

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA	
SERIE DE PUBLICACIONES	
1	1971

06. 71. 02

RS 28/49

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION  
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD

FALLOUT RADIOACTIVO DEBIDO A LAS EXPLOSIONES EN EL  
PACIFICO SUR EN EL PERIODO 1966-1970

BENINSON, D.;  
MIGLIORI DE BENINSON, A.;  
MENOSSI, C.;

BUENOS AIRES  
1971

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION  
GERENCIA DE PROTECCION RADIOLOGICA Y SEGURIDAD

FALLOUT RADIOACTIVO DEBIDO A LAS EXPLOSIONES EN EL  
PACIFICO SUR EN EL PERIODO 1966-1970

BENINSON, D.;  
MIGLIORI DE BENINSON, A.;  
MENOSSI, C.;

BUENOS AIRES

1971

FALLOUT RADIOACTIVO DEBIDO A LAS EXPLOSIONES EN EL PACIFICO  
SUR EN EL PERIODO 1966-1970

1.-Introducción

Antes de 1966, y con excepción de material proveniente de una serie de detonaciones realizadas en 1962, en nuestro país el fallout era casi exclusivamente de origen estratosférico, compuesto por radionucleídos de período largo, en particular Cs-137 y Sr-90. Las detonaciones experimentales llevadas a cabo desde 1966 en el Pacífico Sur cambiaron la naturaleza del fallout, apareciendo en él productos de fisión de período corto e intermedio.

El presente trabajo resume los estudios realizados sobre la radioactividad ambiental de este origen y sobre las dosis de radiación resultantes. Incluye además una evaluación cuantitativa del pasaje del I-131 desde el ambiente hacia el hombre. El interés se centra principalmente en el parámetro de transferencia entre el fallout depositado y la leche y, secundariamente, en el uso de la tiroides vacuna como un "detector biológico" de la presencia de radioiodo en el ambiente.

2. Muestreo y métodos

Durante el período estudiado se efectuó el muestreo diario de los aerosoles suspendidos en el aire superficial haciendo circular un caudal de  $1 \text{ m}^3/\text{min.}$  a través de filtros prácticamente absolutos para las granulometrías involucradas.

Las muestras de fallout se obtuvieron en general semanalmente, efectuándose muestreos cada dos días durante los períodos de mayor fallout. Para dichos muestreos se utilizaron los clásicos "re

recipientes de pared alta" y, adicionalmente, recipientes de gran superficie ( $1 \text{ m}^2$ ).

El muestreo de leche fue llevado a cabo en el punto de consumo. Consistió en muestras diarias compuestas, estratificadas por su origen según la magnitud y área de producción y adecuadamente representativas del producto consumido en la ciudad de Buenos Aires. También se analizaron diariamente muestras de tiroides vacunas, obtenidas por la colaboración de las autoridades del Matadero Municipal de la ciudad de Buenos Aires. La "señal" para poner en marcha los muestreos, tanto de leche como de tiroides vacunas, fue la aparición de Ba-140 en el aire superficial.

Como los radionucleídos estudiados son todos emisores  $\gamma$ , las muestras fueron medidas por espectrometría  $\gamma$  ya sea directamente o después de un simple proceso de separación radioquímica. Los filtros y las tiroides vacunas fueron medidos directamente, las muestras de agua de lluvia fueron concentradas por evaporación y tratadas por intercambio iónico, y las muestras de leche fueron concentradas por precipitación de sus proteínas y de ioduro de plata para arrastrar el I-131 bajo forma orgánica e inorgánica /1/.

Las determinaciones espectrométricas se llevaron a cabo en dispositivos de centelleo (4" x 4") blindados por 16 cm de hierro conectados a un analizador multicanal. En el caso de espectros muy complejos las determinaciones se repetían usando un detector de estado sólido de  $75 \text{ cm}^3$ .

### 3. Radioactividad en el aire

La aparición de aerosoles radioactivos con nucleídos de período corto en el aire superficial indica la llegada a nivel del suelo del material recientemente inyectado a la atmósfera.

En el gráfico N° 1 se presentan las concentraciones de Ba-140 observadas en el aire durante el período 1966-1970. Puede observarse que en los últimos años los niveles detectados son menores que los de 1966 a pesar de la mayor potencia de algunos de los artefactos explotados. Esto confirmaría las comunicaciones según las cuales las últimas explosiones se realizaron en general sobre balones.

De la comparación de las actividades observadas en el aire con las fechas de las explosiones presentadas en la Tabla N° 1 surge que el material ha tardado, en promedio, unos 10 días en llegar hasta la ciudad de Buenos Aires y descender hasta el nivel del suelo.

#### 4. Fallout y dosis externa

La irradiación externa de la población es producida por el material depositado sobre el suelo. Para poder estimar la dosis resultante se determinaron los niveles de los principales radionucleídos emisores  $\gamma$  en el fallout. La Tabla N° 2 resume los valores de los depósitos mensuales de dichos nucleídos.

Los métodos habituales de cálculo de la "dosis comprometida" debida a un plano emisor infinito /2/ requieren como dato el total de la actividad de cada nucleído emisor  $\gamma$  que llegó a la superficie del suelo. Por este motivo se sumaron anualmente los depósitos mensuales sin hacer intervenir el decaimiento. La Tabla N° 3 resume los resultados obtenidos junto con las "dosis comprometidas" correspondientes a dichos depósitos anuales, calculadas a partir de factores dosimétricos publicados en la literatura /2/.

Dicha Tabla muestra que la "dosis comprometida" en el aire a 1-m del suelo, debida a todo el fallout depositado durante el

período es de 28 mrad. El cálculo de las dosis recibidas por el hombre requiere suposiciones adicionales, en particular la magnitud del blindaje debido a los edificios. Suponiendo que la población se encuentra en promedio 6 horas diarias al aire libre, tomando 10 como factor de protección debido al blindaje de los edificios /2/ y teniendo en cuenta el efecto pantalla de los tejidos superficiales (factor 2), la dosis comprometida en gonadas y médula ósea de la población resulta ser de 6 mrad.

Debe recordarse que para estas dosis se ha tenido en cuenta el aporte de los radionucleídos de período corto e intermedio sin considerar la contribución del Cs-137 producido durante el período.

##### 5. Dosis interna

Puede estimarse groseramente la importancia relativa de diversos radionucleídos como contaminantes internos mediante el cociente entre su abundancia relativa y el "nivel máximo permisible" correspondiente. Usando este criterio, el I-131 resulta ser el radionucleído de más significación en una mezcla de productos de fisión de una edad de pocos días a varias semanas.

La llegada del I-131 hasta el hombre vía contaminación del pastaje, incorporación por el ganado vacuno y contaminación de la leche es muy predominante sobre otras vías alternativas, en la región estudiada. Por este motivo se midió el tenor de I-131 en la leche durante el período 1966-1970 y el gráfico N° 2 presenta las concentraciones correspondientes.

Puede observarse, comparando los gráficos 1 y 2, que existe un tiempo de retardo promedio de alrededor de 2 días entre la llegada del material radioactivo al aire de la zona y su aparición

en la leche producida en la misma.

Los niveles de contaminación más altos se observaron en octubre de 1966, resultantes de importantes depósitos sobre el terreno y en coincidencia con los mayores niveles de actividad en aire.

El decrecimiento de la concentración de I-131 en la leche en esa época sugiere una función exponencial que, por regresión, tiene un período efectivo de 5 días. Este valor es similar al observado por otros autores /3/, /4/, /5/, /6/. Por otra parte se cree interesante destacar que, también en concordancia con lo obtenido en otros trabajos /3/, /5/, /7/, contaminaciones experimentales llevadas a cabo en el Centro Atómico Ezeiza muestran que la actividad de I-131 por gramo de pasto, en el caso de eventos únicos de contaminación, decrece con un período de 5 días.

La dosis en tiroides es proporcional a la concentración de radioiodo en la leche integrada en el tiempo /8/, siendo el factor dosimétrico correspondiente de 11.5 / 0.7 mrad. por cada nCi.día/l para niños y adultos respectivamente /2/.

Las integrales anuales de la concentración de I-131, calculadas a partir de los datos de la figura N° 2, se resumen junto con las dosis resultantes en la siguiente tabla:

AÑO	CONCENTRACION INTEGRADA EN LECHE (pCi.d/l)	DOSIS EN NIÑOS (mrad)
1966	26995	310
1967	4346	50
1968	2477	28
1970	4557	52
TOTAL	38375	440

A título comparativo durante 1966 y 1967 se efectuaron mediciones en leche de Salta y Bariloche (gráficos N° 3 y 4), observándose valores inferiores a los de Buenos Aires.

6. Relaciones entre el depósito de I-131 y la contaminación de la leche.

Resulta de interés disponer de parámetros de transferencia que, dada una inyección de material al ambiente, permitan predecir las consecuencias radiosanitarias para la población. Con respecto al I-131, se estudió la relación entre la actividad depositada sobre el terreno y la integral temporal de la concentración en la leche, valor éste de interés vista su proporcionalidad con la dosis de radiación resultante.

En la tabla siguiente se presentan valores correspondientes a las cuatro series de explosiones del período estudiado. En la tabla se incluyen también los valores de 1962, año en el cual llegó hasta Buenos Aires material fresco producido durante la serie de detonaciones efectuadas en las islas Navidad /8/.

AÑO	L	d	$R = \frac{L}{d}$
	pCi.d/l	mCi/km <sup>2</sup>	$\frac{\text{pCi.d/l}}{\text{mCi/km}^2}$
1962	4,45 x 10 <sup>3</sup>	20,0	222
1966	2,70 x 10 <sup>4</sup>	138,6	195
1967	4,35 x 10 <sup>3</sup>	16,5	236
1968	2,48 x 10 <sup>3</sup>	9,0	276
1970	4,56 x 10 <sup>3</sup>	19,1	238

siendo L la integral temporal de la actividad en la leche y d la

actividad depositada sobre el terreno durante el período.

Los resultados muestran que, conocido el "fallout", se puede predecir satisfactoriamente la contaminación de la leche, siendo el factor de proporcionalidad obtenido de  $2.3 \times 10^2 \frac{\text{pCi}\cdot\text{d}/\text{l}}{\text{mCi}/\text{km}^2}$  con una dispersión pequeña (error, standard del promedio igual a 6 %).

En el caso de la liberación ambiental de I-131 como consecuencia del accidente de Windscale en 1957, el parámetro de transferencia deducido de los datos publicados /5/, /9/ resulta superior en un factor 2 al valor antes mencionado. Esta discrepancia puede deberse a diferencias tanto climáticas como de las características del suelo y las pasturas. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que las partículas portadoras del material activo en el fallout no son totalmente solubles /10/.

#### 7. I-131 en tiroides bovina

El gráfico N° 5 resume los resultados de las determinaciones de I-131 en tiroides vacuna durante el período estudiado.

Debe señalarse que los valores correspondientes a 1966 no son representativos de los niveles promedio en la región, ya que el muestreo estuvo prejuiciado incluyendo preferentemente tiroides de animales provenientes de zonas de alta precipitación pluvial (y por ende de mayor depósito de I-131 que en el resto de la región).

La tiroides vacuna es a priori un "detector biológico" de alta sensibilidad, útil para el monitoraje ambiental de I-131 en la vecindad de instalaciones nucleares. Por este motivo resulta de interés usar los resultados presentados en este trabajo para estudiar la relación entre la contaminación de este "detector

biológico" y la de la leche, vía crítica de irradiación humana.

Puede demostrarse que la relación entre los niveles de contaminación de dos compartimentos biosféricos en condiciones de equilibrio es igual a la existente entre las integrales temporales correspondientes, en el caso de una contaminación limitada en el tiempo /11/. Con este enfoque se estudió la relación entre las contaminaciones de la tiroides vacuna y de la leche, resultando:

AÑO	T (pCi.d/g)	L (pCi.d/l)	$\frac{L}{T}$
1967	9851	4346	0.44
1968	4840	2477	0.51
1970	7644	4557	0.60
		Promedio	0.52

siendo T la integral temporal de la concentración de I-131 en la tiroides y L la integral temporal correspondiente de la leche durante el período.

Si bien se dispone de pocos datos, la pequeña dispersión sugiere que el valor promedio de la tabla puede utilizarse para interpretar los resultados de un monitoraje ambiental operacional.

F E C H A   D E   E X P L O S I O N E S

1966	1967	1968	1970
Julio 2	Junio 5	Julio 7	Mayo 15
Julio 19	Junio 27	Julio 15	Mayo 22
Septiembre 11	Julio 2	Agosto 3	Mayo 31
Septiembre 24		Agosto 24	Junio 24
Octubre 4		Septiembre 8	Julio 3
			Julio 27
			Agosto 2
			Agosto 6

TABLA 1

DEPOSITO MENSUAL DE PRODUCTOS DE FISION DE PERIODO CORTO

MES	Ba-140 mCi/Km <sup>2</sup>	Zr-95+Nb-95 mCi/Km <sup>2</sup>	I-131 mCi/Km <sup>2</sup>	Ce-144/Ce-141 mCi/Km <sup>2</sup>	Ru-103 mCi/Km <sup>2</sup>
Julio 1966	2.65	0.84	1.01	0.90	1.48
Agosto	1.51	1.48	0.34	0.20	0.81
Setiembre	31.68	8.82	18.10	2.61	25.56
Octubre	241.11	78.85	116.46	40.61	114.96
Noviembre	15.07	31.05	2.72	12.06	28.88
Diciembre	4.03	20.85	----	2.21	11.08
Enero 1967	0.80	5.11	----	0.65	2.19
Febrero	----	2.74	----	0.29	0.93
Marzo	----	1.41	----	0.62	0.35
Abril	----	1.07	----	0.14	0.21
Mayo	----	0.14	----	----	0.02
Junio	1.21	0.65	0.57	0.68	0.92
Julio	30.16	8.99	15.08	7.03	11.39
Agosto	2.85	8.02	0.81	4.60	6.97
Setiembre	0.43	3.33	----	0.99	1.86
Octubre	----	5.67	----	1.42	2.88
Noviembre	----	2.08	----	0.45	0.91
Diciembre	----	0.34	----	0.15	0.11
Enero 1968	----	0.23	----	0.12	0.05
Febrero	----	0.20	----	0.05	0.04
Marzo	----	0.05	----	0.04	0.01
Abril	----	0.06	----	0.07	----
Mayo	----	0.03	----	0.03	----
Junio	----	0.04	----	0.05	----
Julio	1.39	0.89	0.94	1.76	0.76
Agosto	19.01	12.99	5.90	23.00	5.09
Setiembre	0.70	2.37	0.49	2.43	1.12
Octubre	1.88	11.79	1.42	10.19	5.45
Noviembre	0.29	6.05	0.24	4.13	1.73
Diciembre	----	10.75	----	3.38	2.19
Enero 1969	----	1.10	----	0.35	0.08
Febrero	----	1.47	----	0.47	0.16
Marzo	----	0.34	----	0.08	0.03
Abril	----	2.55	----	0.62	0.26
Mayo	----	3.52	----	1.06	0.25
Junio	----	0.69	----	0.34	----
Julio	----	1.08	----	0.61	----
Agosto	----	----	----	0.10	----
Setiembre	----	----	----	1.10	----
Octubre	----	----	----	0.41	----
Noviembre	----	----	----	0.96	----
Diciembre	----	----	----	0.56	----
Enero 1970	----	----	----	0.35	----
Febrero	----	----	----	0.32	----
Marzo	----	----	----	0.29	----
Abril	----	----	----	0.24	----
Mayo	4.45	2.75	3.79	0.58	2.49
Junio	6.57	5.30	3.20	0.78	5.08
Julio	7.20	12.84	6.67	2.28	10.96
Agosto	4.77	7.94	3.62	1.58	5.04
Setiembre	8.27	16.53	1.74	2.54	11.60
Octubre	0.76	9.94	0.08	1.42	5.80
Noviembre	0.21	6.21	----	1.03	2.17
Diciembre	0.05	5.17	----	0.92	1.14

TABLA 2

DOSIS COMPROMETIDAS EN AIRE

NUCLEIDO	FACTOR DOSIMETRICO	DEPOSITO (mCi/km <sup>2</sup> )					DOSIS EN AIRE A UN METRO (mrad)				
	$\frac{\text{mrad}}{\text{mCi/km}^2}$	1966	1967	1968	1969	1970	1966	1967	1968	1969	1970
Ce-144	0.007	58.59	17.02	45.25	6.66	12.33	0.41	0.12	0.32	0.05	0.09
I-131	0.002	138.63	16.46	8.99	----	19.10	0.28	0.03	0.02	----	0.04
Ru-103	0.011	182.77	28.74	16.44	0.78	44.28	2.01	0.32	0.18	0.01	0.49
Zr <sup>95</sup> +Nb <sup>95</sup>	0.055 *	141.89	39.55	45.45	10.75	66.28	7.80	2.18	2.50	0.59	3.67
Ba-140	0.018	296.05	35.45	23.27	----	32.28	5.33	0.64	0.42	----	0.58
TOTALES ANUALES							15.83	3.29	3.44	0.65	4.87

\* El factor dosimétrico de la mezcla Zr<sup>95</sup>+Nb<sup>95</sup> supone 50 % de cada componente, proporción que representa aceptablemente a lo observado en las muestras (20 a 60 % de Nb<sup>95</sup> en actividad).

TABLA 3

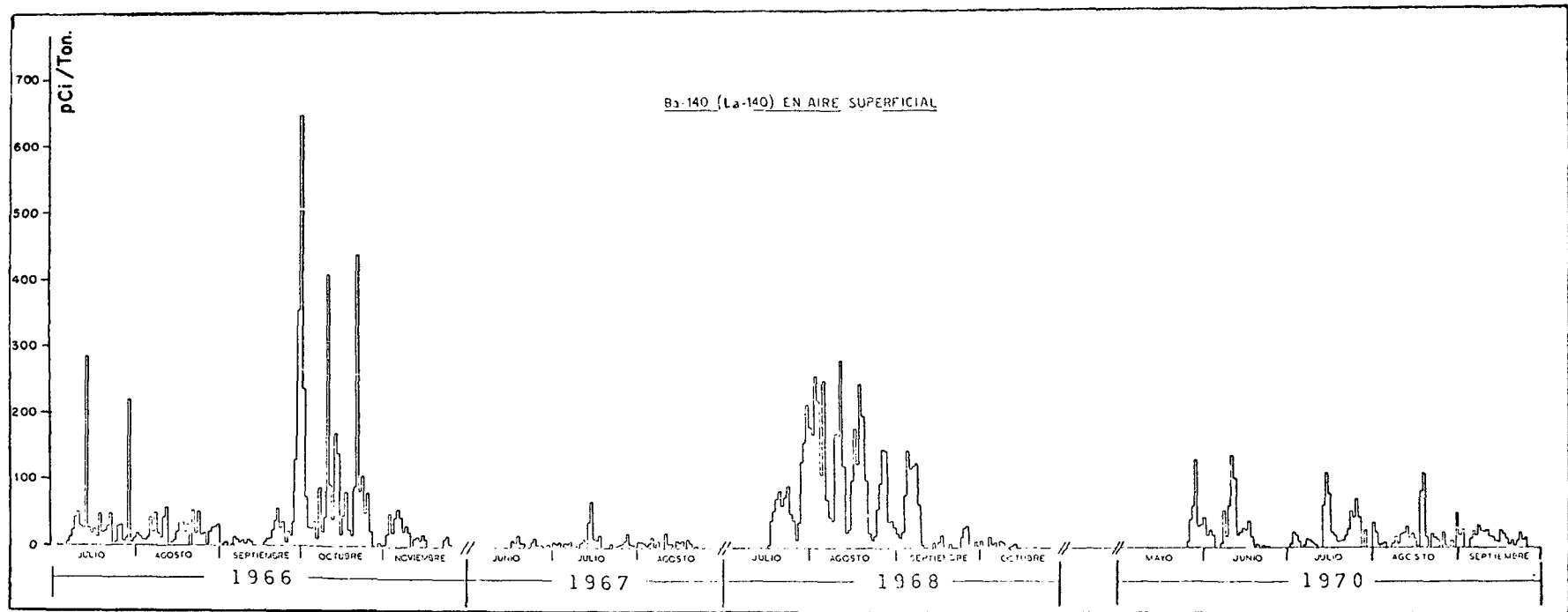


GRÁFICO 1

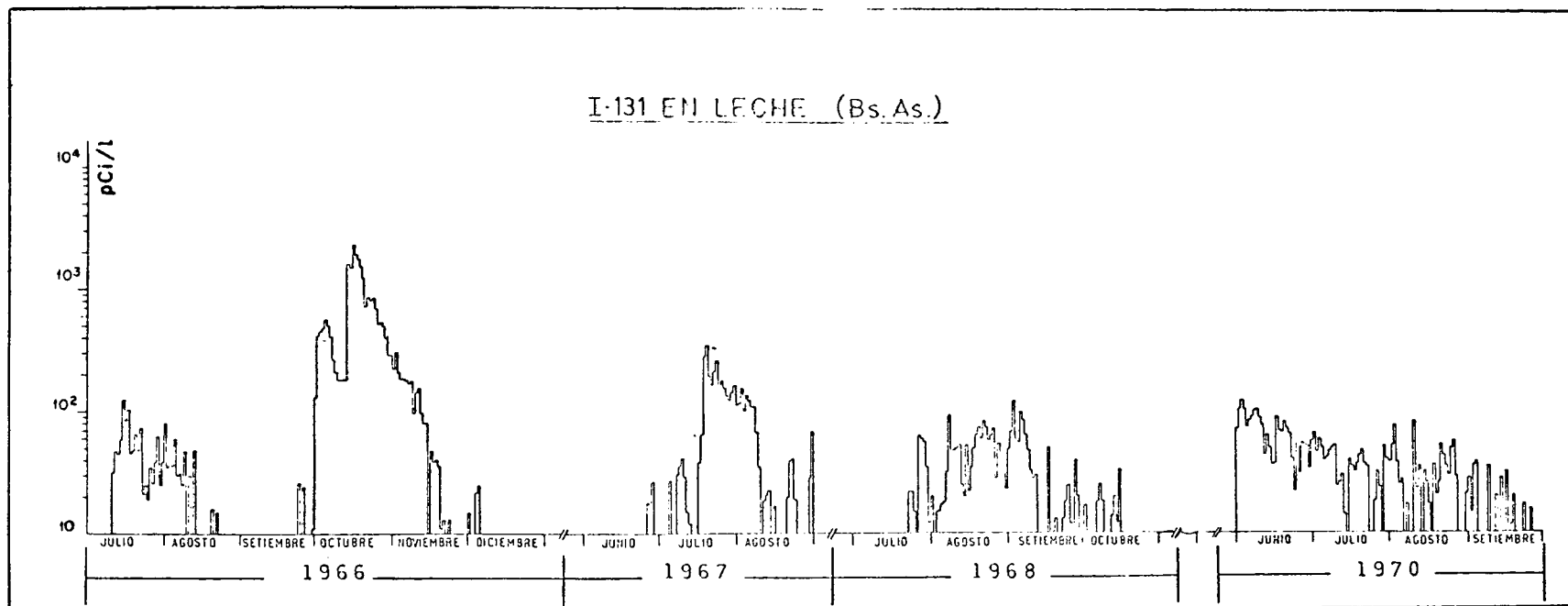


GRAFICO 2

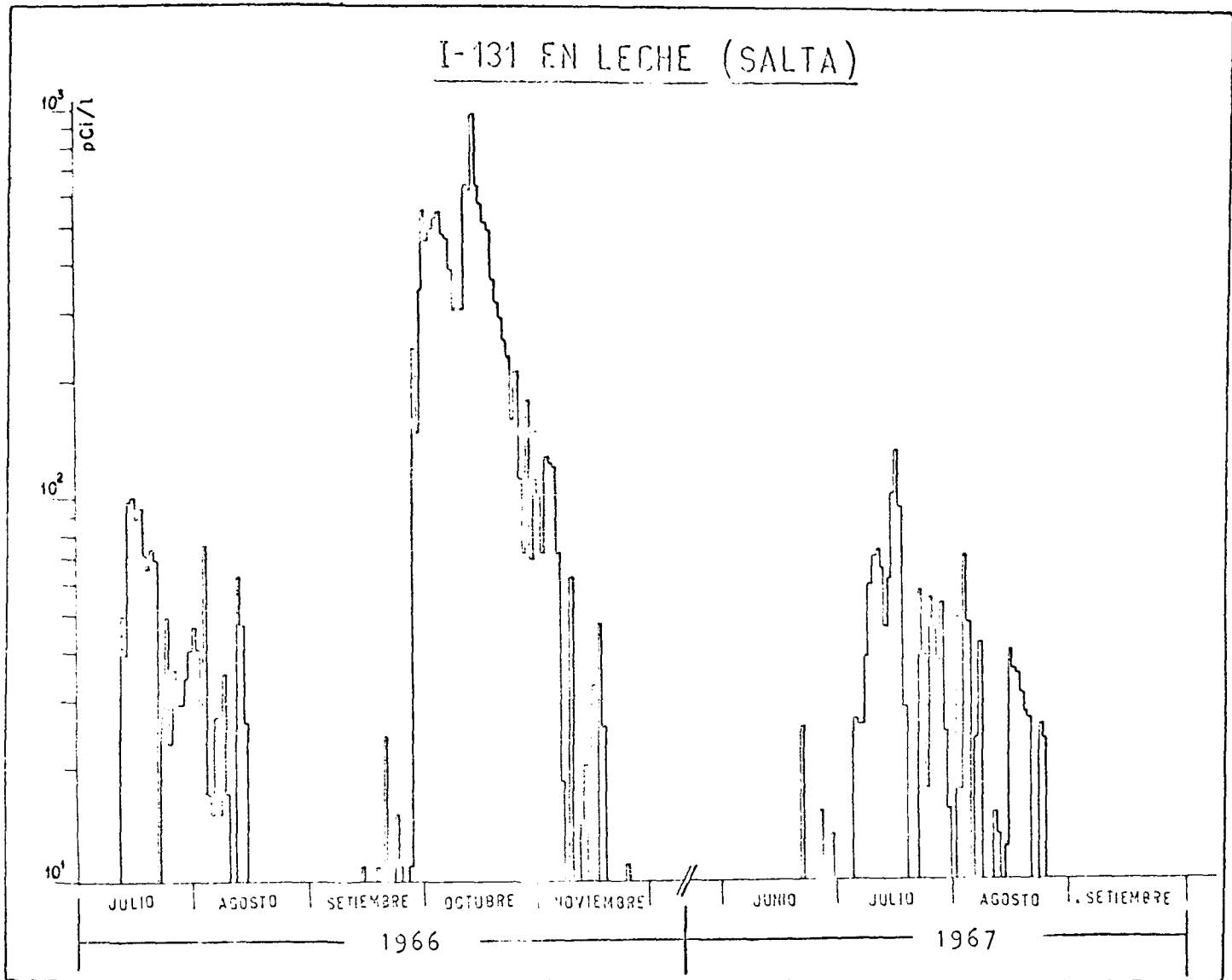


GRAFICO 3

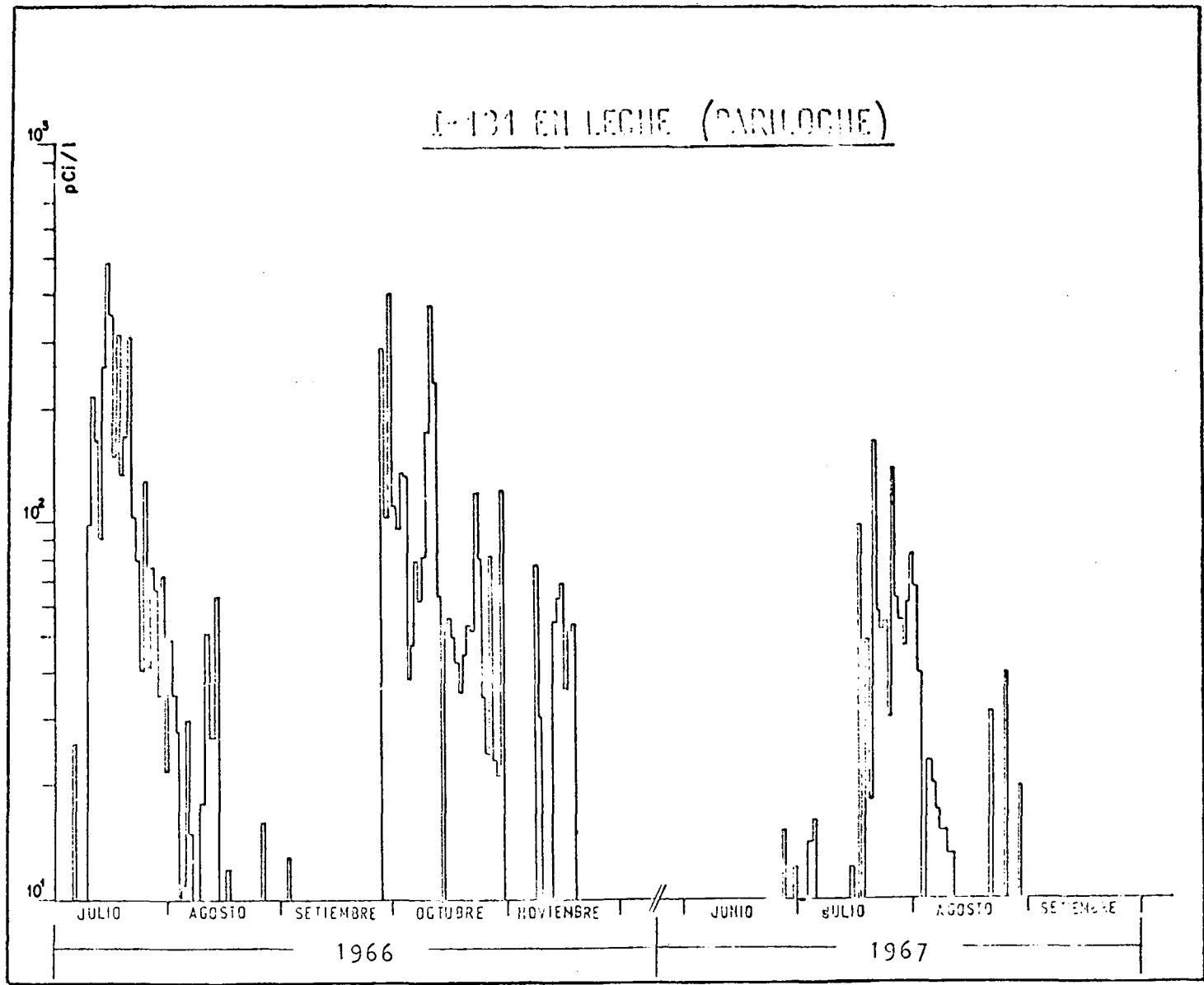


GRAFICO 4

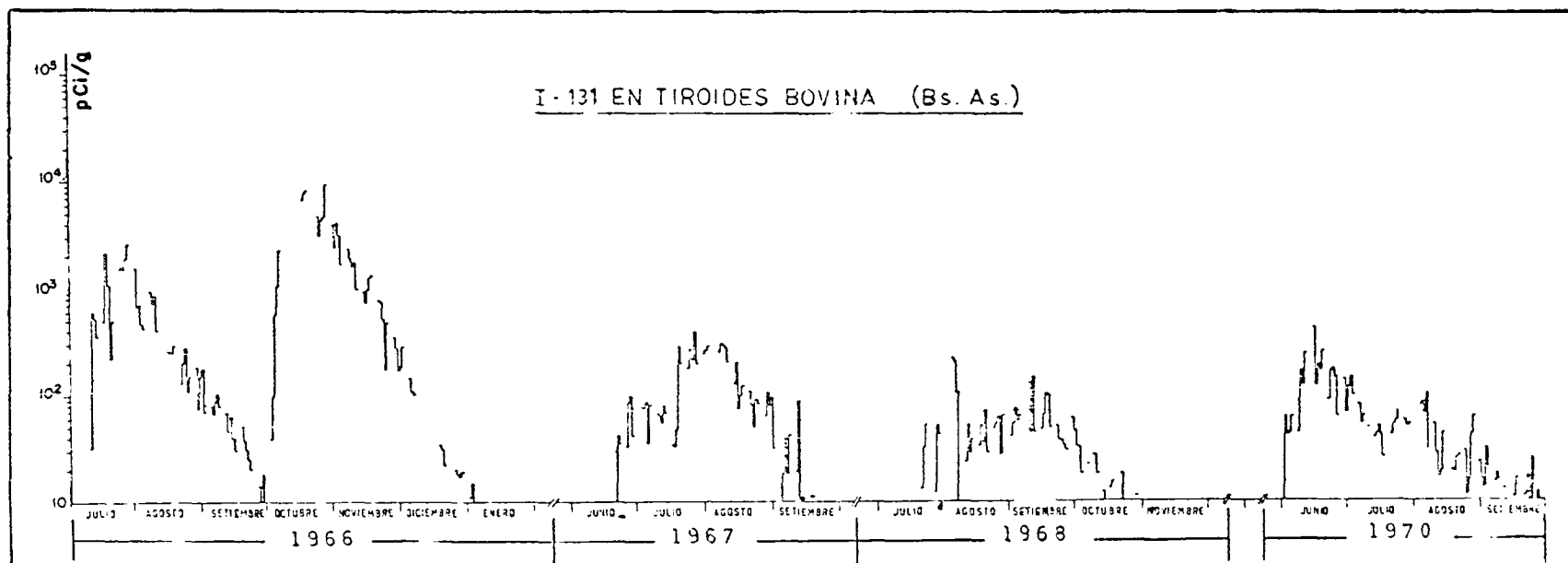


GRAFICO 5

## REFERENCIAS

- 1.- Radioactivity in milk in the United Kingdom. Preliminary report, ARCRL (1961).
- 2.- Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. N° 13 (A/7613) (1969).
- 3.- W.J. Marter: Radioiodine release incidente at the Savannah River Plant; Health Physics, Vol 9, N° 12 (1963).
- 4.- R.C. Pendleton et al.: Differential accumulation of I-131 from local fallout in people and milk; Health Physics, Vol.9, N° 12 (1963).
- 5.- D.V. Booker: Physical measurements of activity in samples from Windscale, AERE HP/R 2607 (1958).
- 6.- J.Z. Holland: Physical origin and dispersion of Radioiodine; Health Physics Vol 9, N° 12 (1963).
- 7.- R. Scott Russell: Radioactivity and Human Diet; Pergamon Press (1966).
- 8.- D. Beninson, E. Ramos: Contaminación por I-131 debida al fallout; Informe C.N.E.A. N° 75 (1962).
- 9.- A.C. Chamberlain: Relation between measurements of deposited activity after the Windscale accident of October 1957; AERE HP/R 2606 (1958).
- 10.- G.R. Crocker et al: Physical and radiochemical properties of fallout particles: Health Physics Vol 12, N° 8 (1966)
- 11.- D. Beninson, D. Cancio, C. Menossi; Etude du transfert et de la fixation des produits de fission dans quelques especes dulcicoles en conditions de non equilibre CNEA, Bs.As., Argentina. Simposium Internacional de Radioecología 8-12 Septiembre 1969, CEN/ Cadarache, Francia.