

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

INFORME N.º 133

Estudio de Evolución de Materiales Radioactivos
en el Medio Terrestre

por

Dan Beninson, Eric Vander Elst y Esteban Ramos

==

BUENOS AIRES

1964

ESTUDIO DE EVOLUCION DE MATERIALES RADIOACTIVOS
EN EL MEDIO TERRESTRE

Dan Beninson, Eric Vander Elst y Esteban Ramos

INTRODUCCION

El fallout en la República Argentina es, en su mayor parte, de origen estratosférico, con predominio de radioisótopos de vida larga. Adicionalmente algunas inyecciones ecuatoriales fueron seguidas brevemente por fallout "fresco". Algunos radionucleidos del fallout entran con facilidad en las cadenas alimenticias y son incorporados por el hombre. Si bien los niveles medidos son sanitariamente despreciables, su presencia permite el estudio de la transferencia de radionucleidos a lo largo de las vías que los conducen hasta el hombre.

El presente trabajo resume las determinaciones de radioactividad en el aire superficial, fallout, alimentos y tejidos humanos, realizadas en Argentina. Estos datos son discutidos a la luz de información sobre eliminación de residuos radioactivos, que también es resumida en el trabajo. Salvo indicación contraria, los datos presentados corresponden a la zona litoral argentina, y en parte han sido ya incluidos en publicaciones de la CNEA. La información sobre retención de productos de fisión en suelos y su incorporación por plantas acuáticas es fruto de estudios apoyados por contrato con el OIEA; asimismo, la presentación sobre radioestronecio en la dieta y huesos de niños es el resultado de trabajo apoyado por contrato con la USAEC.

2. PRODUCTOS DE FISION EN EL AIRE SUPERFICIAL Y EN EL FALLOUT

La recolección de los aerosoles radioactivos se hace por filtración diaria de 5000 Kg de aire y la del fallout radioactivo mensual por depósito en recipientes de alta pared. Las muestras obtenidas son procesadas radioquímicamente o medidas por espectrometría gamma. La tabla I presenta los resultados mensuales de los años 1959 a 1963 para Sr-90.

Resalta claramente un aumento sistemático estacional de los niveles del fallout mensual (correspondiente al fin del invierno y a la primavera). Esta variación es marcada aun en años apartados de las pruebas nucleares, tales como 1960 y 1963,

y es similar a la observada en la correspondiente estación del Hemisferio Norte (1). El efecto estacional observado es cualitativamente compatible con algunos modelos propuestos para la circulación general de la atmósfera (2) (3). El mismo tipo de variación se observa en las concentraciones de Sr-90 en aire; en particular, en 1959 es sustancialmente más marcada que la del depósito mensual, probablemente debido a la inusualmente escasa lluvia primaveral en ese año. Durante la primavera los niveles en aire aumentan o se mantienen considerablemente altos pese al aumento del fallout mensual, indicando un claro incremento de la cantidad de Sr-90 que ingresa a la atmósfera superficial desde el "reservoir" atmosférico.

Los niveles de Cs-137 presentan características similares a las del Sr-90 y las relaciones Cs-137/Sr-90 en el depósito no variaron significativamente en el período estudiado. El promedio de las relaciones resulta de 1.8 ± 0.4 , valor en excelente acuerdo con rendimientos de fisión en explosiones nucleares (4).

La figura 1 muestra una estimación del depósito acumulado de Sr-90 en la zona litoral argentina, calculado a partir de los fallout medidos y la siguiente información adicional: el valor de enero 1956 es el resultado de dos análisis radioquímicos de suelo; análogamente se incluyen determinaciones (una para cada fecha) de suelo de marzo 1957, de enero 1958 y de septiembre 1958. Debe aclararse que las muestras de suelo habían sido tomadas para otros fines y no se puede atribuir mucha significación a estos valores. Pese a las incertidumbres introducidas, la estimación del depósito acumulado es del mismo orden que la estimada para latitudes correspondientes a partir de información más sólida (1).

En primera aproximación el fallout mensual aumenta con la precipitación pluvial. Para estudiar cuantitativamente el proceso se ha intentado relacionar la actividad presente en el agua de lluvia con la correspondiente del aire superficial. Con este fin se adicionaron mensualmente muestras de todas las lluvias durante 1961 y 1962; estos "pools" fueron analizados para Sr-90.

La figura 2 representa el cociente entre las concentraciones de Sr-90 del agua de lluvia y del aire en función de la precipitación pluvial mensual. Por el método de cuadrados mínimos, suponiendo una función potencial (sugerido por la distribución de puntos), resulta $C_l/C_a = K/L^{0.5}$, donde C_l es la concentración en la lluvia, C_a la concentración en el aire, K una constante de proporcionalidad y L la precipitación pluvial mensual. El exponente es significativamente diferente de cero, resultando que la actividad específica de la lluvia decrece con la magnitud de la precipitación. Esta sería la tendencia esperada suponiendo que una fracción de cada precipitación individual basta para limpiar momentáneamente la atmósfera de Sr-90.

La relación observada está en excelente acuerdo con determinaciones de 1960 (5), en las que la concentración aparente del Sr-90 en el agua de lluvia se obtuvo por cociente entre el fallout y la precipitación pluvial mensual, lo que sugiere que, en la zona estudiada, el fallout seco es despreciable. Un estudio similar referente al Cs-137, llevado a cabo en el Reino Unido (6), conduce a una función potencial análoga con menor exponente, lo que indicaría una mayor eficiencia de la lluvia en el arrastre del material radioactivo. Esta mayor eficiencia es consistente con el modelo supuesto ya que la lluvia está más uniformemente distribuida en el tiempo.

3. RETENCION DE LOS PRODUCTOS DE FISION EN EL SUELO

Es importante conocer el comportamiento de los productos de fisión depositados en el suelo ya que el mismo puede representar una fuente de contaminación residual. Los análisis de suelos para actividades del orden de los picocuries son extremadamente laboriosos y, en consecuencia, resulta más conveniente estudiar el comportamiento de los productos de fisión experimentalmente, con actividades mucho mayores.

Se realizaron experimentos con columnas de tierra de la zona litoral argentina, complementados con ensayos de liberación de residuos radioactivos "en el terreno". La figura 3 resume los resultados obtenidos. La retención es muy alta para Sr, Ca, Ba y Ce. Los datos concuerdan razonablemente bien con otros resultados publicados (7)(8)(9)(10). El Zirconio se retiene menos y los valores son muy erráticos; estos resultados son previsible dado la hidrólisis, la formación de complejos y el paso al estado coloidal, que caracterizan a este elemento. La retención del Rutenio es considerablemente mayor que la observada en algunos trabajos sobre eliminación de residuos (7), pero debe recordarse que en la mezcla eliminada, el nucleido está fundamentalmente en forma complejada (nitrosilrutenio).

El perfil de los radionucleidos del fallout en el suelo puede diferir del mostrado en la figura 3, ya que el material presente en el aire se encuentra en forma de finas partículas. No obstante, el Sr-90 y el Cs-137 de estas partículas pasa totalmente a solución acuosa y el perfil mostrado para estos nucleidos puede suponerse representativo; los datos de la figura 3 muestran que prácticamente quedan totalmente retenidos en los primeros cinco centímetros de suelo.

4. ENTRADA DE LOS RADIONUCLEIDOS A LAS CADENAS ALIMENTICIAS

4.1 La contaminación de las cadenas alimenticias terrestres ocurre por dos mecanismos:

- a) incorporación de radionucleidos por las plantas, a partir del "reservoir" constituido por el suelo,
- b) depósito directo del contaminante sobre la vegetación.

En la sección 5 de este trabajo se encuentra una discusión sobre la importancia relativa de ambos mecanismos.

Se estudió la incorporación de radioisótopos a partir del suelo en invernaderos, cultivando gramíneas típicas de la región en tierra uniformemente contaminada. Los resultados de estos experimentos están resumidos en la tabla II, como relación entre la actividad por gramo de planta y la de tierra (factor de concentración). La tabla no incluye valores para otros productos de fisión de interés (tales como Tierras Raras y Zirconio), ya que algunos experimentos de ensayo mostraron absorciones despreciables similarmente a lo observado por otros autores (11).

Los nucleidos de Cesio y Rutenio son incorporados pobremente y sólo una muy pequeña fracción puede encontrarse en las partes aéreas de la vegetación. En las raíces se encuentra una importante actividad de rutenio, pero situada en las capas externas; la concentración en porciones internas de la raíz es similar a la observada en las partes aéreas. Esta distribución sería la esperada en el caso de un coloide dializado por la raíz.

El radioestroncio, en cambio, es fácilmente incorporado y se distribuye de una manera aproximadamente homogénea. Se realizaron experimentos independientes para medir el factor de discriminación del Sr con respecto al Ca usando una técnica de doble indicador (Ca-45 y Sr-90), determinándose las fracciones disponibles por el procedimiento de extracción por soluciones electrolíticas en equilibrio. Los resultados, que presentan poca dispersión, muestran que la discriminación contra el Sr es pequeña (factor 0.60 ± 0.08).

4.2 Las cadenas alimenticias de agua dulce tienen, en la región estudiada, una importancia secundaria en lo que respecta a la contaminación humana. Se han estudiado experimentalmente no obstante, los parámetros de entrada de radionucleidos en la biota acuática por dos motivos:

- a) para descartar la posibilidad de factores de concentración muy importantes,
- b) para identificar "indicadores biológicos" útiles en el monitoreo de la vecindad de instalaciones nucleares.

Los experimentos se realizaron en varios acuarios de 100 a 800 litros cada uno, con agua y plantas de los ríos locales. Se utilizaron "plantas vasculares" debido a su carácter cosmo-

polita, su abundancia y su interés como primer eslabón de la mayoría de las cadenas alimenticias de agua dulce (12) y (13). Las experiencias se efectuaron generalmente con actividades libres de portador y, en algunos casos, se adicionaron cantidades variables de elementos que podían influir sobre el proceso de absorción.

La tabla III presenta los resultados referentes a la incorporación de radioestroncio, expresados como "factor de discriminación" con respecto al calcio. Los resultados muestran que los factores de discriminación se mantienen constantes a lo largo de una amplia gama de concentraciones relativas de Sr a Ca. Estas plantas no discriminan contra el Sr al incorporar Ca; más aún, su absorción parece preferencial en el caso de la Elodea. Puede admitirse, por lo tanto, que el cociente Sr-90/Ca en estas plantas será del mismo orden que el del agua en prácticamente todas las circunstancias.

La tabla IV resume los "factores de concentración" de Cs-137 medidos en presencia de diversas concentraciones de K^+ , que influyen claramente sobre la incorporación de Cs. Algunos ensayos para determinar un "factor de discriminación" muestran que el valor obtenido varía también con la concentración de K^+ , similarmente a lo que ocurre en vegetales terrestres (14). La variación, no obstante, es sustancialmente 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:

$$\begin{aligned} \text{Elodea} \quad f &= 1.50 + 1.6 \times 10^{-2} [K^+] \\ \text{Cabomba} \quad f &= 0.25 + 0.7 \times 10^{-2} [K^+] \end{aligned}$$

donde f es el "factor de discriminación" y $[K^+]$ la concentración de potasio en partes por millón. A la concentración de K^+ presente en los ríos de la región, 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 Cs por una cadena alimenticia acuática.

La tabla V presenta los resultados de factores de concentración de Ce, Ru y Zr, sin portador. El Ru y el Zr se concentran en dos a tres órdenes de magnitud. Dada la tendencia a la formación de complejos y al paso al estado coloidal de estos elementos, extrapolaciones de estos resultados a diversas condiciones del "terreno" resultan problemáticas. El Ce es concentrado en forma importante por las plantas estudiadas. En particular, la Elodea y el Ceratophyllum resultan ser "detectores biológicos" convenientes para el monitoreo operacional en la

vecindad de instalaciones que liberen productos de fisión. Merece citarse que muestras de estas plantas tomadas durante 1963 contenían alrededor de 1pc/g de Ce-144, proveniente del fallout; el monitoreo de agua de río a los niveles correspondientes es claramente engorroso debido al volumen requerido de muestra.

5. RADIONUCLEIDOS PROVENIENTES DEL FALLOUT EN LOS ALIMENTOS

5.1 El radioestroncio, incorporado a la biosfera, sigue al Ca en las cadenas alimenticias y se deposita en el hueso humano. En la República Argentina alrededor del 80% del Ca de la dieta humana proviene de la leche y el nivel del Sr-90 en este alimento es uno de los parámetros determinantes de la contaminación del hombre.

La tabla VI presenta los niveles promedio de Sr-90 en la leche de la zona litoral argentina, junto con información pertinente del fallout. Los errores standard de los promedios oscilan entre 10 y 15%.

Se ha sugerido (15) que la actividad del Sr-90 en leche puede satisfacer la relación $C = aD + bd$, donde C es la contaminación láctea expresada en $\mu\mu\text{c/gCa}$; D es el depósito acumulado en la tierra, en mc/km^2 ; d es el depósito por unidad de tiempo, en mc/km^2 . año, y a y b son constantes de proporcionalidad, que dependen del tipo de suelo y vegetación, característica de lluvia, etc. Usando la información de la tabla VI se pueden calcular las constantes de proporcionalidad por regresión múltiple, resultando $a = 0.27$ y $b = 0.42$; la fórmula anterior estima los niveles en leche con una desviación standard de 0.37 pc/gCa.

El nivel de Sr-90 en la dieta total del hombre ha sido estimado a partir de mediciones de alimentos e información sobre la dieta de la región (16). La relación Sr-90/Ca resulta ser alrededor de 1.6 veces la de la leche, en los años 1961 a 1963.

5.2 La figura 4 muestra los niveles promedio de Cs-137 en la leche de la región litoral argentina, en función de las concentraciones del nucleido en el agua de lluvia del mismo período. La figura sugiere que la contaminación de la leche por Cs-137 depende esencialmente de la concentración de este nucleido en la lluvia, lo que sería explicable ya que la vegetación incorpora una cantidad relativamente constante de agua. La línea de regresión no se aparta significativamente del origen, implicando que el "reservoir" terrestre no constituye en el presente una fuente significativa de contaminación alimenticia. Esto es consistente con la muy pobre transferencia de Cs-137 de la tierra a la vegetación (sección 4.1).

La incorporación diaria de Cs-137 por el hombre ha sido estimada en unos 40 pc/día en el período 1961-1962; los alimentos de origen animal (carne, leche y derivados) contribuyen aproximadamente con el 80% del total (17).

5.3 Durante algunas semanas subsiguientes a detonaciones nucleares, se pueden encontrar radionucleidos de corto período en el fallout y en la dieta humana. Por su abundancia y período efectivo el I-131 tiene una significación preponderante en productos de fisión de pocos días a varias semanas. La importancia relativa de I-131 es acentuada por la facilidad con que es transferida en la cadena alimenticia ya que alrededor del 10% de la actividad ingerida por las vacas es segregada en la leche (18) (19).

Debido a las condiciones meteorológicas reinantes, la serie ecuatorial de fines de abril a principios de julio de 1962 condujo a niveles medibles de I-131 en la leche de la zona litoral argentina. El muestreo fué diario y se formaron "pools" por mezcla de fracciones ponderadas de acuerdo con la producción. Las mediciones muestran que el límite de detección (20 pc/l) fué excedido desde el 16 de mayo hasta principios de julio; el monitoreo fué posteriormente continuado con resultados no significativos (figura 5). La rápida subida inicial coincidió con un depósito de actividad fresca, lo cual es consistente con una rápida transferencia de I-131 a la leche. En el transcurso de unos 10 días los niveles oscilaron considerablemente, manteniéndose particularmente altos (promedio alrededor de 210 pc/l), y luego la curva se hizo descendente con un período de cerca de una semana, lo que sugiere que durante algo menos de un mes no fué añadida nueva contaminación significativa al pasto. Los valores de la segunda mitad de junio son bajos, mostrando que los nuevos aportes del fallout fueron muy inferiores a los del mes de mayo. La contaminación integrada resultó de 4450 pc.día/litro y las dosis tiroideas resultantes en la población son despreciables desde el punto de vista radiosanitario (20).

6. RADIOESTRONCIO EN EL HOMBRE

El Sr-90 se deposita en los huesos humanos junto con el Ca y debido a su largo período efectivo la irradiación del hueso y de la médula ósea se prolonga mucho después del período contaminante. Los niños presentan un interés especial, ya que tienen una acelerada osteogénesis y su esqueleto tiende a seguir los cambios de nivel de la dieta. Además los adultos han formado la mayor parte de su esqueleto en épocas en las que el Ca no estaba contaminado por Sr-90.

La tabla VII presenta los promedios de las determinaciones de hueso y dieta representativa de niños de diferentes edades,

correspondientes a 1961 y parte de 1962. La dieta materna está también estimada para el período de gestación correspondiente. La mayor parte de las muestras de hueso provienen de hospitales pediátricos, donde los niños pasaron la mayor parte de su vida; por lo tanto las dietas fueron estimadas con cierto grado de certidumbre (16).

El nivel óseo de Sr-90 se relaciona con el de la dieta por la siguiente expresión:

$$(\text{Sr/Ca})_{\text{hueso}} = \frac{\text{Ca}_f \cdot R_m \cdot f_t + \sum_i \text{Ca}_i \cdot R_i \cdot f_i}{\text{Ca}_f + \sum_i \text{Ca}_i}$$

donde: Ca_f es la cantidad de Ca fetal, R_m es la relación Sr-90/gCa en la dieta de la madre, f_t es la discriminación total entre la dieta materna y el feto, Ca_i es la cantidad de calcio incorporada durante el período i , R_i es la relación Sr-90/Ca en la dieta del niño durante el período i , f_i es el factor de discriminación durante el período i .

Usando los datos de la tabla VII y la expresión anterior se pueden calcular los factores de discriminación involucrados, resultando: dieta materna a feto 0.12; primer semestre de vida 0.75; segundo semestre 0.35 y en edades superiores a un año 0.25. Las incertidumbres involucradas en el cálculo son grandes y no pueden ser fácilmente estimadas; por lo que los resultados deben ser considerados como casi un "artefacto". No obstante, es sugestivo que los valores calculados siguen una tendencia con la edad similar a la estimada en otras regiones (21).

Las determinaciones de Sr estable en huesos y dietas permite mejores evaluaciones que las anteriores. En particular, las condiciones de equilibrio están aseguradas y los niveles de la dieta son constantes con el tiempo. Comenzando en 1962 se efectuaron determinaciones de Sr estable en huesos y dietas usando un procedimiento de difracción de rayos X (16).

La tabla VIII presenta los resultados, junto con los factores de discriminación, calculados en forma similar a la indicada para Sr-90. Los resultados de ambas estimaciones están en acuerdo satisfactorio. Se puede atribuir mayor significación a los factores correspondientes a las edades más jóvenes, ya que las indeterminaciones se apilan en el procedimiento de cálculo. Los niveles de Sr-90 medidos en el hueso humano implican una dosis de radiación ósea de pocos milirad por año, enteramente despreciables frente al fondo natural de radiación.

T A B L A I

MES	1959		1960		1961		1962		1963	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Enero	1.41 ± 0.07	0.110 ± 0.010	0.21 ± 0.02	0.050 ± 0.005	0.28 ± 0.01	0.120 ± 0.012	0.55 ± 0.02	0.117 ± 0.012	0.69 ± 0.02	0.152 ± 0.008
Febrero	1.99 ± 0.09	0.135 ± 0.008	0.25 ± 0.01	0.051 ± 0.005	0.34 ± 0.02	0.099 ± 0.006	0.16 ± 0.13	0.060 ± 0.006	0.45 ± 0.01	0.089 ± 0.008
Marzo	2.24 ± 0.08	0.171 ± 0.009	0.16 ± 0.02	0.094 ± 0.009	0.29 ± 0.02	0.092 ± 0.010	0.36 ± 0.01	0.050 ± 0.009		0.112 ± 0.010
Abril	0.75 ± 0.07	0.094 ± 0.008	0.21 ± 0.01	0.040 ± 0.005	0.36 ± 0.01	0.052 ± 0.007	0.35 ± 0.04	0.050 ± 0.006	0.31 ± 0.01	0.063 ± 0.006
Mayo	0.42 ± 0.01	0.036 ± 0.004	0.28 ± 0.02	0.020 ± 0.010	0.24 ± 0.01	0.071 ± 0.006	0.27 ± 0.01	0.030 ± 0.003		0.071 ± 0.005
Junio	0.75 ± 0.01	0.040 ± 0.004	0.07 ± 0.01	0.032 ± 0.007	0.19 ± 0.01	0.046 ± 0.005	0.13 ± 0.01	0.040 ± 0.003	0.32 ± 0.01	0.090 ± 0.007
Julio	0.59 ± 0.02	0.033 ± 0.004	0.06 ± 0.02	0.038 ± 0.004	0.10 ± 0.01	0.025 ± 0.003	0.17 ± 0.01	0.070 ± 0.010		0.064 ± 0.005
Agosto	2.08 ± 0.08	0.028 ± 0.002	0.23 ± 0.01	0.042 ± 0.005	0.24 ± 0.01	0.060 ± 0.004	0.26 ± 0.01	0.150 ± 0.007	0.46 ± 0.01	0.155 ± 0.012
Septiembre	3.32 ± 0.08	0.090 ± 0.005	0.29 ± 0.02	0.110 ± 0.011	0.27 ± 0.02	0.044 ± 0.005	0.32 ± 0.01	0.240 ± 0.010		0.432 ± 0.015
Octubre	2.82 ± 0.10	0.041 ± 0.003	0.28 ± 0.01	0.180 ± 0.008	0.29 ± 0.01	0.214 ± 0.008	0.38 ± 0.01	0.078 ± 0.008	0.46 ± 0.01	0.189 ± 0.009
Noviembre	0.16 ± 0.02	0.038 ± 0.004	0.31 ± 0.03	0.074 ± 0.006	0.41 ± 0.02	0.222 ± 0.009	0.44 ± 0.01	0.685 ± 0.020		0.130 ± 0.008
Diciembre	0.58 ± 0.05	0.041 ± 0.005	0.19 ± 0.01	0.065 ± 0.006	0.42 ± 0.03	0.131 ± 0.006	0.38 ± 0.01	0.114 ± 0.005		0.174 ± 0.007

a: Aire 10⁻³ μC/Kg

Sr-90 en el aire superficial y el fallout

b: Depósito mC/Ea². mes

T A B L A I I
INCORPORACION DE RADIONUCLEIDOS POR PLANTAS TERRESTRES

Radionucleido	Actividad por gramo planta Actividad por gramo tierra (%)	
	Sr^{90}	Parte aérea
	Rafz	100 ± 15
Cs^{137}	Parte aérea	1.23 ± 0.08
	Rafz	7.20 ± 2.00
Ru^{106}	Parte aérea	0.20 ± 0.04
	Rafz	85.00 ± 5.00

12

T A B L A I I I
RADIOESTRONCIO
FACTORES DE DISCRIMINACION EN PLANTAS ACUATICAS

Planta	Nº de Exper.	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	0.90 ± 0.12	0.87 ± 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

T A B L A I V
RADIOCESIO
FACTORES DE CONCENTRACION EN PLANTAS ACUATICAS

Plantas	Nº de Exper.	Factor de concentración ppm K ⁺ en agua				
		2	10	25	50	100
Elodea	35	2018 ± 235	1350 ± 163	785 ± 114	540 ± 128	349 ± 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

T A B L A V
FACTORES DE CONCENTRACION EN PLANTAS ACUATICAS

Planta	Nº de Exper.	Ce ¹⁴⁴ (x 10 ³)	Ru ¹⁰⁶ (x 10 ³)	Zr ⁹⁵ (x 10 ³)
Cabomba	30	8.7 ± 0.8	1.37 ± 0.22	0.72 ± 0.14
Elodea	30	34.8 ± 6.3	1.48 ± 0.20	0.90 ± 0.08
Bacopa	30	6.4 ± 0.7	1.32 ± 0.18	0.54 ± 0.10
Echinodorus	30	6.6 ± 1.7	0.43 ± 0.05	0.25 ± 0.04
Ceratophyllum	30	27.5 ± 0.8	1.86 ± 0.21	0.81 ± 0.03

T A B L A V I
FALLOUT Y Sr-90 EN LECHE

Período	Depósito acumulado (mc/Km ²)	Fallout promedio (mc/Km ² . año)	Nivel promedio en leche (pc/g. Ca)
1er. semestre 1960	6.8	0.60	1.63
2do. semestre 1960	7.1	1.02	2.14
1er. semestre 1961	7.7	0.96	1.85
2do. semestre 1961	8.0	1.40	3.22
1er. semestre 1962	8.8	0.70	3.05
2do. semestre 1962	9.4	2.68	3.54
1er. semestre 1963	10.6	1.15	3.31
2do. semestre 1963	11.5	2.21	4.17

T A B L A V I I
Sr-90 EN LOS HUESOS Y DIETAS DE NIÑOS (1961)

Grupo	Edad promedio (meses)	Hueso promedio pc/g Ca	Dieta media				Dieta materna pc/g Ca
			0-6 meses pc/g Ca	6-12 meses pc/g Ca	12-24 meses pc/g Ca	24-36 meses pc/g Ca	
Hueso fetal	-	0.62	1.45	-	-	-	5.1
0-6	2.5	0.79	1.45	-	-	-	5.1
6-12	9.4	0.70	1.15	2.51	-	-	3.3
12-24	19.5	0.71	1.15	1.99	3.59	-	3.3
24-36	32.0	0.76	1.15	1.99	3.59	3.68	3.3

CANTIDAD DE CALCIO INCORPORADA EN DIVERSOS PERIODOS

Ca fetal	24.0 g.	Ca 6-12 meses	30.4 g.
Ca 0-2.5 meses	12.5 g.	Ca 12-19.5 meses	25.0 g.
Ca 0-6.0 meses	30.4 g.	Ca 12-24 meses	39.6 g.
Ca 6-9.4 meses	17.3 g.	Ca 24-32 meses	17.9 g.

T A B L A V I I I

Sr ESTABLE EN HUESOS Y DIETAS DE NIÑOS

Grupo	Hueso mg Sr/g Ca	Dieta mg Sr/g Ca	Factor de discriminación
Hueso fetal	0.22	1.75 (materna)	0.12 (Dieta materna a feto)
0- 3 meses	0.25	0.69	0.81
3- 6 meses	0.29	0.97	0.49
6- 9 meses	0.24	1.21	0.50
9-12 meses	0.31	1.24	0.28
12-24 meses	0.32	1.31	0.30
24-36 meses	0.41	1.35	0.22

T A B L A I X

Sr-90 Y Sr ESTABLE EN MUESTRAS ANTÁRTICAS

Muestra (1)	Especie	Fecha de muerte	Ca (%) (en cenizas)	Sr (ppm) (en cenizas)	$\frac{\text{mgSr}}{\text{g Ca}}$	$\frac{\text{pcSr-90}}{\text{g Ca}}$	$\frac{\text{pcSr-90}}{\text{mg Sr}}$
1	Pingüino	1 trim. 62	33.9	840	2.48	0.22	0.089
2	"	"	31.3	2.090	6.67	0.23	0.034
3	"	"	36.0	1.020	2.83	0.24	0.084
4	"	"	34.0	720	2.12	0.20	0.094
5	"	"	33.2	1.380	4.16	0.21	0.050
6	"	"	34.1	1.520	4.46	0.35	0.078
7	"	"	32.6	1.310	4.09	0.19	0.046
8	Fichón pingüi- no Adelia	3 trim. 62	31.2	1.190	3.81	0.29	0.094
9	Skua	1 trim. 62	28.0	630	2.25	0.13	0.058
10	Foca de Wedell	"	32.7	240	0.73	0.39	1.904
11	Lobo marino	"	29.4	600	2.04	0.19	0.093

(1) Las muestras fueron tomadas en el Destacamento Naval Orcadas (República Argentina) a 61° latitud Sud.

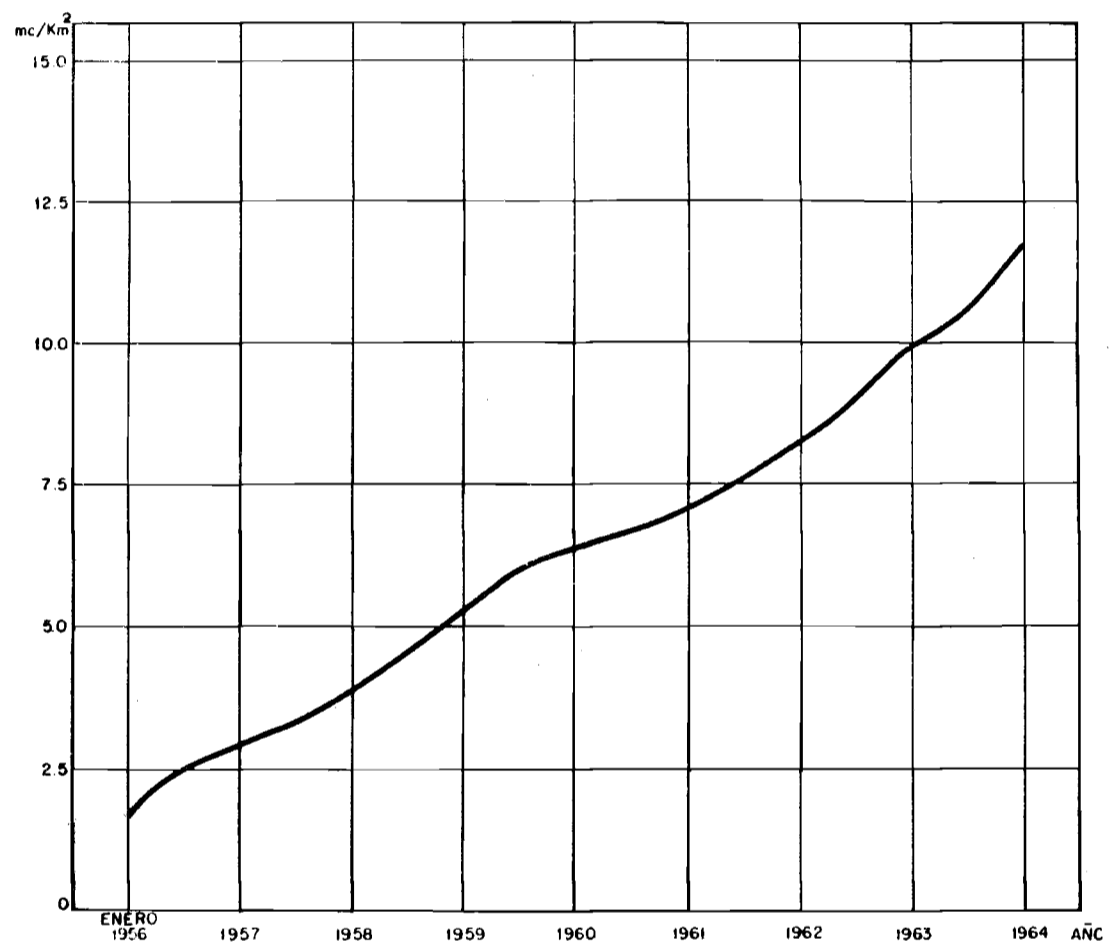


Figura 1.- Depósito acumulado de Sr-90

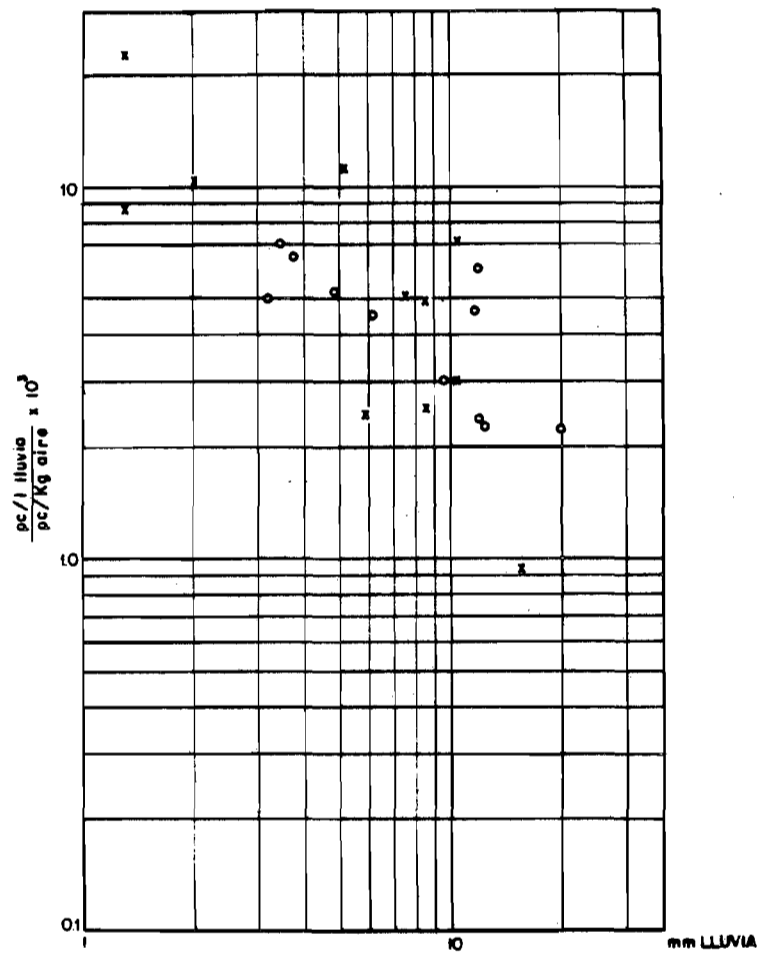


Figura 2.- Relación entre las actividades específicas de Sr-90 del agua de lluvia y del aire en función de la precipitación pluvial (o 1961 x 1962).

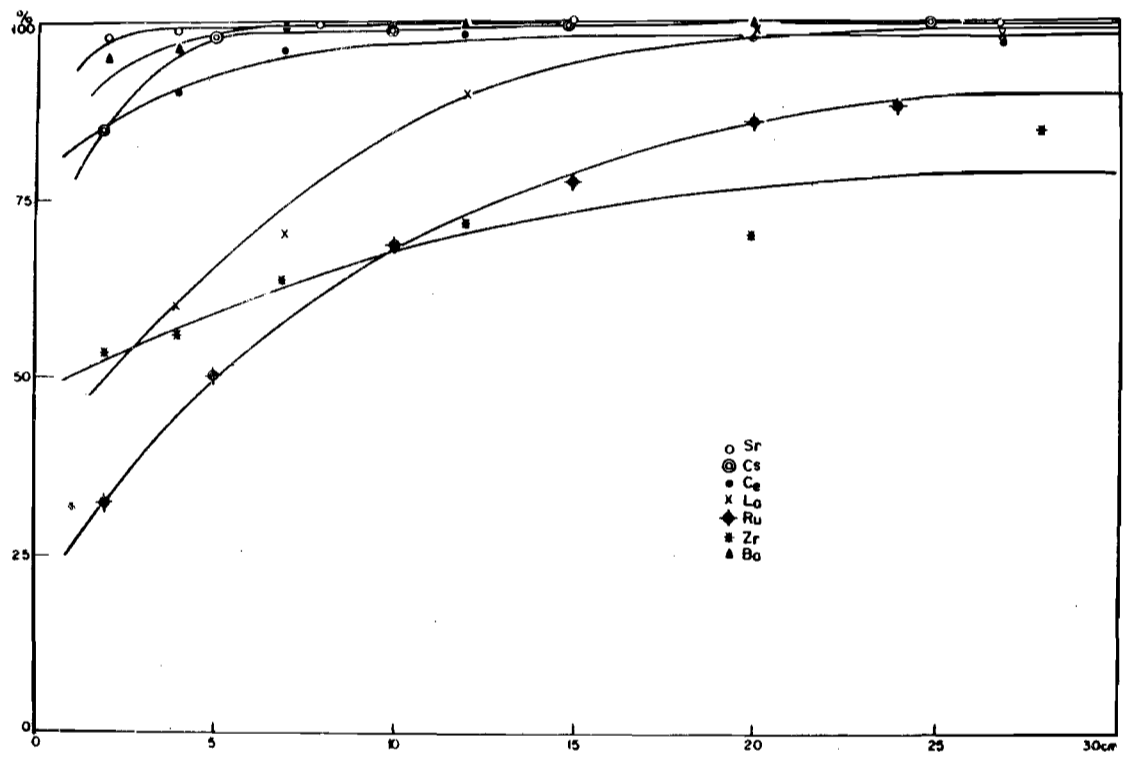


Figura 3.- Radionucleidos en suelo, fracción retenida en función de profundidad.

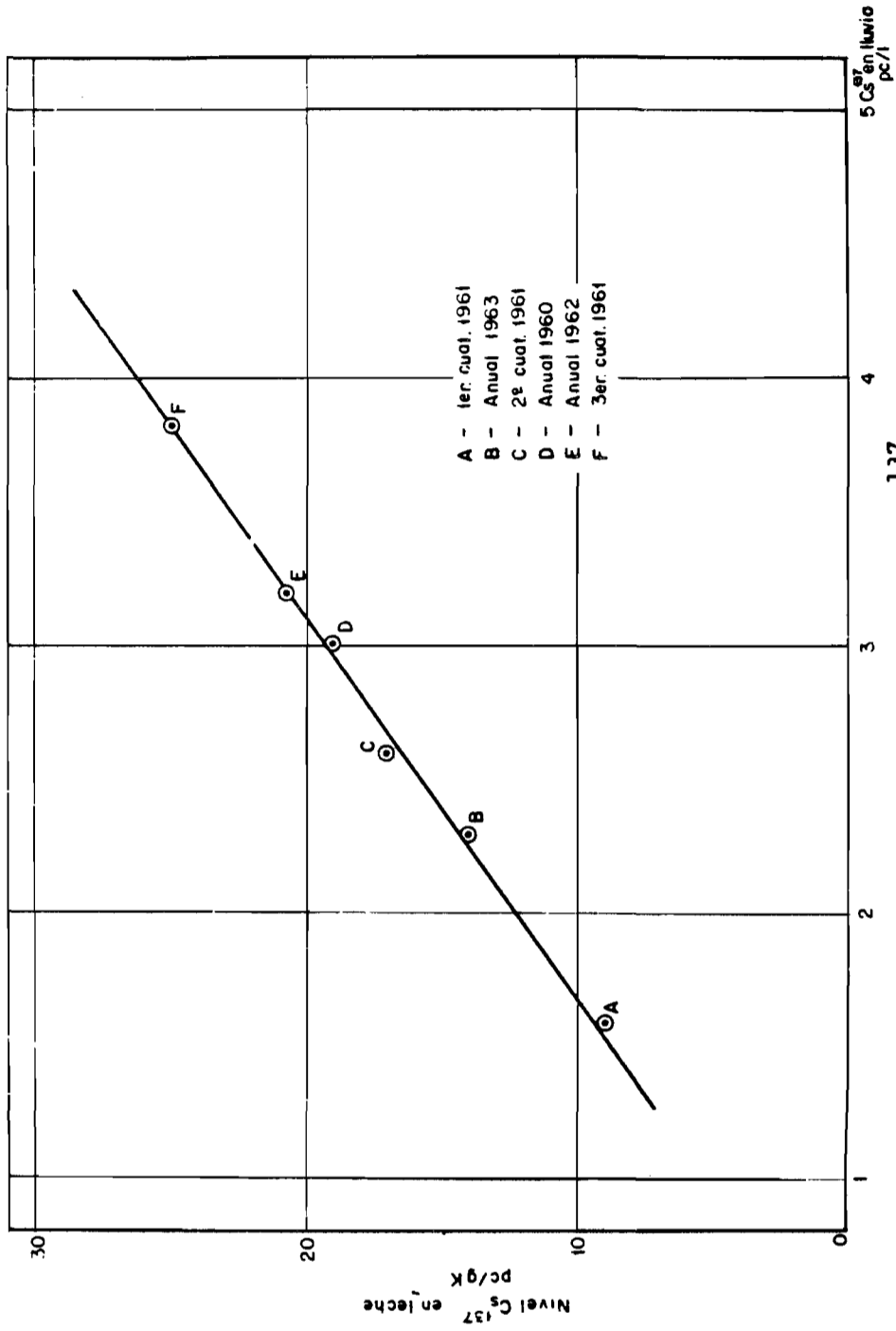


Figura 4. - Relación entre Fall-out y Cs¹³⁷ en leche.

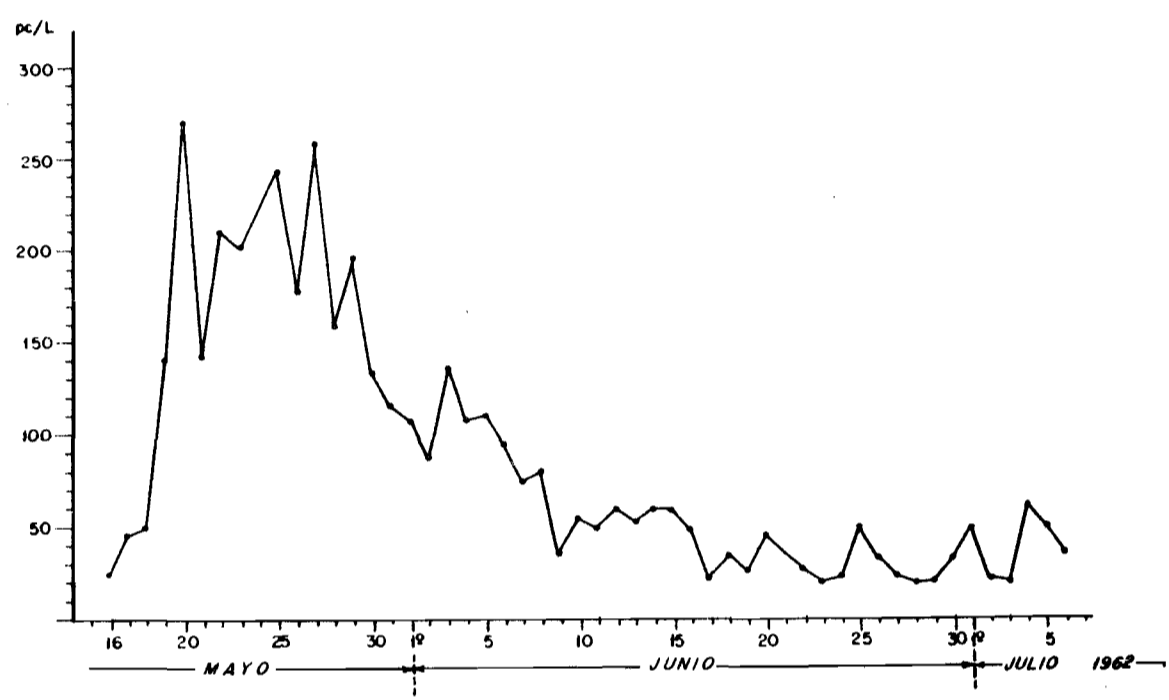


Figura 5. - I-131 en leche.

BIBLIOGRAFIA

1. Inf. del U.N.S.C.E.A.R. - Nac. Unidas (A/5216). (1962).
 2. BREWER, A.W. - Quart, J. Roy. Meteorol. Soc. 75, 351 (1949).
 3. DOBSON, G.M. - Proc. Roy. Soc. 236, 187 (1956).
 4. HALLDEN, N.A. - et al. - Radioactive decay of weapons debris - HASL 61-20 (1961).
 5. BENINSON, D. et al. - Contaminación por radioestroncio durante el año 1960 - Informe CNEA - 50 - (1961).
 6. PEIRSON, D.H. et al. - Radioactive fallout in air and rain, AERE, R. 3358 (1960).
 7. DE LAGUNA, W. et al. - Disposal of highlevel radioactive liquid wastes in terrestrial pits. Proceedings of the II U.N. Internat. Conf. on the peaceful uses of atomic energy. P/2351 (1958).
 8. CHRISTENSON, C.W. et al. - Soil absorption of radioactive wastes at Los Alamos. Hearings Congress of the United States (1959).
 9. EISEMBUD, M. - Measurements on strontium 90 in geophysical and biological materials. U.N. doc. A/AC 82/G/R 130 (1957).
 10. VAN WIJK, H.F. and BRAAMS, R. - Nature 188, 951 (1960).
 11. SOMMERMEYER, K. and GODT, K.J. - The uptake of radioactivity directly through leaves and indirectly via the roots of plants. Proceedings of the II U.N. Inter. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy V. 18 - P/1955 (1958).
 12. HARTMAN, R.T. - Studies on the antecology of vascular hydrophytes and their role in productivity and mineral cycling in aquatic ecosystems (Pittsburgh, Univ.) Jan. 15, 1963 - TID - 17703.
 13. CABRERA, A.J. - Manual de la flora de los alrededores de Buenos Aires Ed. ACME. A.- Buenos Aires (1953).
 14. MIDDLETON, L. et al. - Plant Physiology, 35 913 (1960).
 15. RUSSEL, R.S. - Trabajo leído en Radioisótopos in the Biosphere Symp. (univ. of Minn.) oct. 1959.
 16. BENINSON, D. et al. - Radioestroncio y estroncio estable en la dieta y el hueso humano - Informe CNEA (1964) - (en publicación).
 17. BENINSON, D. y KRAMER, J. - Radiocesio en la dieta humana Informe CNEA N° 67 (1962).
 18. SQUIRE, H. et al. - Experiments on the metabolism of certain fission products in dairy cows. Radioisot. in Sc. Res., 4, 207 (1958).
-

19. COMAR, X. and WASSERMAN, R. - Radioisotopes in the study of mineral metabolism. Prog. in Nucl. Energy. Biol. Sc. 1, 153 (1956).
 20. BENINSON, D. y RAMOS E. - Contaminación por I-131 debida al fallout. Informe CNEA N° 75 (1962).
 21. LOUITT, J. and BRYANT, F. - Human bone metabolism deduced from strontium assays. AERE- R- 3718.
-