

REPUBLICA ARGENTINA  
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA



INFORME N.º 138

Incorporación de Productos de Fisión  
en Plantas Acuáticas

por

Dan Beninson, Eric Vander Elst y David Cancio



BUENOS AIRES  
1964

---

---

## INCORPORACION DE PRODUCTOS DE FISION EN PLANTAS ACUATICAS

Dan Beninson, Eric Vander Elst y David Cancio

### INTRODUCCION

Al planearse la eliminación de residuos radioactivos, se debe necesariamente tener en cuenta los diversos procesos que influyen sobre el destino del material liberado. Algunos de estos procesos tienden a reducir los riesgos eventuales por dispersión o por remoción de la radioactividad de los sectores relevantes de la biósfera. Otros procesos, en cambio, pueden re concentrar los radionucleidos eliminados ya sea en el medio original o en algunos eslabones de una cadena alimenticia.

Los parámetros relacionados con el segundo tipo de proceso resultan de particular importancia para la evaluación de los riesgos humanos potenciales.

En el caso de eliminación en agua dulce, uno de los principales procesos significativos para la eventual contaminación humana es la incorporación y concentración de radionucleidos por la biota acuática.

El parámetro usual de incorporación es el "factor de concentración"  $\frac{\text{Actividad por gramo de biota}}{\text{Actividad por ml. de agua}}$  (1). La utilidad

de este parámetro para predecir niveles de contaminación está dificultada por diversos factores, entre ellos la llamada "disponibilidad" de los compuestos que contienen el radionucleido, los cambios de los ritmos metabólicos, etc.

El presente trabajo se refiere al estudio en laboratorio de la incorporación de diversos productos de fisión en plantas representativas de la vegetación acuática de los pequeños ríos de Ezeiza, Provincia de Buenos Aires, y se relaciona con los estudios preoperacionales en conexión con las instalaciones de la C.N.E.A. en esa zona, ya que permite la identificación de "indicadores biológicos" de utilidad para el monitoreo ambiental correspondiente.

---

## PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

Los experimentos se realizaron en varios acuarios de 100 litros cada uno, utilizando agua y plantas de los ríos locales, cuyas características están descritas más adelante.

Con respecto al agua, se llevó a cabo un muestreo regular de los ríos regionales, a razón de unas 10 muestras diarias, durante cinco meses. Las muestras fueron adicionadas de diversas maneras y analizadas, no encontrándose tendencias temporales significativas.

La tabla I presenta los valores promedio encontrados; los errores standard de los promedios oscilan entre el 5 y el 10% de los valores.

T A B L A I  
CONCENTRACIONES PROMEDIO EN AGUA DE RIO

SiO <sub>2</sub>	10.0 p.p.m.	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.05 p.p.m.
CO <sub>3</sub> Ca	40.6 "	Ca <sup>++</sup>	11.0 "
Cl <sup>-</sup>	17.9 "	Na <sup>+</sup>	31.0 "
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	27.1 "	Mg <sup>++</sup>	3.4 "
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	< 1 "	K <sup>+</sup>	3.0 "
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	< 0.01 "	F <sup>-</sup>	0.3 "

Los valores de la tabla I, son representativos del medio usado en los experimentos. La concentración de algunos de los iones fué cambiada convenientemente al estudiar el efecto de algún componente particular (ejemplo Ca<sup>++</sup>) sobre la incorporación de radionucleidos.

Los experimentos fueron realizados con "plantas vasculares", debido a su carácter cosmopolita, su abundancia y su interés como primer eslabón de la mayoría de las cadenas alimenticias de agua dulce (2). Se utilizaron las siguientes especies, identificadas en los pequeños ríos de la región (3):

- a) Elodea Densa (Planch) Caspary. De crecimiento rápido; muy común en el área del Río de la Plata.
- b) Cabomba Australis Speg (Familia Nymphaeaceae). Frecuente en aguas poco profundas del noroeste de Argentina y Uruguay.

- c) *Ceratophyllum Demersum* L. Var. *Oxyacanthum* K. Schum (Familia *Ceratophyllaceae*). Frecuente en ríos pequeños de Argentina y del sur de Brasil.
- d) *Echinodorus* S.P. (Familia *Alismataceae*). Distribuida en el centro y sur de Argentina; frecuente en las orillas de la región del Río de la Plata.
- e) *Bacopa Monieri* (L) Pennell (Familia *Scrofulariaceae*). Extensamente distribuida, especialmente en áreas muy húmedas.

Las dos últimas especies generalmente no viven bajo el agua, pero quedan cubiertas ocasionalmente al subir el nivel de los ríos.

En los experimentos se usaron emisores gamma libres de portador; en algunos casos se usó además Ca-45 para mediciones con doble indicador. La pureza del Sr-85, Cs-137, Ce-144, La-140, Zr-95 y Ru-106 provistos por el Programa de Producción de la C.N.E.A., fué controlada sistemáticamente por espectrometría gamma y la del Ca-45 por absorción beta.

De acuerdo con los experimentos se añadieron diversas cantidades de portadores. También se controlaron cuidadosamente los estados de valencia; en particular, el cerio fué usado en valencia tres.

Normalmente se usó un radioisótopo por acuario; en algunos casos, no obstante, se ensayaron varios nucleidos simultáneamente. Durante el curso de los experimentos se extrajeron muestras de agua y plantas a distintos tiempos y se procesaron con las técnicas descriptas a continuación.

Las muestras de agua fueron normalizadas en volumen y medidas con un dispositivo de centelleo y un analizador multicanal. En las determinaciones de Ca-45 se añadió portador de Ca en exceso y se precipitó  $\text{CaSO}_4$  en alcohol absoluto. El precipitado fué secado, pesado y medido en un contador proporcional de flujo, en "espesor infinito". Varias comprobaciones muestran que la separación es cuantitativa (>99%).

Las muestras de plantas fueron calcinadas por vía húmeda con  $\text{HNO}_3$  y  $\text{H}_2\text{O}_2$ , habiéndose añadido los correspondientes portadores. Los residuos minerales fueron tomados en HCl, normalizados en volumen y medidos por espectrometría gamma. El calcio se precipitó y midió con el procedimiento mencionado anteriormente.

Los precipitados de calcio suelen arrastrar o coprecipitar cantidades variables de otros nucleidos (por ejemplo, el Sr es

---

coprecipitado cuantitativamente). Los valores medidos de Ca-45 fueron, por lo tanto, ajustados usando factores de corrección experimentales y las correspondientes mediciones gamma de los precipitados.

En las muestras de plantas se midió además el contenido de calcio y potasio estables mediante técnicas de espectrofotometría de llama.

#### RESULTADOS Y DISCUSION

##### a) Consideraciones Preliminares.

Como se mencionó anteriormente, la utilidad del "factor de concentración" para predecir niveles de contaminación está severamente limitada por diversas incertidumbres propias de los procesos involucrados. Por este motivo resulta aconsejable relacionar la incorporación de radionucleidos con la de elementos estables biológicamente importantes, de comportamiento metabólico similar.

Este enfoque ha sido utilizado en el presente trabajo en el caso del radioestroncio, ya que sigue al calcio en las cadenas alimenticias. Como el comportamiento de ambos elementos no es idéntico es de práctica de definir un "Factor de Discriminación" (4)

$$F.D = \frac{(\text{actividad Sr}^{90}/\text{g Calcio}) \text{ muestra}}{(\text{actividad Sr}^{90}/\text{g Calcio}) \text{ precursor}}$$

Este factor, para ser un parámetro de transferencia útil, debe ser relativamente independiente de la concentración del elemento estable y debe reflejar las condiciones de equilibrio.

Si los radionucleidos considerados no tienen conducta similar a la de elementos estables biológicamente importantes, se debe necesariamente utilizar el "factor de concentración" como parámetro de transferencia, aún reconociendo sus limitaciones. Esta es la situación con los radiosótopos de Zirconio, Rutenio y Tierras Raras.

El caso del radiocesio tiene características particulares. Su similitud química con el potasio induce a definir un "factor de discriminación" para los procesos de incorporación de ambos. No obstante, existe alguna evidencia experimental, en otros sistemas biológicos, que la relación Cs/K varía de una manera no uniforme en los procesos de transferencia y que la variación depende de varios parámetros, entre ellos la concentración de potasio (5)(6). Por ello pareció razonable ensayar ambos enfoques al estudiar la incorporación de radiocesio en la vegetación de agua dulce.

## b) Incorporación de Radioestroncio.

Los experimentos muestran que las plantas llegan en menos de 96 horas a un equilibrio con el medio; las concentraciones de Sr y de Ca en las muestras se mantuvieron luego razonablemente constantes durante un mes.

La tabla II presenta los factores de discriminación medidos en distintas condiciones de concentración relativa Sr/Ca en el medio. El término de error incluido es un error standard del promedio.

Los resultados de la tabla II muestran que los factores de discriminación se mantienen constantes a lo largo de una amplia gama de concentraciones relativas de Sr a Ca. Debe señalarse además que las concentraciones absolutas de este último elemento no influyen apreciablemente sobre los valores medidos. En cambio, a concentraciones altas de Sr (del mismo orden que las del Ca) el factor de discriminación decrece substancialmente.

La incorporación relativa de Sr y Ca medida difiere considerablemente de la que ha sido observada en diversas cadenas alimenticias humanas, en las que los "factores de discriminación" son claramente menores que uno (7). Estas plantas no discriminan contra el estroncio al incorporar calcio; más aún su absorción parece preferencial en el caso de la Elodea.

Puede admitirse, por lo tanto, que el cociente radioestroncio a calcio en estas plantas será del mismo orden que el del agua en prácticamente todas las circunstancias. Como el Calcio es un elemento regulado homeostáticamente se puede estimar fácilmente la actividad de radioestroncio transferido por esta vegetación acuática a partir de las relaciones Sr/Ca del agua.

Los "factores de concentración" para el radioestroncio, en cambio, son generalmente erráticos; no obstante, la fluctuación en la Elodea y Cabomba no es extrema. Debe recordarse que el calcio se concentra en magnitudes similares. Para estas plantas los valores obtenidos fueron:

Elodea..... 1600 (Rango 880-1950).

Cabomba ..... 380 (Rango 170-480).

Como los valores son muy fluctuantes, las predicciones basadas en los "factores de discriminación" parecen ser claramente preferibles.

T A B L A I I  
RADIOESTRONCIO  
FACTORES DE DISCRIMINACION

Planta	Nº de Exp.	Factor de Discriminación Sr/Ca (Relación ponderal)						
		1/10000	1/1000	1/100	1/10	1/2	1/1	2/1
Bacopa	35	1.00 ± 0.04	1.22 ± 0.05	1.02 ± 0.12	0.95 ± 0.03	0.80 ± 0.10	0.57 ± 0.09	0.60 ± 0.05
Cabomba	120	2.30 ± 0.08	1.43 ± 0.02	1.38 ± 0.03	0.80 ± 0.12	0.37 ± 0.13	0.57 ± 0.02	0.71 ± 0.04
Elodea	130	2.40 ± 0.09	3.10 ± 0.03	2.90 ± 0.03	1.32 ± 0.10	0.91 ± 0.14	0.74 ± 0.02	0.79 ± 0.04
Ceratoph.	35	1.90 ± 0.15	1.84 ± 0.11	1.37 ± 0.03	1.16 ± 0.06	1.05 ± 0.11	0.73 ± 0.02	0.66 ± 0.08

## c) Incorporación de Radiocesio.

Como el contenido de Cesio estable de los ríos de la zona es despreciable, los experimentos fueron fundamentalmente llevados a cabo con Cs-137 sin portador.

La tabla III presenta los "factores de concentración de Cs-137, medidos en presencia de varias concentraciones de K<sup>+</sup>. La Elodea nuevamente tiene el mayor "factor de concentración" entre las plantas estudiadas.

Los resultados muestran que la presencia de K<sup>+</sup> influye fuertemente sobre la incorporación de Cesio. Algunos ensayos para determinar un "factor de discriminación" muestran que el valor obtenido varía también con la concentración de potasio, similarmente a lo que ocurre en vegetales terrestres (5). La variación, no obstante, es substancialmente menor que la del "factor de concentración" en el caso de la Elodea y la Cabomba. Los valores se ajustan satisfactoriamente con las siguientes relaciones:

$$\text{Elodea} \quad f = 1,50 + 1,6 \times 10^{-2} (K)$$

$$\text{Cabomba} \quad f = 0,25 + 0,7 \times 10^{-2} (K)$$

donde f es el "factor de discriminación" y (K) la concentración de potasio en partes por millón.

T A B L A I I I  
RADIOCESIO  
FACTOR DE CONCENTRACION

Plantas	Nº de Exp.	Factor de Concentración				
		p.p.m. K <sup>+</sup> en agua				
		2	10	25	50	100
Elodea	35	2018 ± 235	1350 ± 163	785 ± 114	540 ± 128	347 ± 77
Cabomba	25	1043 ± 110	726 ± 95	450 ± 66	308 ± 52	162 ± 26
Echinodorus	21	880 ± 104	618 ± 78	352 ± 51	246 ± 27	147 ± 18
Bacopa	25	340 ± 55	225 ± 23	136 ± 12	101 ± 11	47 ± 6
Ceratoph.	20	2050 ± 190	1290 ± 138	790 ± 71	580 ± 43	280 ± 32

A la concentración de potasio presente en los ríos de Ezeiza, los "factores de discriminación" resultan alrededor de 2 para la Elodea y 0.3 para la Cabomba. Debe reconocerse que estos parámetros no tienen significado teórico, pero pueden resultar de utilidad para evaluar transferencias de Cesio por una cadena alimenticia acuática.

La relación Cs/K en las plantas resultan del mismo orden que las del agua. La variabilidad de los resultados tiene relativamente poca importancia en la estimación de riesgos. En efecto, los factores medidos son bajos y como el Cs-137 no está entre los nucleidos más riesgosos, su importancia será pequeña frente a otros productos de fisión presentes en los residuos radioactivos habituales.

d) Incorporación de Tierras Raras.

Las Tierras Raras se absorben muy pobremente en el tubo intestinal humano y por ello no se consideran de importancia sanitaria considerable como contaminantes de una cadena alimenticia. No obstante, la actividad de Ce-144-Pr-144 es una fracción substancial de productos de fisión cuya edad no exceda algunos años y resulta importante descartar la posibilidad de alguna concentración considerable a lo largo de la cadena alimenticia. El La-140, pese a su corta vida, fué estudiado con fines de comparación.

Las tablas IV y V presentan los resultados y muestran que la cantidad de portador isotópico no influye significativamente sobre los factores de concentración de Ce y de La, que resultan ser del orden de  $10^4$ . Debe recalcar que el Ce en estos experimentos estaba en valencia 3; diversas precipitaciones de yodo de cerio comprobaron que la valencia 4 no estuvo presente significativamente.

T A B L A I V  
FACTOR DE CONCENTRACION DE Ce<sup>144</sup>

Planta	Nº de Exp.	Sin portador	1.08 uE/l	2.15 uE/l
		x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>
Cabomba	30	8.7 ± 0.8	7.8 ± 1.4	5.8 ± 0.6
Elodea	30	34.8 ± 6.3	20.2 ± 1.2	22.8 ± 1.1
Bacopa	30	6.4 ± 0.7	3.0 ± 0.4	2.1 ± 0.1
Echinodorus	30	6.6 ± 1.7	4.7 ± 0.4	2.6 ± 0.5
Ceratophyllum	30	27.5 ± 0.8	26.3 ± 1.3	23.8 ± 0.7

T A B L A V  
FACTOR DE CONCENTRACION  $\text{La}^{140}$

Planta	Nº de Exp.	$\text{La}^{+++}$ 1.10 uE/l	2.17 uE/l	4.34 uE/l
		$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$
Cabomba	25	$7.2 \pm 1.3$	$4.3 \pm 0.7$	$3.3 \pm 0.5$
Elodea	25	$22.6 \pm 0.8$	$29.4 \pm 4.6$	$28.3 \pm 1.3$
Bacopa	25	$5.9 \pm 0.7$	$5.4 \pm 0.2$	$3.1 \pm 0.2$
Echinodorus	25	$4.2 \pm 0.3$	$5.6 \pm 0.2$	$5.1 \pm 0.6$
Ceratophyllum	25	$29.6 \pm 1.1$	$26.6 \pm 1.3$	$30.6 \pm 0.5$

La presencia de iones férricos influye fuertemente sobre los factores de concentración de  $\text{La}$ ; el efecto es claro a bajas concentraciones de  $\text{Fe}^{+++}$  y no aumenta a niveles mayores (Tabla VI). El factor de concentración se reduce por factores que oscilan entre 3 y 10.

T A B L A V I  
CONCENTRACION DE  $\text{La}^{140}$   
INFLUENCIA DEL  $\text{Fe}^{+++}$

Planta	Nº de Exp.	Fe 0.0 uE/l	97.2 uE/l	243 uE/l	486 uE/l
		$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$
Cabomba	25	$7.2 \pm 1.3$	$0.72 \pm 0.6$	$0.78 \pm 0.05$	$0.37 \pm 0.03$
Elodea	25	$22.6 \pm 0.8$	$7.7 \pm 0.5$	$7.2 \pm 0.7$	$3.7 \pm 0.1$
Bacopa	25	$5.9 \pm 0.7$	$2.0 \pm 0.2$	$0.94 \pm 0.12$	$0.35 \pm 0.05$
Echinodorus	25	$4.2 \pm 0.3$	$0.71 \pm 0.05$	$0.62 \pm 0.11$	$0.24 \pm 0.01$
Ceratoph.	25	$29.6 \pm 1.1$	$7.2 \pm 0.4$	$7.8 \pm 0.4$	$3.7 \pm 0.4$

El mismo tipo de fenómeno no se observa en el caso del Ce. Un conjunto similar de experiencias muestran una reducción insignificante del factor de concentración, llegando en casos excepcionales a cerca de 40%.

Como el  $Ce^{144}$  es concentrado en forma importante por las plantas estudiadas la vegetación de agua dulce resulta ser un "detector biológico" conveniente para el monitoreo ambiental en la vecindad de instalaciones nucleares. Merece citarse que muestras tomadas durante 1963 contenían alrededor de 1 pc/g de  $Ce^{144}$  proveniente del fallout (7).

e) Incorporación de Rutenio y Zirconio.

Las actividades de rutenio están presentes en los residuos en varias formas químicas, principalmente como iones trivalentes y tetravalentes y como complejos. Algunas experiencias de ensayo mostraron que el rutenio iónico se concentra en mayor escala que las otras formas químicas. Por lo tanto el portador para los experimentos sistemáticos fué preparado a partir de  $RuO_4$  recientemente destilado y recogido en HCl; el rutenio así tratado se encuentra en forma iónica, predominantemente trivalente.

La tabla VII contiene los promedios y errores standard de los valores medidos. Las concentraciones de portador en uE/l fueron calculadas suponiendo que la totalidad del Ru se encontraba en forma iónica trivalente.

T A B L A V I I  
FACTOR DE CONCENTRACION DE  $Ru^{106}$

Planta	Nº de Exp.	Sin portador	Ru 1.7 uE/l	8.5 uE/l	17 uE/l
		$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$
Elodea	20	$1.48 \pm 0.20$	$2.55 \pm 0.26$	$1.91 \pm 0.17$	$2.22 \pm 0.30$
Cabomba	19	$1.37 \pm 0.22$	$1.31 \pm 0.20$	$1.19 \pm 0.08$	$1.44 \pm 0.27$
Bacopa	30	$1.32 \pm 0.13$	$1.58 \pm 0.11$	$1.51 \pm 0.08$	$1.84 \pm 0.37$
Echinodorus	20	$0.43 \pm 0.05$	$0.30 \pm 0.02$	$0.31 \pm 0.05$	$0.47 \pm 0.04$
Ceratoph.	20	$1.86 \pm 0.21$	$1.18 \pm 0.07$	$1.70 \pm 0.40$	$1.23 \pm 0.10$

Los resultados muestran que el rutenio es concentrado en unos tres ordenes de magnitud (salvo el Echinodorus - factor 400). La concentración de portador no afecta la incorporación.

La conducta del Zirconio en soluciones acuosas es sumamente errática debido a hidrólisis, complejamiento y formación de coloides. En los experimentos el portador usado fué nitrato de Zirconio. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla VIII. Determinaciones por diálisis mostraron que cantidades variables de Zirconio se volvían coloidales durante las experiencias.

T A B L A V I I I  
FACTOR DE CONCENTRACION  $Zr^{95}$

Planta	N° de Exp.	Sin portador	Zr 50 $\gamma$ /1	200 $\gamma$ /1	500 $\gamma$ /1
		$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^3$
Cabomba	20	$0.72 \pm 0.14$	$0.35 \pm 0.02$	$0.20 \pm 0.02$	$0.17 \pm 0.01$
Elodea	20	$0.90 \pm 0.08$	$0.77 \pm 0.03$	$0.26 \pm 0.02$	$0.40 \pm 0.02$
Bacopa	20	$0.54 \pm 0.10$	$0.55 \pm 0.07$	$0.21 \pm 0.01$	$0.16 \pm 0.02$
Echinodorus	20	$0.25 \pm 0.04$	$0.16 \pm 0.01$	$0.06 \pm 0.01$	$0.06 \pm 0.01$
Ceratoph.	20	$0.81 \pm 0.03$	$0.55 \pm 0.03$	$0.39 \pm 0.06$	$0.28 \pm 0.01$

Las determinaciones de factores de concentración de Zr tienen una nueva complicación. En efecto, en experimentos a largo plazo se hace necesario separar radioquímicamente el  $Zr^{95}$  y el  $Nb^{95}$ , ya que en la planta pueden estar lejos de equilibrio y sus líneas gamma no son fácilmente separables. Las mediciones de rendimientos químicos en estas separaciones introducen nuevas incertidumbres en los resultados. Los valores de la tabla VIII son, por lo tanto, mucho más coherentes que lo que se podría presuponer.

## BIBLIOGRAFIA

1. KRUMHOLZ, L.A. and POSTER, R.F.- Accumulation and Retention of Radioactivity from fission products and other Radiomaterials by fresh water organisms. The effects of Atomic Radiation on Oceanography and Fisheries, pg. 88-95. National Academy of Sciences, National Research Council, Publication 551 (1957).
  2. HARTMAN, R.T. - Studies on the autecology of vascular hydrophytes and their role in productivity and mineral ceiling in aquatic ecosystems. (Pittsburgh Univ.) Jan. 15, 1963. TID. , 7703.
  3. CABRERA, A.J.- Manual de la Flora de los alrededores de Buenos Aires. Editorial ACMEA. A - Buenos Aires (1953).
  4. COMAR, C.O.; SCOTT RUSSELL, R. and WASSERMAN, R.H.- Science, Vol. 126, pg. 485 (1957).
  5. MIDDLETON, L.; HANDLEY, R. and OVERSTREET, R.- Plant Physiology, 35, 913 (1960).
  6. WASSERMAN, R. and COMAR, C. - Radiation Research, 15, 70 (1961).
  7. BENINSON, D.; RAMOS, E. y KRAMER, J. - Fallout en Argentina durante 1963 - Informe CNEA (en publicación).
-