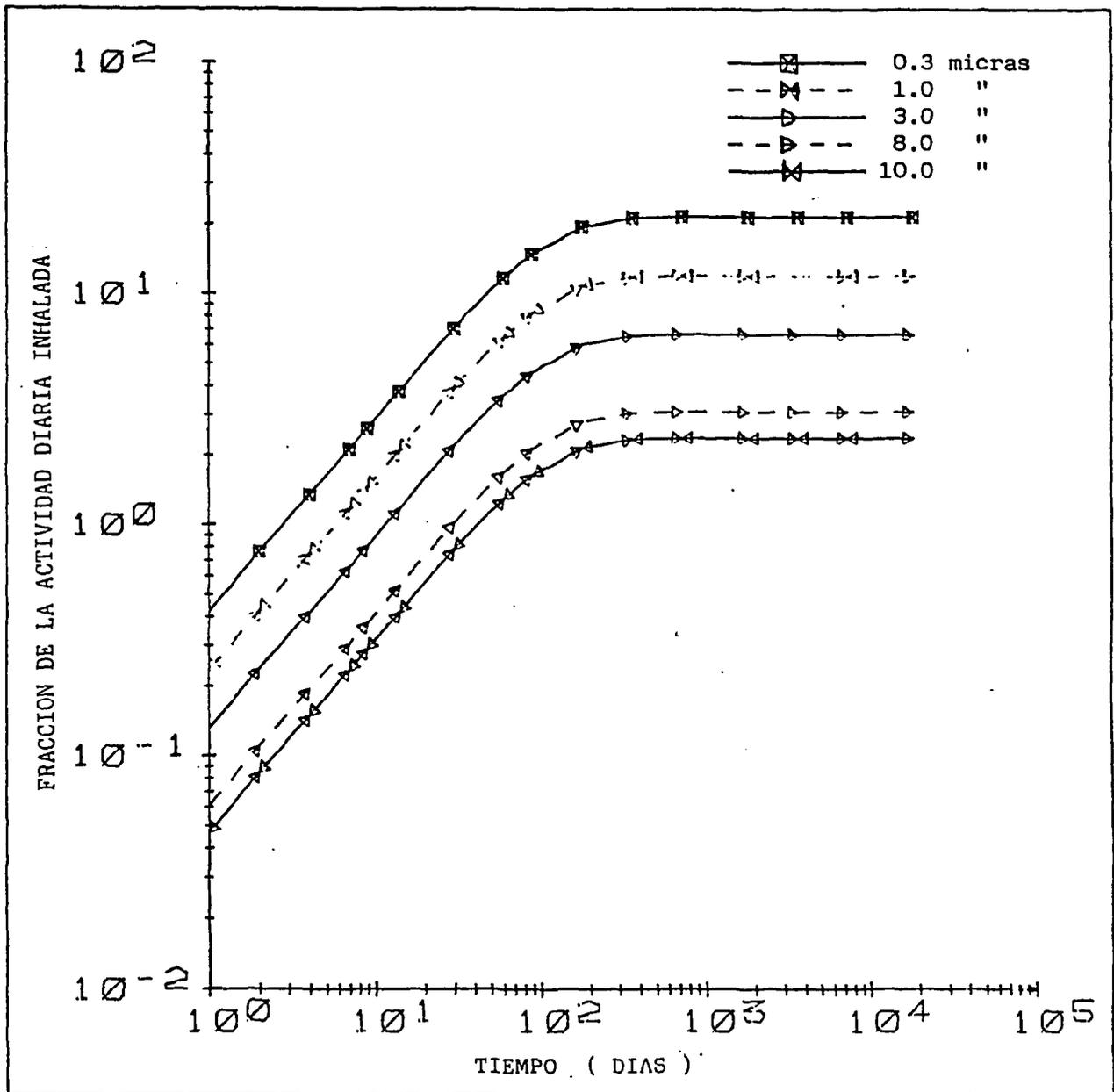


FIG. 9.- Retención pulmonar para incorporación continua de Uranio Clase W y distintos valores de AMAD. Expresada como fracción de la actividad diaria inhalada.

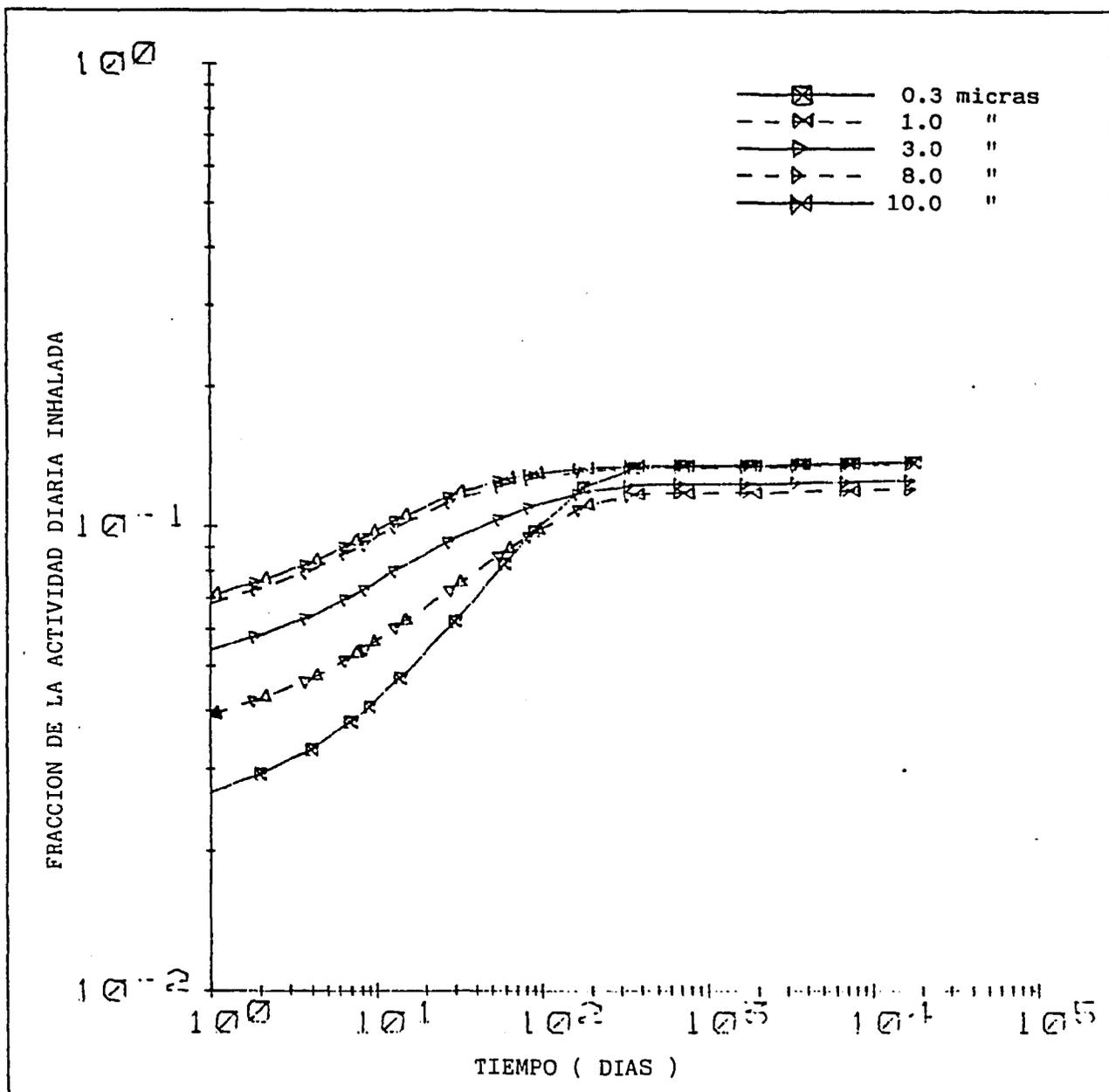


FIG. 10 .- Excreción urinaria diaria para incorporación continua de Uranio Clase W y distintos valores de AMAD. Expresada como fracción de la actividad diaria inhalada.

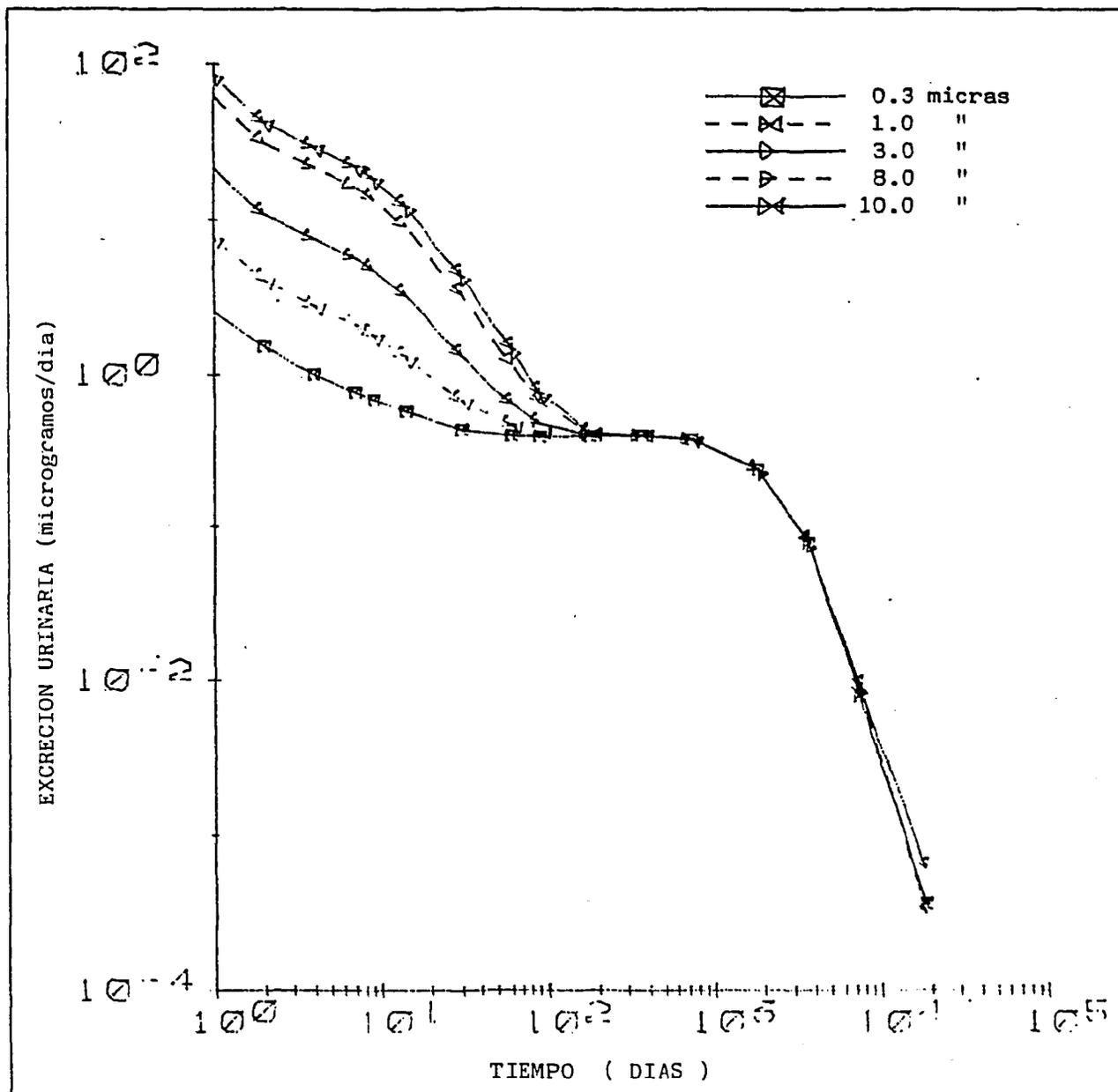


FIG. 11.- Excreción urinaria diaria para incorporación única de 1 LIA de Uranio Clase Y enriquecido al 3% y distintos valores de AMAD. Expresada en $\mu\text{g}/\text{día}$.

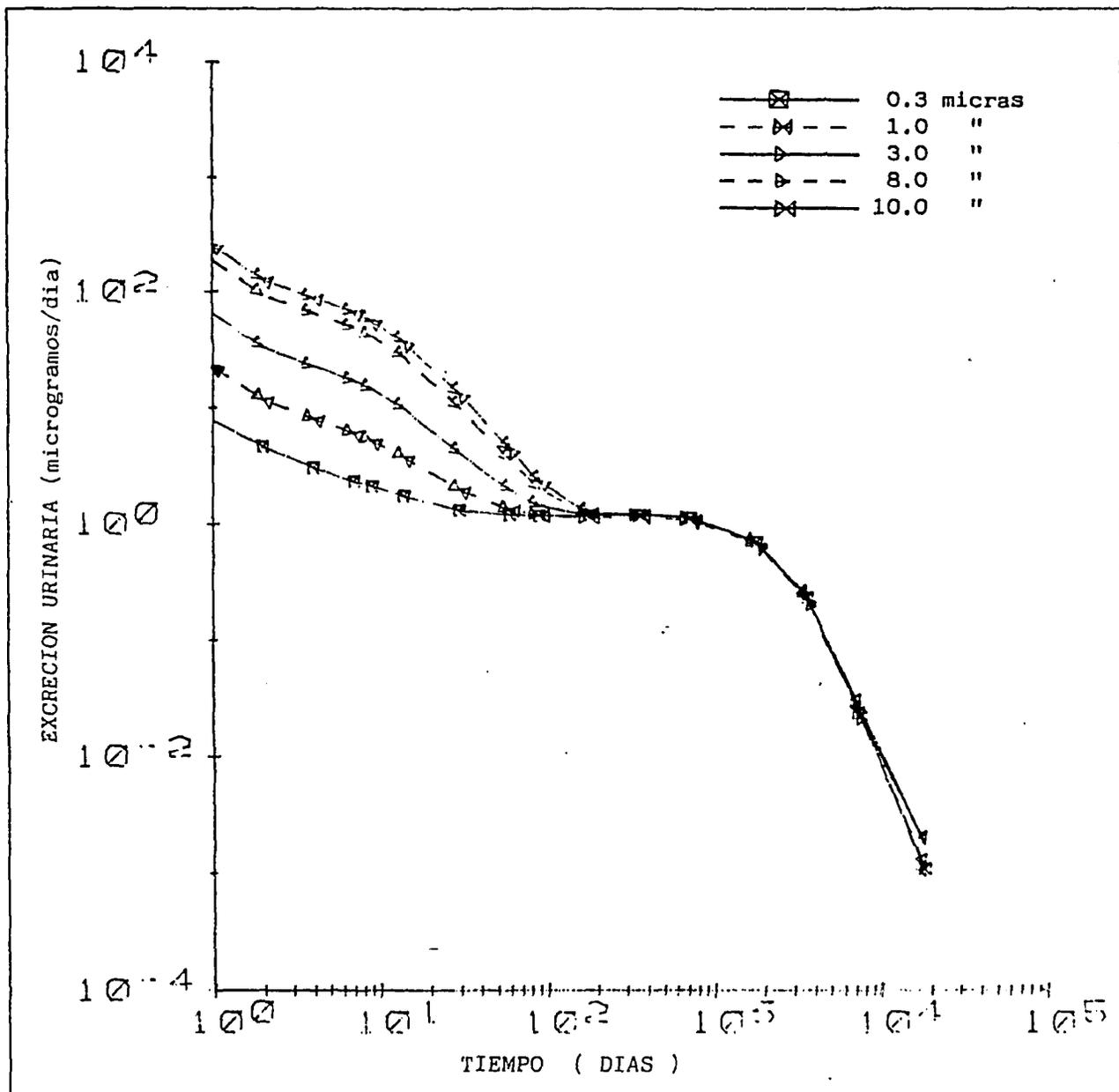


FIG. 12.- Excreción urinaria diaria para incorporación única de 1 LIA de Uranio Natural Clase Y y distintos valores de AMAD. Expresada en $\mu\text{g}/\text{día}$.

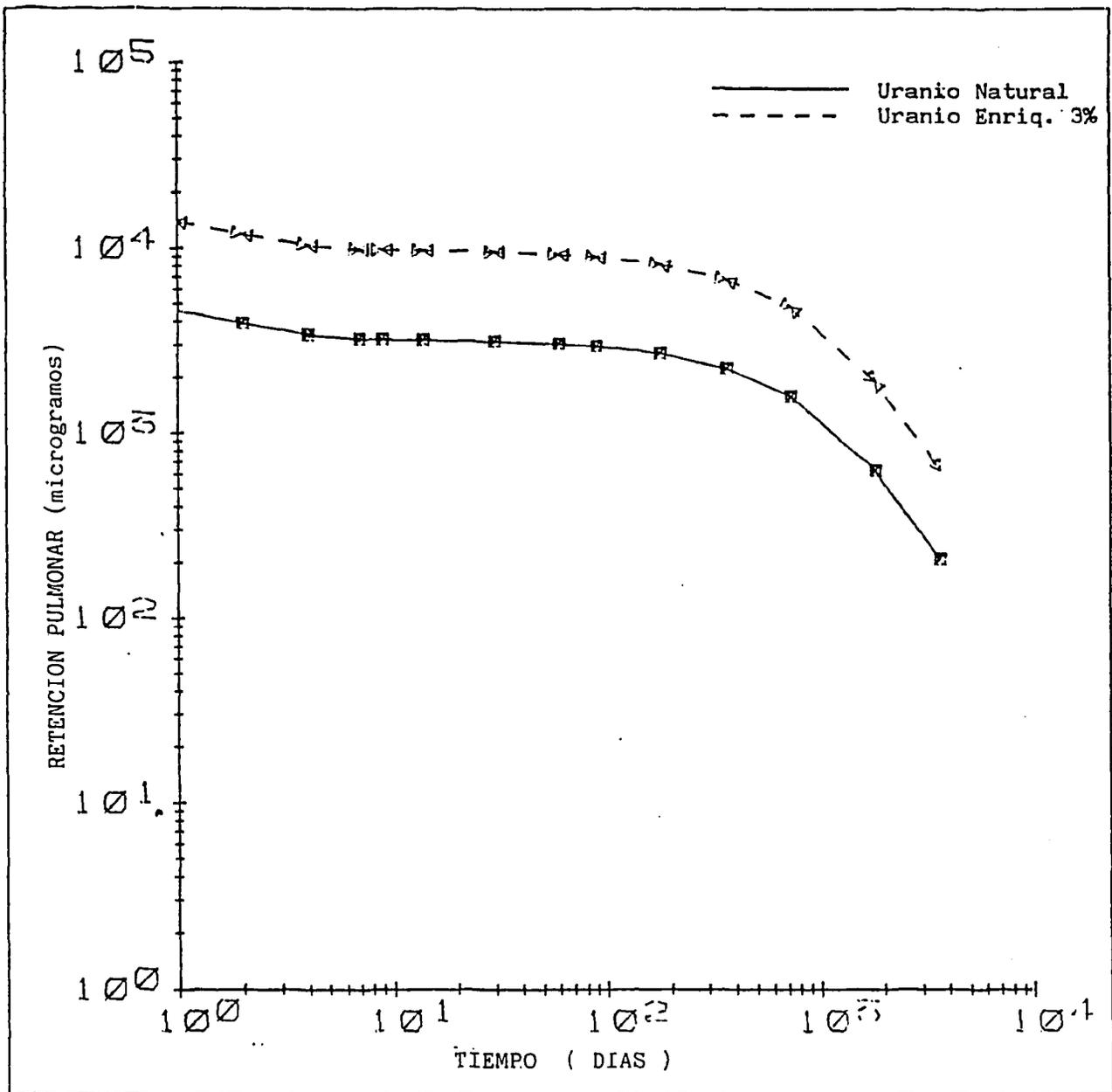


FIG. 13.- Retención pulmonar en (μg) para incorporación única de 1 LIA de Uranio clase Y, natural y enriquecido al 3% y distintos valores de AMAD.

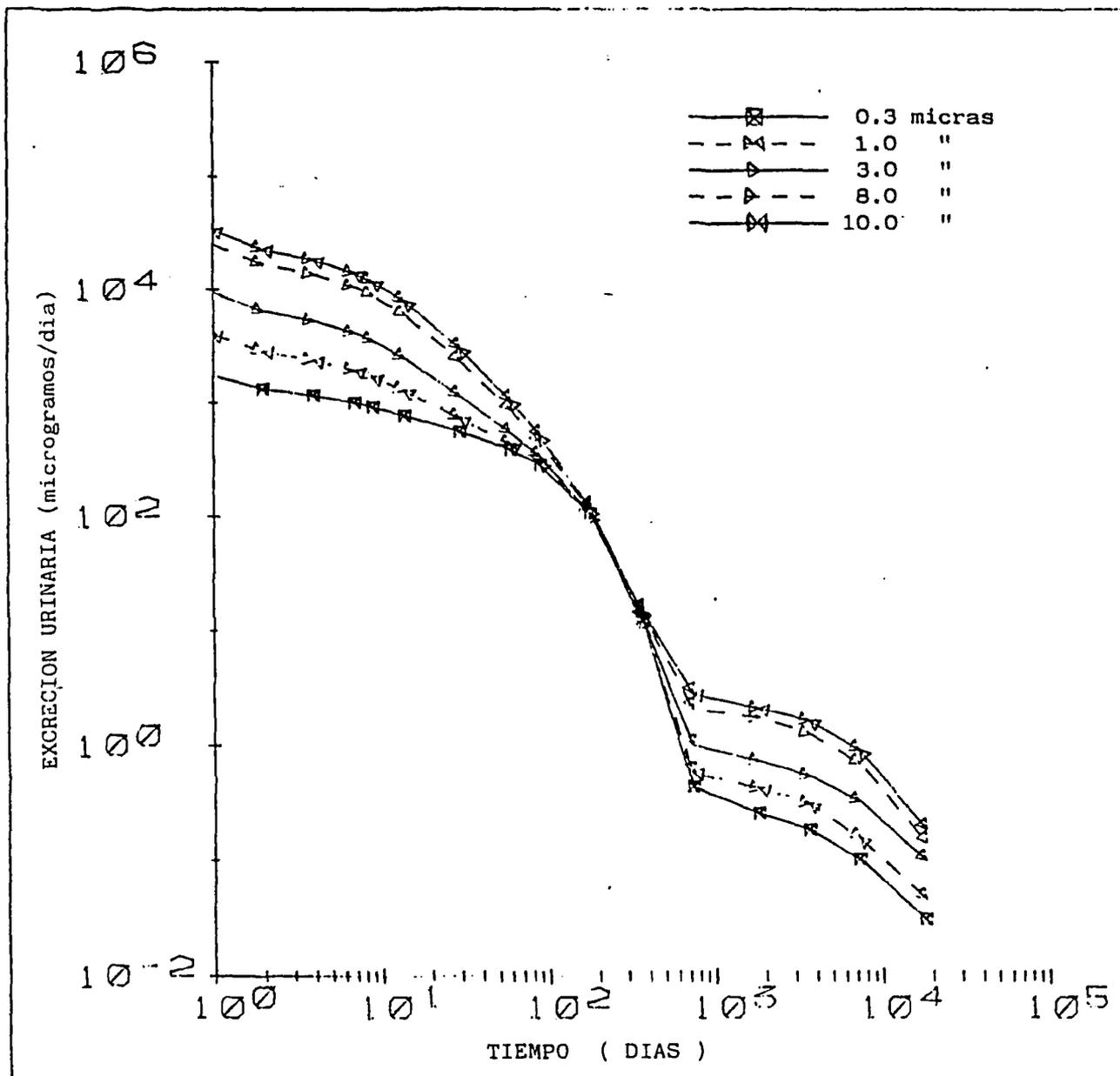


Fig. 14.- Excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{dia}$) para incorporación única de 1 LIA de Uranio clase W, enriquecido al 3% y distintos valores de AMAD.

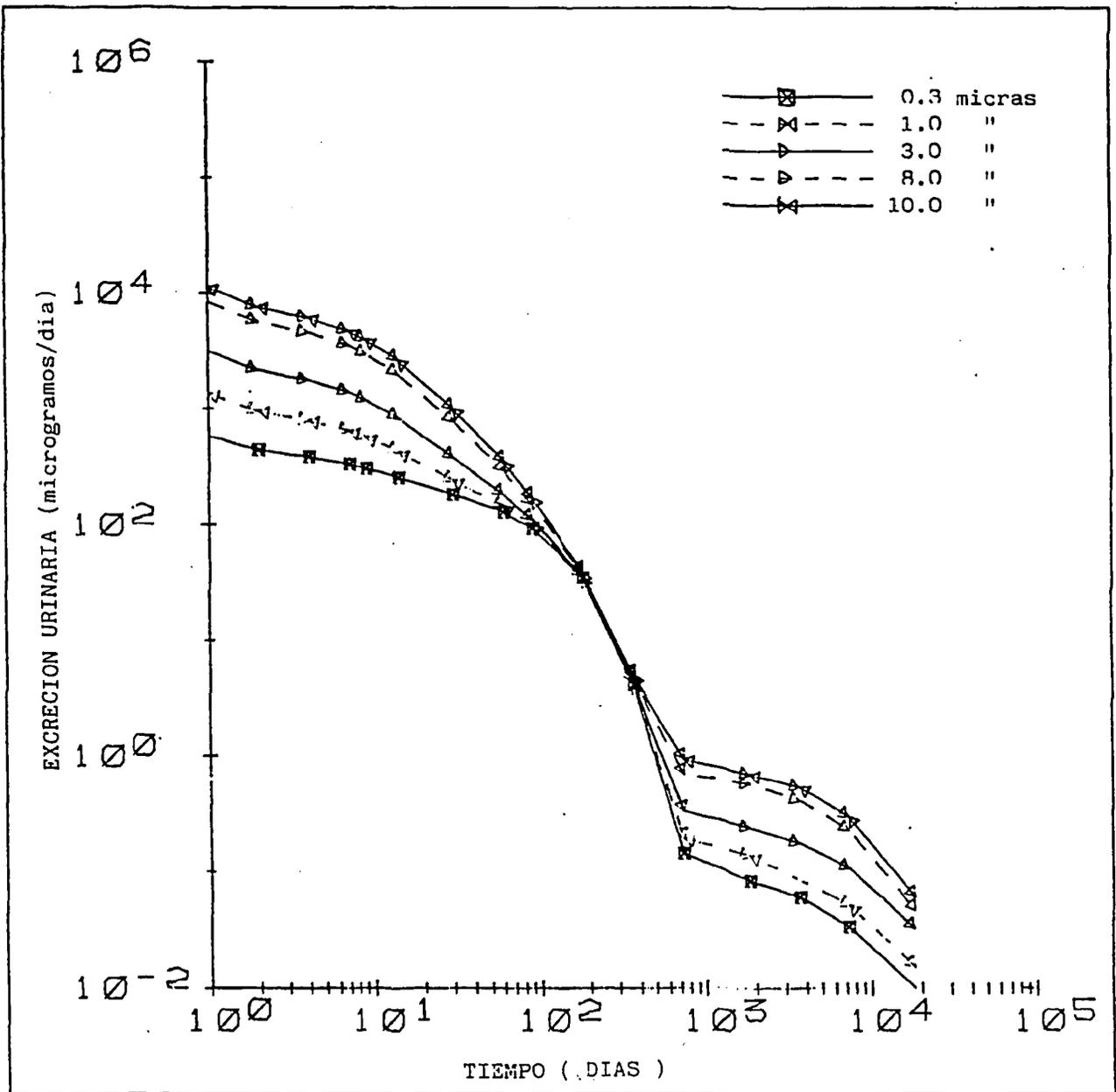


Fig. 15.- Excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{dia}$) para incorporación única de 1 LIA de Uranio Natural, Clase W y distintos valores de AMAD.

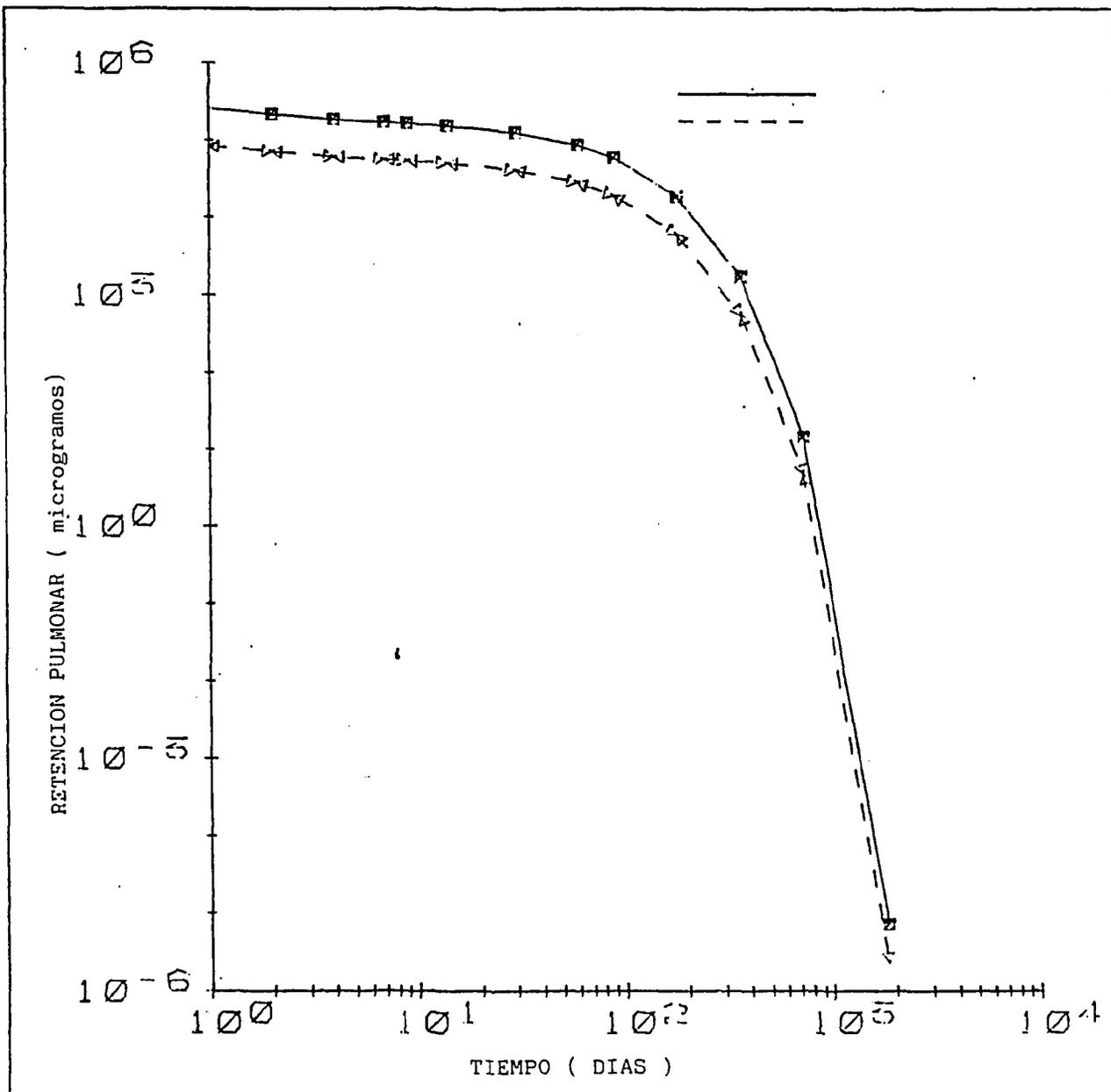


FIG. 16.- Retención pulmonar para incorporación única de 1 LIA de Uranio clase W, Natural y Enriquecido al 3%.

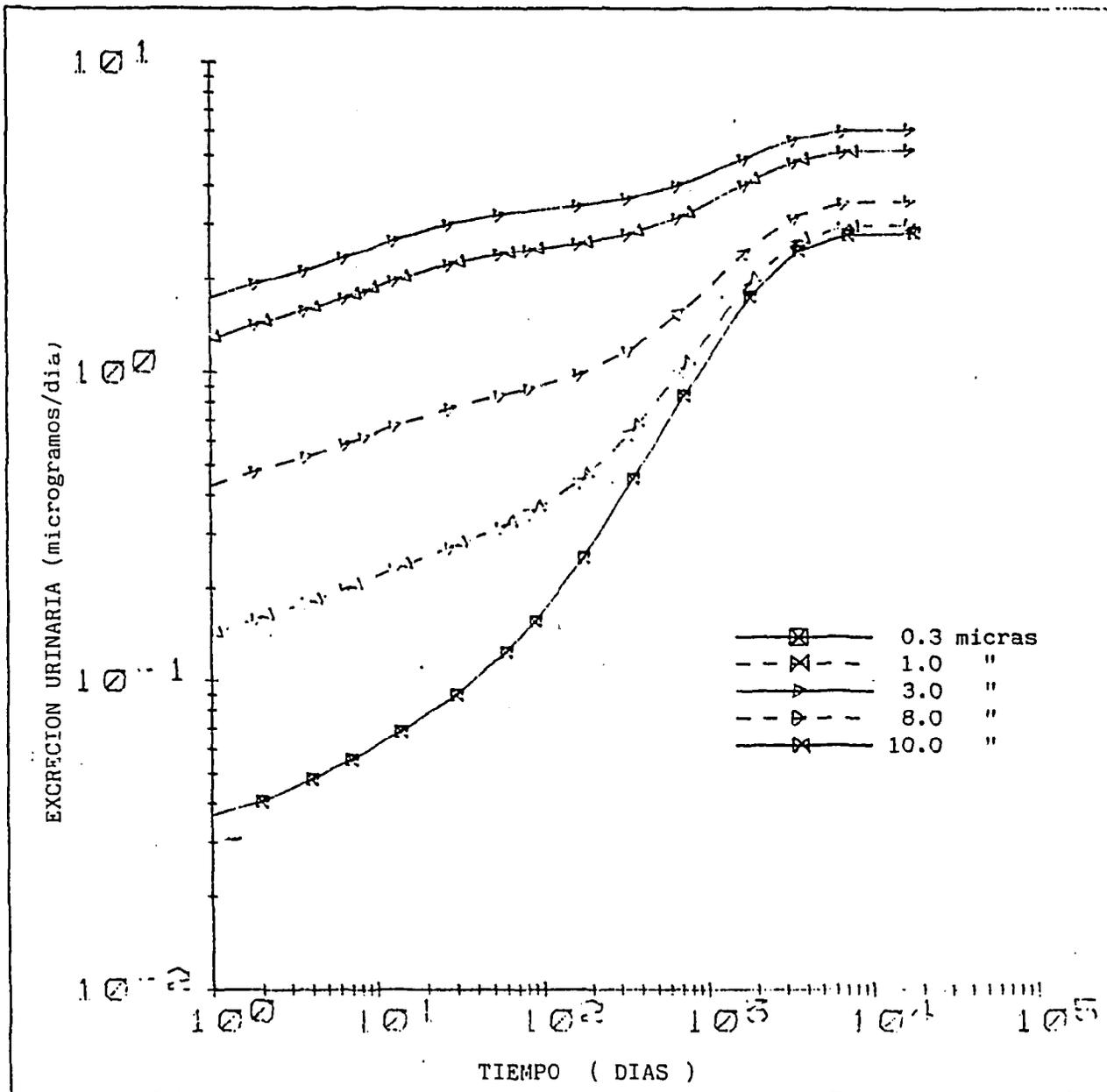


FIG. 17.-Excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{dia}$) para incorporación continua de 1 LIA/año de Uranio clase Y, enriquecido al 3% y distintos valores de AMAD.

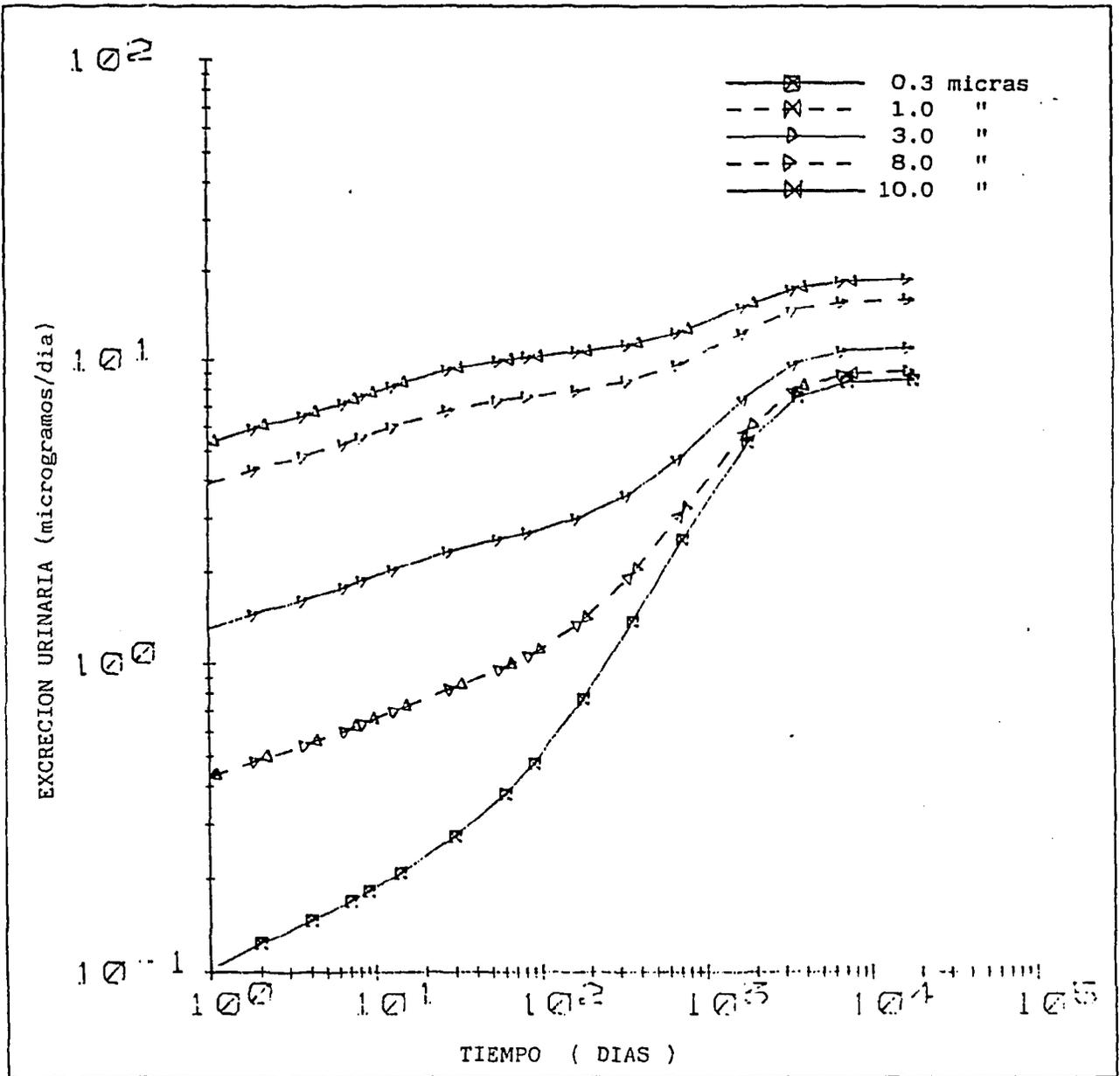


FIG. 18.- Excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{dia}$) para incorporación continua de 1 LIA/año de Uranio Natural Clase Y, y distintos valores de AMAD.

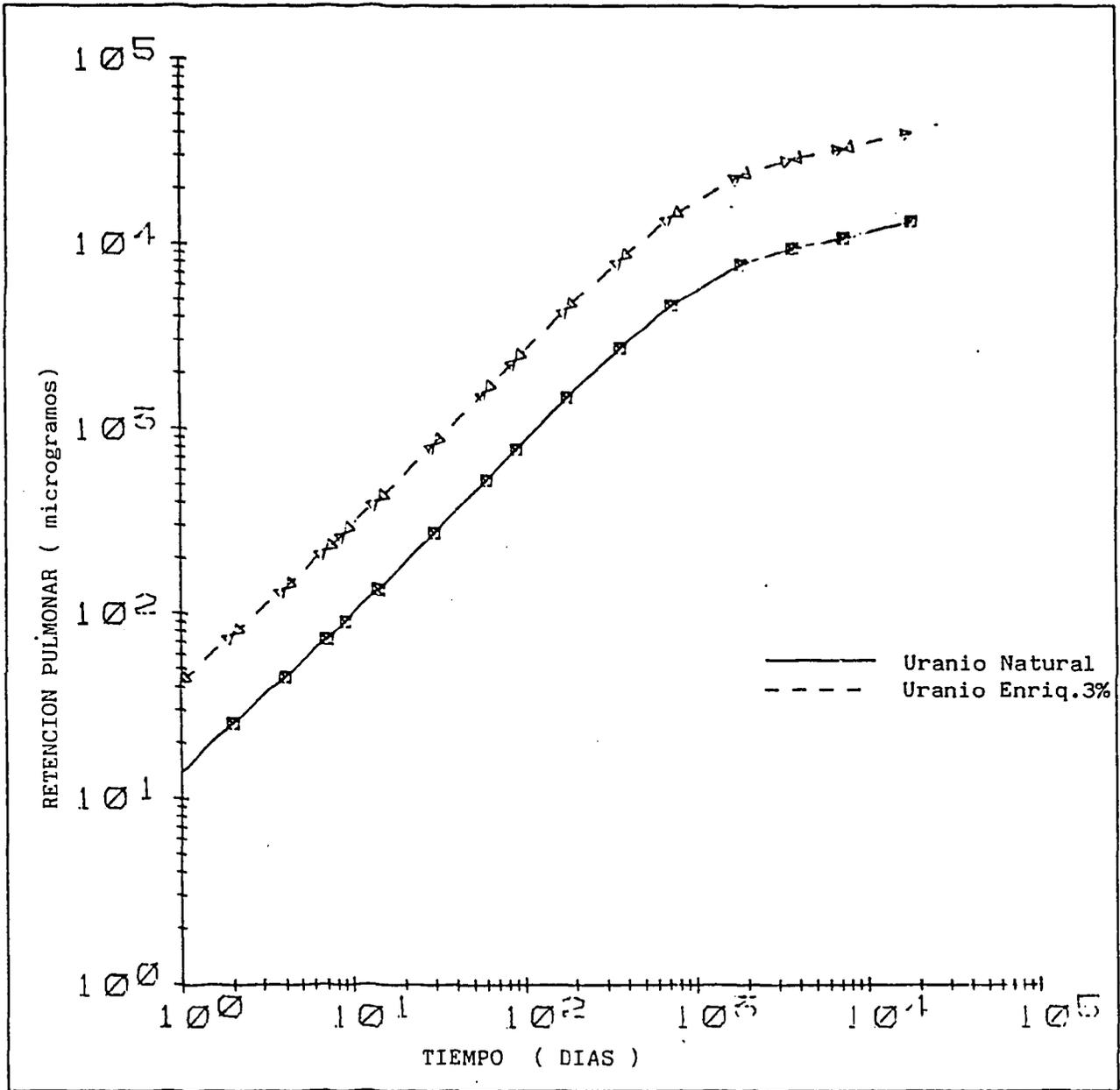


FIG. 19.- Retención pulmonar para incorporación continua de 1 LIA/año de Uranio Natural o enriquecido al 3%, clase Y.

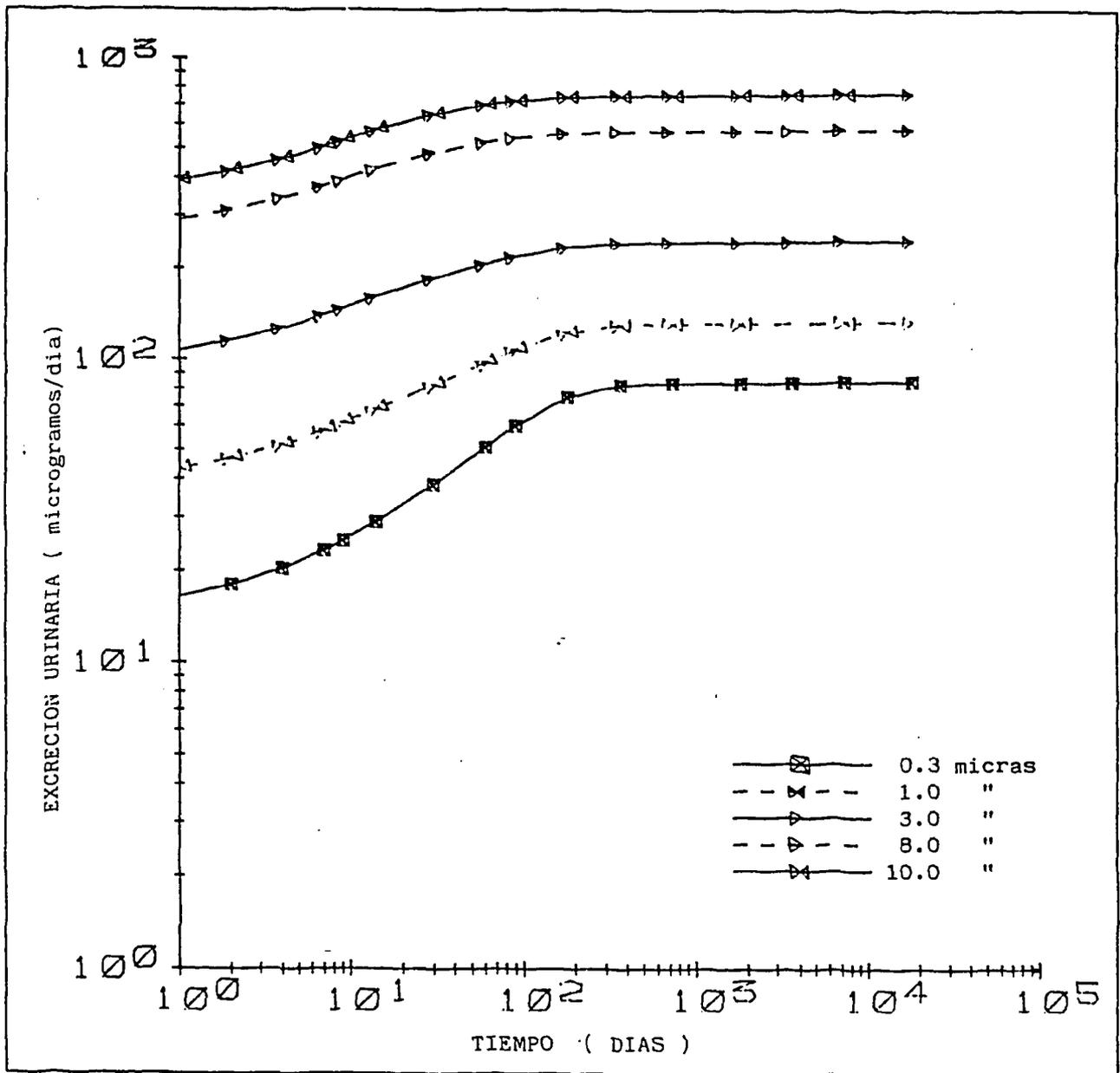


FIG. 20.- Excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{dia}$) para incorporación continua de 1 LIA/año de Uranio Clase W, enriquecido al 3% y distintos valores de AMAD.

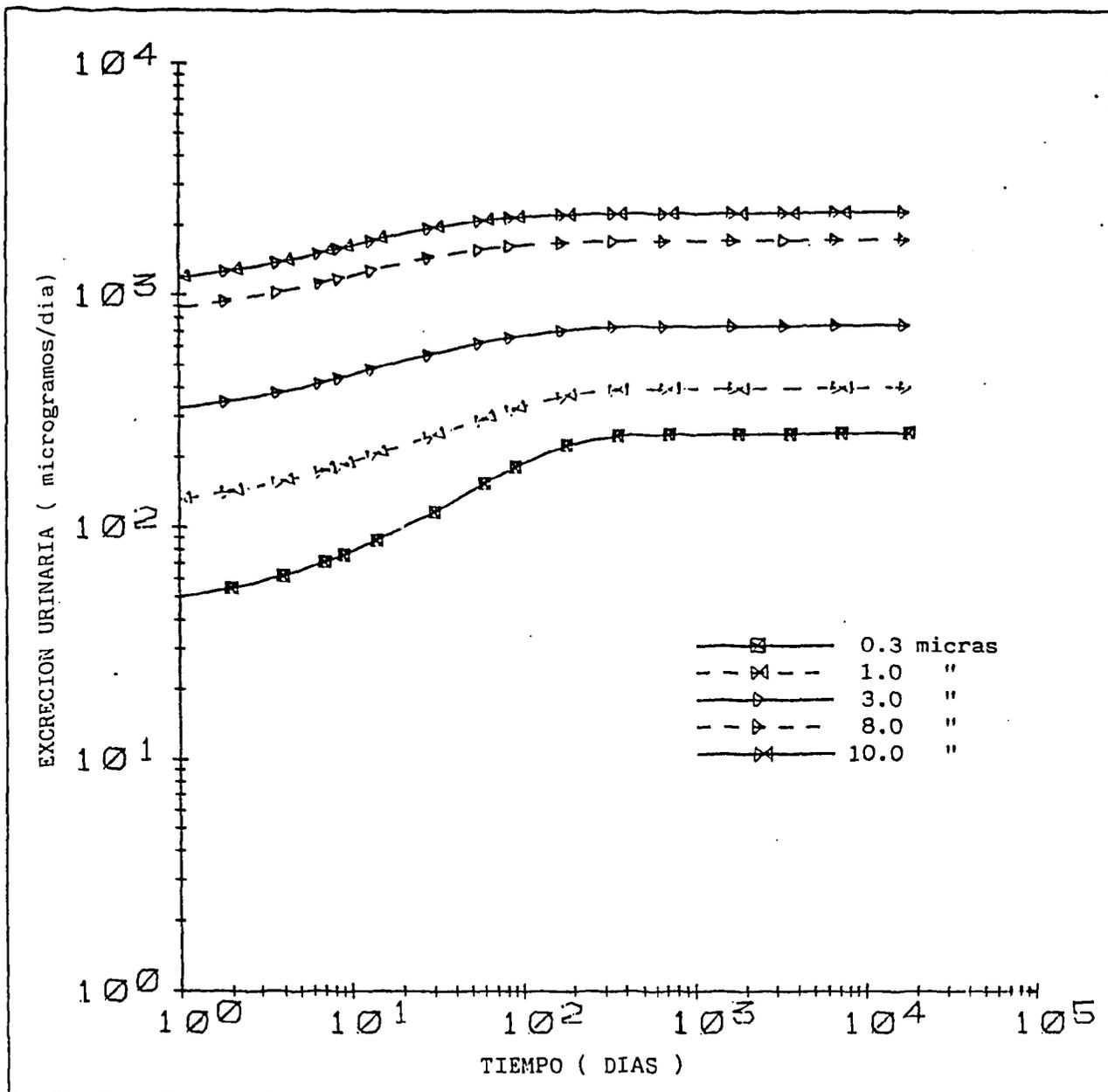


FIG. 21.- Excreción urinaria diaria ($\mu\text{g}/\text{día}$) para incorporación continua de 1 LIA/año de Uranio Natural Clase W, y distintos valores de AMAD.

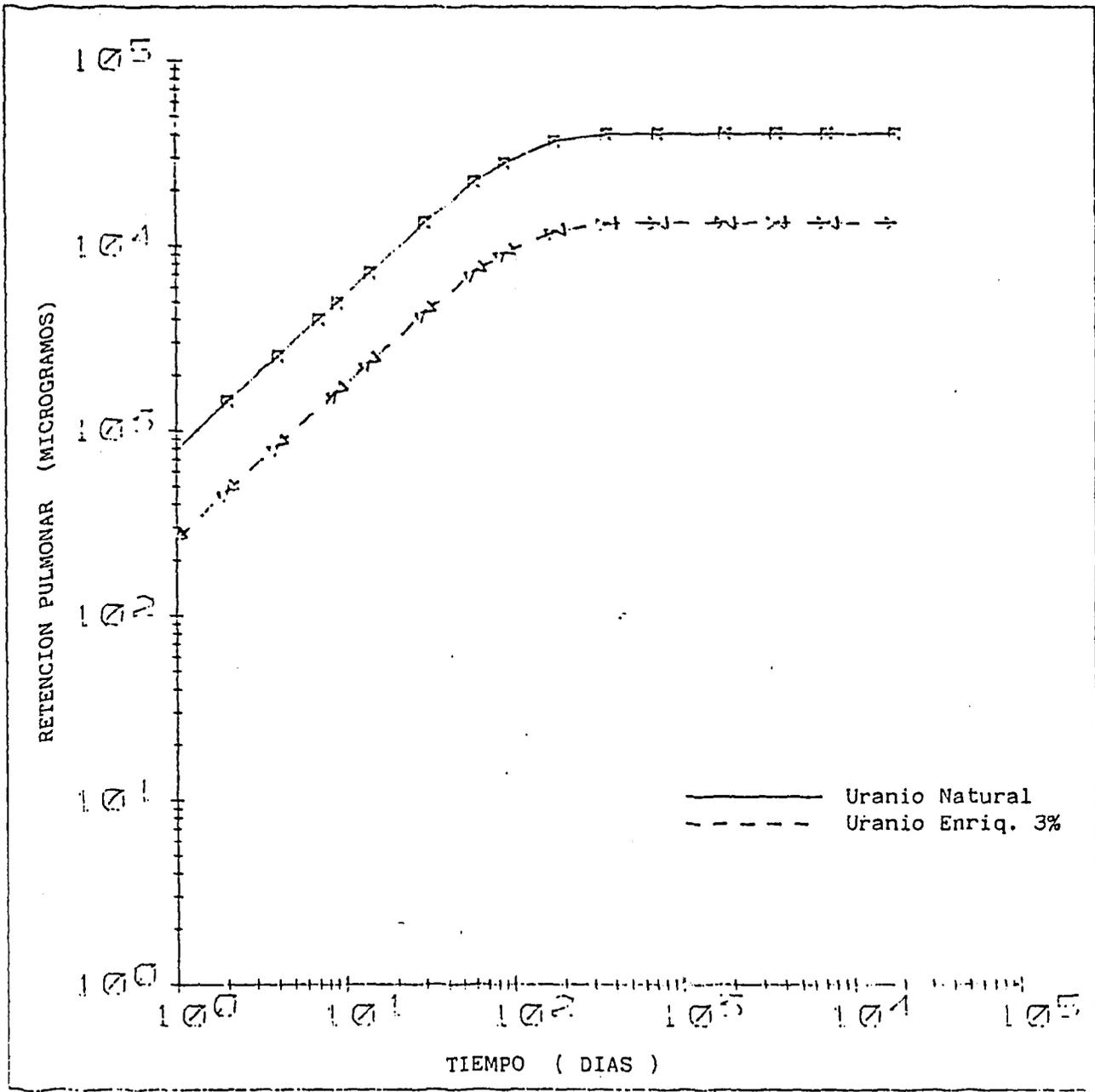


FIG. 22.- Retención pulmonar para incorporación continua de 1 LIA/año de Uranio Natural o enriquecido al 3%, clase W.

CIEMAT-615

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto PRYMA. Madrid.

"Programación de los controles dosimétricos individuales para contaminación interna por inhalación de uranio".

VAZQUEZ, C.; CHAPEL, Ma.L.; SAENZ, R. (1988) 102 pp. 22 figs. 27 refs.

Se estudia el comportamiento metabólico del uranio inhalado. Mediante un determinado método de resolución analítica, aplicado a los modelos y al procedimiento de cálculo de dosis recomendados por la ICRP, se calculan las dosis equivalentes internas integradas en órganos y la dosis equivalente efectiva. A partir de ellas, se deducen los LIA y CDA.

En el trabajo se analiza la influencia que, en dichos resultados, tienen diversos parámetros, para el caso específico de una determinada fábrica de elementos combustibles nucleares. En especial, se estudia la influencia del AMAD y del tipo de solubilidad del material inhalado.

Los resultados muestran la decisiva influencia de algunos de dichos parámetros sobre los límites de dosis secundarios y derivados. Se muestran las relaciones entre la incorporación real, expresada como fracción del LIA, y la retención pulmonar o la excreción urinaria, para distintos casos e hipótesis sobre la forma de la incorporación. Se establecen las incorporaciones mínimas que pueden detectarse con las técnicas disponibles.

CIEMAT-615

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto PRYMA. Madrid.

"Programación de los controles dosimétricos individuales para contaminación interna por inhalación de uranio".

VAZQUEZ, C.; CHAPEL, Ma.L.; SAENZ, R. (1988) 102 pp. 22 figs. 27 refs.

Se estudia el comportamiento metabólico del uranio inhalado. Mediante un determinado método de resolución analítica, aplicado a los modelos y al procedimiento de cálculo de dosis recomendados por la ICRP, se calculan las dosis equivalentes internas integradas en órganos y la dosis equivalente efectiva. A partir de ellas, se deducen los LIA y CDA.

En el trabajo se analiza la influencia que, en dichos resultados, tienen diversos parámetros, para el caso específico de una determinada fábrica de elementos combustibles nucleares. En especial, se estudia la influencia del AMAD y del tipo de solubilidad del material inhalado.

Los resultados muestran la decisiva influencia de algunos de dichos parámetros sobre los límites de dosis secundarios y derivados. Se muestran las relaciones entre la incorporación real, expresada como fracción del LIA, y la retención pulmonar o la excreción urinaria, para distintos casos e hipótesis sobre la forma de la incorporación. Se establecen las incorporaciones mínimas que pueden detectarse con las técnicas disponibles.

CIEMAT-615

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto PRYMA. Madrid.

"Programación de los controles dosimétricos individuales para contaminación interna por inhalación de uranio".

VAZQUEZ, C.; CHAPEL, Ma.L.; SAENZ, R. (1988) 102 pp. 22 figs. 27 refs.

Se estudia el comportamiento metabólico del uranio inhalado. Mediante un determinado método de resolución analítica, aplicado a los modelos y al procedimiento de cálculo de dosis recomendados por la ICRP, se calculan las dosis equivalentes internas integradas en órganos y la dosis equivalente efectiva. A partir de ellas, se deducen los LIA y CDA.

En el trabajo se analiza la influencia que, en dichos resultados, tienen diversos parámetros, para el caso específico de una determinada fábrica de elementos combustibles nucleares. En especial, se estudia la influencia del AMAD y del tipo de solubilidad del material inhalado.

Los resultados muestran la decisiva influencia de algunos de dichos parámetros sobre los límites de dosis secundarios y derivados. Se muestran las relaciones entre la incorporación real, expresada como fracción del LIA, y la retención pulmonar o la excreción urinaria, para distintos casos e hipótesis sobre la forma de la incorporación. Se establecen las incorporaciones mínimas que pueden detectarse con las técnicas disponibles.

CIEMAT-615

Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas.
Instituto PRYMA. Madrid.

"Programación de los controles dosimétricos individuales para contaminación interna por inhalación de uranio".

VAZQUEZ, C.; CHAPEL, Ma.L.; SAENZ, R. (1988) 102 pp. 22 figs. 27 refs.

Se estudia el comportamiento metabólico del uranio inhalado. Mediante un determinado método de resolución analítica, aplicado a los modelos y al procedimiento de cálculo de dosis recomendados por la ICRP, se calculan las dosis equivalentes internas integradas en órganos y la dosis equivalente efectiva. A partir de ellas, se deducen los LIA y CDA.

En el trabajo se analiza la influencia que, en dichos resultados, tienen diversos parámetros, para el caso específico de una determinada fábrica de elementos combustibles nucleares. En especial, se estudia la influencia del AMAD y del tipo de solubilidad del material inhalado.

Los resultados muestran la decisiva influencia de algunos de dichos parámetros sobre los límites de dosis secundarios y derivados. Se muestran las relaciones entre la incorporación real, expresada como fracción del LIA, y la retención pulmonar o la excreción urinaria, para distintos casos e hipótesis sobre la forma de la incorporación. Se establecen las incorporaciones mínimas que pueden detectarse con las técnicas disponibles.

Los resultados que se presentan constituyen una ayuda útil para la toma de decisiones, en cuanto al tipo y frecuencia de los controles dosimétricos a establecer, en distintas circunstancias.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: C55.00. Radiation Monitoring. Planning. Metabolism. Personnel Dosimetry. Internal Irradiation. Inhalation. Uranium. Dose Equivalents. Radiation Protection. Air.

Los resultados que se presentan constituyen una ayuda útil para la toma de decisiones, en cuanto al tipo y frecuencia de los controles dosimétricos a establecer, en distintas circunstancias.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: C55.00. Radiation Monitoring. Planning. Metabolism. Personnel Dosimetry. Internal Irradiation. Inhalation. Uranium. Dose Equivalents. Radiation Protection. Air.

Los resultados que se presentan constituyen una ayuda útil para la toma de decisiones, en cuanto al tipo y frecuencia de los controles dosimétricos a establecer, en distintas circunstancias.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: C55.00. Radiation Monitoring. Planning. Metabolism. Personnel Dosimetry. Internal Irradiation. Inhalation. Uranium. Dose Equivalents. Radiation Protection. Air.

Los resultados que se presentan constituyen una ayuda útil para la toma de decisiones, en cuanto al tipo y frecuencia de los controles dosimétricos a establecer, en distintas circunstancias.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: C55.00. Radiation Monitoring. Planning. Metabolism. Personnel Dosimetry. Internal Irradiation. Inhalation. Uranium. Dose Equivalents. Radiation Protection. Air.