

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

=

INFORME N.º 149

Radioestroncio y Estroncio Estable en los
Huesos y Dietas de los Niños

por

D. Beninson, E. Ramos y R. Touzet

=

BUENOS AIRES

1965

RADIOESTRONCIO Y ESTRONCIO ESTABLE EN
LOS HUESOS Y DIETAS DE LOS NIÑOS*

D. Beninson, E. Ramos y R. Touzet

INTRODUCCION

Entre los productos de fisión, el estroncio-90 constituye el mayor riesgo potencial a largo plazo, debido a su largo período y a su metabolismo que lo lleva a depositarse en hueso. En el presente, las concentraciones más altas de Sr-90 en hueso han sido observadas en niños, ya que sus esqueletos tienden a seguir rápidamente las fluctuaciones de la dieta. La evaluación de los parámetros de transferencia de este nucleído entre la dieta y el hueso en niños, tiene por lo tanto importancia para poder predecir el contenido corporal resultante de distintas condiciones ambientales. Dicha evaluación presenta varias dificultades, incluyendo el hecho de que las dietas de niños comprenden productos alimenticios especialmente preparados a base de leche y varios compuestos, que no pueden correlacionarse "a priori" con los alimentos de adultos estudiados en la mayoría de los programas de mediciones ambientales.

El presente trabajo sintetiza los estudios realizados sobre Sr-90 y Sr natural en las dietas y huesos de niños, llevados a cabo en la CNEA. Dichos estudios, que cuentan con el apoyo de un Contrato de Investigación de la U.S. Atomic Energy Commission (AT (30-1) 2753), tienen dos objetivos:

- a) La determinación de niveles en hueso de niños cuya "historia dietética" puede reconstruirse con razonable exactitud.
- b) La estimación de niveles representativos en la alimentación de la población infantil.

Algunos de los datos incluidos en el trabajo han sido publicados previamente (1) (2).

* Trabajo presentado en la II Conference on Fallout from Atomic Weapons - U.S. Atomic Energy Commission - Germantown - Nov. 1964.

Muestreo y Procedimientos Analíticos

El muestreo de los alimentos especiales para bebés se efectuó sobre el "punto de consumo", a un promedio aproximado de 5 muestras por mes y por producto. El muestreo de los otros productos alimenticios se llevó a cabo en conexión con el monitoreo regular del fallout, conducido por la CNEA. Las muestras de cada tipo se agruparon mensualmente para su procesamiento.

Las muestras de huesos fueron obtenidas principalmente de hospitales pediátricos. Estas muestras fueron seleccionadas para excluir las causas de muerte que pudieran haber influido substancialmente sobre la composición mineral del hueso. La información sobre la alimentación en cada caso fue obtenida de los hospitales; asimismo, la familia y médicos intervinientes fueron consultados sobre el tema.

Las muestras se procesaron siguiendo los métodos radioquímicos del "Health and Safety Laboratory" y el conteo para las determinaciones de Sr-90 se efectuó en equipos de muy bajo fondo. El estroncio natural se determinó con una técnica de fluorescencia de rayos X descripta anteriormente (2).

Sr-90 y Estroncio Natural en Dieta

a) Estroncio-90 en productos alimenticios.

La Tabla I resume los promedios de determinaciones de Sr-90 en productos alimenticios durante el período 1961-1963, excluyendo la leche. Los errores estándar de los promedios, que corresponden a grupos de 10 a 50 muestras, son del orden de 5 a 15%.

Los valores indicados en la Tabla I para "Alimentos Especiales para Bebés" son representativos del país. Otros niveles en alimentos se refieren estrictamente a la zona del Litoral Argentino y a la Provincia de Buenos Aires, pero, debido a la importancia de la producción (3) y a la amplia distribución de alimentos, se cree que estos pueden ser aplicables a otras zonas.

La Tabla II presenta los niveles en leche representativos de la zona mencionada, agrupados por períodos semestrales, junto con la información pertinente de fallout.

Se acepta habitualmente que los niveles en leche están relacionados linealmente con el fallout y con la deposición acumulada (4), según la siguiente expresión: $C = aD + bd$, donde C es el nivel promedio de leche (pc/g Ca), D es la deposición acumulativa a mediados del período (mc/km²), d es el promedio

de fallout por unidad de tiempo durante el período (mc/km^2 año), y a y b son factores de proporcionalidad. Por regresión múltiple, usando los datos de la Tabla II, se obtiene como mejores valores para estas constantes: $a = 0.27$ y $b = 0.42$.

Usando la fórmula mencionada, pueden predecirse los niveles de contaminación de la leche, con una desviación standard de la estimación de ± 0.37 pc/g Ca. La predicción de niveles en otros productos alimenticios para bebés, preparados en base a leche, resulta difícil ya que varios de los productos son "reforzados" con calcio animal o mineral y contienen además cantidades variables de cereales.

b) Estroncio natural en productos alimenticios.

Las determinaciones de estroncio natural en productos alimenticios son menos completas y se refieren a un período de muestreo de $1\frac{1}{2}$ años (Tabla III). Los resultados indican que la leche y los alimentos para bebés en base a leche, contienen alrededor de $1 \text{ mg Sr}/\text{g Ca}$. Se dispone únicamente de resultados aislados para otros alimentos individuales no indicados en la Tabla III. Sin embargo, esta tabla incluye valores correspondientes a varias muestras de dietas totales; la composición porcentual de estas muestras se basa en información dietética que se detalla más adelante.

c) Incorporación diaria promedio de estroncio-90 y de estroncio natural.

La estimación de incorporaciones diarias de niños de distintas edades requiere información sobre la composición de la dieta, la que no se halla disponible para la mayoría de las regiones de la Argentina. Esta información sólo pudo obtenerse con un razonable grado de confiabilidad en la Provincia de Buenos Aires (5)(6)(7). La contribución de la leche materna en la alimentación introduce alguna incertidumbre, particularmente en el grupo de edad de 0-6 meses. Con la información disponible, se estima que la contribución de la leche materna a la dieta diaria de calcio es de alrededor de 47% y 17% para los grupos de 0-3 y 3-6 meses de edad, respectivamente.

Una recopilación sobre la composición de la dieta y la contribución de diferentes alimentos a la incorporación de calcio ha sido publicada anteriormente (1). Se calculó la incorporación diaria de Sr natural y Sr-90 a partir de dicha información y de los datos de las Tablas I a III. Los resultados se resumen en la Tabla IV, como promedios del período 1961-1963; los valores anuales de Sr-90 indican un aumento de alrededor del 40% en estos tres años.

La Tabla IV indica que para los niños de muy corta edad, las relaciones Sr/Ca y Sr-90/Ca en la dieta total, se aproximan bastante a los de la leche. En particular, la relación Sr-90/Ca en la dieta total promediada del primer año de vida, puede considerarse igual a la de la leche. Para la zona estudiada son típicas incorporaciones del orden de algunos picocuries de Sr-90 y de alrededor del miligramo de Sr natural por día.

Sr-90 y Estroncio Natural en Huesos de Niños

a) Estroncio-90.

Las muestras corresponden generalmente a sólo unos pocos huesos por niño; las estimaciones de contaminación del esqueleto deben, por lo tanto, confiarse en cierto conocimiento de la distribución de valores dentro del cuerpo. Existe alguna evidencia de un "turnover" en el esqueleto durante los primeros dos años de vida (8) y, por consiguiente, se asumirá que los huesos están marcados uniformemente.

La Tabla V resume los resultados de muestras de hueso, para las que se pudo reunir una información dietética detallada. La Tabla incluye, además, estimaciones de los incrementos de calcio en el esqueleto, entre las edades promedio de grupos consecutivos, calculados con la información resumida a continuación. Se estima que el contenido en calcio de un recién nacido es de alrededor de 24g en la zona estudiada (9). Además, diversos cálculos llevados a cabo con información publicada (10) (11) indican que el aumento de Ca en el niño concuerda razonablemente bien con la expresión $\frac{\text{Calcio retenido}}{\text{Ca ingerido} \times \text{Peso}} = \text{constante}$.

Ca ingerido x Peso

Al usar esta información para calcular los incrementos del contenido en calcio con la edad, se introduce una nueva incertidumbre, cuya magnitud es difícil de estimar.

Puede discutirse la validez del uso de promedios; sin embargo, se considera que la constancia de las incorporaciones diarias y de los incrementos de calcio en el esqueleto apoya la obtención de promedios, suponiendo linealidad con el tiempo. Las tablas detalladas de Sr-90 en huesos correspondiente a esta zona han sido publicadas anteriormente (1)(2). Los niveles de Sr-90/Ca en hueso de niños son un poco más bajos que los observados en Australia e inferiores a un medio de los observados en el hemisferio norte. La dosis recibida en hueso a partir de esta contaminación es del orden de 3 mrad/año.

b) Estroncio natural.

El análisis de estroncio natural en hueso corresponde a materiales obtenidos en 1963, incluyendo muestras cuya historia dietética no pudo reunirse satisfactoriamente. Los promedios por grupo de edad y los errores standard correspondientes se

resumen en la Tabla VI. Debe señalarse que las determinaciones de distintos huesos de un mismo niño, cuando estos pudieron ser obtenidos, no muestran variaciones significativas dentro del esqueleto.

Los resultados sugieren que las relaciones Sr/Ca aumentan lentamente con la edad, de 0.23 mg/g en hueso fetal a cerca de 0.4 mg/g en el tercer año de vida, valor este también observado en los adultos.

Discriminación entre Estroncio y Calcio

Los factores de discriminación entre la dieta y el hueso pueden, en principio, estimarse a partir de los niveles de Sr-90 o los de Sr natural en hueso, con la correspondiente información sobre las dietas. En igualdad de condiciones, los cálculos usando datos de estroncio natural deben preferirse porque puede asegurarse la existencia de equilibrio con la dieta.

El cociente Sr/Ca en hueso está relacionado con los de las dietas por la siguiente expresión, que presupone un modelo grosero sin turnover:

$$(\text{Sr/Ca})_{\text{hueso}} = \frac{\text{Ca}_f \cdot L_M \cdot F_M + \sum \text{Ca}_i L_i F_i}{\text{Ca}_f + \sum \text{Ca}_i}$$

donde

Ca_f es la cantidad de calcio de origen placentario.

L_M es la relación Sr/Ca en la dieta total de la madre.

F_M es el OR fetal hueso/dieta de la madre.

Ca_i es el aumento de calcio durante el período i.

L_i es la relación Sr/Ca en la dieta durante el período i.

F_i es el OR promedio hueso/dieta del niño durante el período i.

Con los datos sobre huesos y dietas presentados en este trabajo, la expresión permite el cálculo de los factores de discriminación correspondientes. No obstante, las fluctuaciones e incertidumbres se apilan en el cálculo de los factores de discriminación de los grupos de edad más avanzada, y la validez de los resultados correspondientes es dudosa.

Los valores resumidos a continuación se basan en datos de Sr-90 en hueso junto con información sobre la historia dietética correspondiente (columna 3), y en valores de estroncio natural representativos de la región estudiada (columna 2).

Grupo de Edad (1)	O. (2)	R. (3)
Fetos	0.13	0.14
0 - 3 meses	0.81)	0.80
3 - 6 "	0.49)	
6 - 9 "	0.50)	0.33
9 - 12 "	0.28)	
12 - 24 "	0.30	0.27
24 - 36 "	0.22	0.26

Los valores referentes a fetos son, naturalmente, el factor de discriminación total entre la dieta de la madre y el hueso fetal.

El acuerdo entre las dos estimaciones es bastante bueno. A pesar de todas las incertidumbres involucradas, los valores sugieren que los niños más pequeños discriminan poco contra el Sr, y que esta discriminación crece hasta alcanzar el valor adulto "aceptado" de 0.25 durante el segundo año de vida.

La importancia de esta pequeña discriminación en infantes no debe ser sobrevalorada en las estimaciones de riesgos. Si el "turnover" óseo fuera rápido durante ese período, el nivel de contaminación del esqueleto por Sr-90 dependería en alto grado de la alimentación a edades más avanzadas, y la cifra 0.25 sería apropiada en evaluaciones de dosis a largo plazo. Las velocidades de turnover probablemente podrían estimarse a partir de mediciones de la actividad específica de Sr-90/Sr, pero ello requeriría datos adicionales a los presentados en este trabajo.

RESUMEN

Se presentan y discuten los resultados de mediciones de Sr-90 y estroncio natural en muestras de hueso de niños y en productos alimenticios de las dietas correspondientes.

Los datos muestran que los niveles de Sr-90/Ca en la dieta total se acercan mucho al de leche para niños durante el primer año de vida. Las incorporaciones típicas en niños muy pequeños, durante los últimos tres años en la Argentina, están en el orden de unos pocos picocuries de Sr-90 y alrededor del miligramo de Sr natural por día.

Se presentan resultados de mediciones de Sr-90 en muestras de hueso de distintos grupos de edad, para las cuales pudo reunirse una detallada información sobre la historia dietética. Los niveles típicos en los huesos de niños están en el orden de 1 pc/g Ca.

El estroncio natural en el hueso parece aumentar lentamente con la edad, a partir de alrededor de 0.23 mg/g Ca, alcanzando el valor "adulto" de alrededor de 0.4 mg/g Ca entre el segundo y tercer año de vida.

Usando un modelo simple y datos de dieta y hueso, se estiman los factores de discriminación para distintos grupos de edad. Las estimaciones de datos de Sr-90 y de estroncio natural concuerdan adecuadamente entre sí y sugieren que los bebés discriminan menos contra el estroncio que los niños de más edad o los adultos. Sin embargo, este hecho podría ser de poca importancia para las estimaciones de riesgo, si el "turnover" del esqueleto es rápido durante los primeros años de vida.

ALIMENTOS PARA BEBES (pc Sr⁹⁰/g Ca)

T A B L A I
ALIMENTOS PARA BEBES (pc Sr⁹⁰/g Ca)

	1961	1962	1963
Alimentos especiales para bebés			
Baberlac compuesto	1.05	1.47	2.32
Eledón con fécula	0.85	2.65	2.37
Eledón con fécula y glúcido	4.02	2.37	2.41
Baberlac simple	3.52	3.48	3.72
Nestógeno	3.19	3.68	3.00
Casenolín	1.85	0.49	1.51
Secalbum	0.82	0.51	0.26
Yogalmina	2.96	2.98	2.23
Leche Nido	2.17	1.88	2.37
Leche Kasdorf	5.03	4.61	5.20
Leche S.M.A.	3.14	3.13	2.82
Leche Cindor	2.60	2.60	2.83
Ostelac	3.03	3.79	3.32
Otros alimentos			
Harina	15.58	19.91	18.20
Semolina	17.93	22.41	20.11
Parex	0.83	0.95	0.64
Maizena	3.85	2.75	-
Quaker	8.18	8.18	10.26
Papa	14.85	18.47	18.24
Zapallo	3.15	8.44	5.31
Cebolla	12.80	16.07	14.63
Tomate	23.95	28.94	25.95
Vegetales (ponderados según consumo)	6.45	8.06	8.60
Banana	5.90	6.42	6.04
Manzana	6.26	7.77	7.40
Huevos	5.24	6.55	7.01

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

Período	Deposición acumulativa (mc/Km ²)	Promedio de fallout (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 I I I
PROMEDIO DE ESTRONCIO ESTABLE EN ALIMENTOS

	Número de muestras	% de Ca (en ceniza)	Sr ppm (en ceniza)	mg Sr / g Ca
Leche	24	15.0	140	0.95 ± 0.08
Baberlac comp.	10	11.8	123	0.85 ± 0.09
Leche Nido	10	11.3	140	1.26 ± 0.21
Eledón con fécula y glúcidos	10	15.6	116	0.92 ± 0.06
Baberlac simple	10	11.3	171	1.50 ± 0.20
Biberol	9	14.2	70	0.48 ± 0.08
Yogalmina	10	15.2	90	0.59 ± 0.09
Levulosa	10	17.4	200	1.15 ± 0.05
Ostelac	10	15.3	110	0.72 ± 0.06
Secalbum	10	25.2	551	2.28 ± 0.38
Nestógeno	10	13.7	140	1.02 ± 0.15
Nestún	10	6.4	170	2.65 ± 0.40
Eledón con fécula	10	14.6	100	0.69 ± 0.05
Quaker	7	3.13	310	9.91 ± 1.10
Farex	10	25.0	200	0.80 ± 0.06
Dietas compuestas				
Grupos de Edad:				
6 - 9 meses	10			1.21 ± 0.20
9 - 12 "	9			1.24 ± 0.17
12 - 24 "	10			1.31 ± 0.26
24 - 36 "	10			1.35 ± 0.21
Adultos	10			1.75 ± 0.22

T A B L A I V
 INCORPORACION DIARIA PROMEDIO DE Sr-90 Y Sr NATURAL

Grupos de edad	Calcio g/día	Sr natural mg/día	Sr-90 pc/día
0 - 3 meses*	1.00	0.69	1.95
3 - 6 " *	0.99	0.96	2.64
6 - 9 "	0.84	1.02	2.85
9 - 12 "	0.86	1.07	3.05
12 - 24 "	0.72	0.94	2.70
24 - 36 "	0.68	0.92	2.65
Adultos	0.70	1.22	4.50

* Los cálculos suponen alimentación de pecho en la proporción mencionada en el texto y un OR (dieta-leche de la madre) de 0.12.

T A B L A V
Sr-90 EN HUESO E "HISTORIA DIETETICA"

Grupo de edad	Número	Promedio meses de edad	Promedio Nivel de hueso Sr-90/Ca (pc/g)	NIVEL DE DIETA Sr ⁹⁰ /Ca (pc/g)				
				0-6 meses	6-12 meses	12-24 meses	24-36 meses	de la madre*
Recién nacidos	38	-	0.97	-	-	-	-	6.90
0 - 6 meses	34	2.1	1.16	2.56	-	-	-	5.84
6 - 12 meses	20	9.5	1.12	1.98	3.49	-	-	4.15
12 - 24 meses	20	18.7	0.95	1.60	2.73	3.94	-	3.80
24 - 36 meses	11	33.6	0.87	1.31	2.59	3.41	4.02	3.40

* durante el embarazo.

12

INCREMENTOS DE CALCIO CORRESPONDIENTES EN ESQUELETO

FETAL	- 24 g	Ca 12 - 24 meses	- 39.6 g
Ca 0 - 2.1 mes	- 12.3 g	Ca 6 - 9.5 meses	- 17.7 g
Ca 0 - 6 meses	- 30.4 g	Ca 12 - 18.7 meses	- 22.1 g
Ca 6 - 12 meses	- 30.4 g	Ca 24 - 33.6 meses	- 21.5 g

T A B L A V I
ESTRONCIO NATURAL EN HUESO

Grupo de edad	Número de muestras	Promedio de edad	% de Ca (en ceniza)	Sr ppm (en ceniza)	mg Sr / g Ca
Fetos	17	-	30.5	67	0.23 ± 0.02
0 - 3 meses	19	30 días	28.5	77	0.25 ± 0.02
3 - 6 meses	16	114 "	30.0	87	0.29 ± 0.04
6 - 9 "	12	243 "	35.7	85	0.24 ± 0.02
9 - 12 "	15	349 "	31.9	71	0.31 ± 0.02
12 - 24 "	3	18 meses	36.0	110	0.32 ± 0.05
24 - 36 "	5	34 "	34.7	142	0.41 ± 0.07
Adultos	26	-	33.0	117	0.37 ± 0.02

BIBLIOGRAFIA

1. BENINSON, D.; MIGLIORI, A. y RAMOS, E. - Strontium-90 in the diets and bones of children. Progress Report I - HASL-149 (1964).
 2. BENINSON, D.; RAMOS, E. y TOUZET, R. - Strontium-90 in the diets and bones of children. Progress Report II - HASL-149 (1964).
 3. HASL: Manual of Standard Procedures NYO-4700 (1957).
 4. UNCEAR: Report of the Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UN Doc. A/5216 (1962).
 5. Instituto Nacional de la Nutrición - Comunicación privada.
 6. Cátedra de Pediatría, U. of Buenos Aires - Comunicación privada.
 7. Instituto Nacional de la Nutrición - Contenido en calcio y potasio de los alimentos de la R. Argentina (1957).
 8. BRYANT, F. y LOUIT, J. - The entry of Sr-90 into human bone. Proc. Royal Soc. B. 159. 449 (1964).
 9. Cátedra de Pediatría, U. of Buenos Aires - Comunicación privada.
 10. MITCHELL, H.; STEGERDA, F. y BEAN, H. - J. of Biological Chemistry 153. 635 (1945).
 11. SHERMAN, H. - Calcium and Phosphorous in Foods and Nutrition (1947).
-