

TRABAJO CIENTÍFICO CONJUNTO

POR PIER ROBERTO DANESI Y PAVEL PETER POVINEC

Poco después de que se estableciera el Comité Asesor Internacional, encargado de supervisar el Estudio de la situación radiológica en los atolones de Mururoa y Fangataufa, en la Polinesia Francesa, surgieron diversos problemas de carácter científico, como el acopio y análisis de datos. Entre julio y enero de 1996, Francia realizó 193 experimentos con armas nucleares en los atolones, y era necesario ejecutar un programa independiente de muestreo y análisis. Ese programa perseguía una serie de objetivos: evaluar la credibilidad de los datos de que disponían los franceses y determinar si sus actividades de vigilancia habían proporcionado estimaciones satisfactorias de las concentraciones e inventarios de los radionucleidos presentes en el medio ambiente terrestre y marino, de suerte que pudieran realizarse evaluaciones acertadas de las dosis.

Se solicitó la participación de los Laboratorios del OIEA en Seibersdorf, Austria, y en Mónaco (MEL), por la amplia experiencia que han acumulado en la vigilancia de la radiactividad en el medio ambiente terrestre y marino.

En el contexto del Estudio, se realizaron, en 1996, las campañas de muestreo terrestre y marino. En marzo de 1996, un grupo técnico de los laboratorios visitó los atolones, a fin de evaluar las necesidades logísticas de las misiones que se enviarían a una zona tan distante como esa; inspeccionó los posibles

lugares de muestreo, el equipo y las instalaciones del laboratorio, y se reunió con miembros de la Oficina Francesa de Enlace y el personal local. Posteriormente, el Grupo de tareas A del Estudio de Mururoa, presidido por el Dr. A. McEwan, del Laboratorio Radiológico Nacional de Nueva Zelandia, diseñó y analizó los programas de muestreo y vigilancia. El grupo estuvo integrado por especialistas de Dinamarca, Japón, Fiji, Australia, Estados Unidos, Austria y el Reino Unido.

Las campañas se llevaron a cabo del 1º de julio al 2 de agosto de 1996. Los grupos participantes en el muestreo terrestre y marino fueron ampliados para incluir diversos expertos internacionales. Los Laboratorios del OIEA realizaron una parte del análisis de radionucleidos significativos presentes en las muestras tomadas, y una red de laboratorios internacionales independientes efectuó la otra.

LA CAMPAÑA DE MUESTREO TERRESTRE

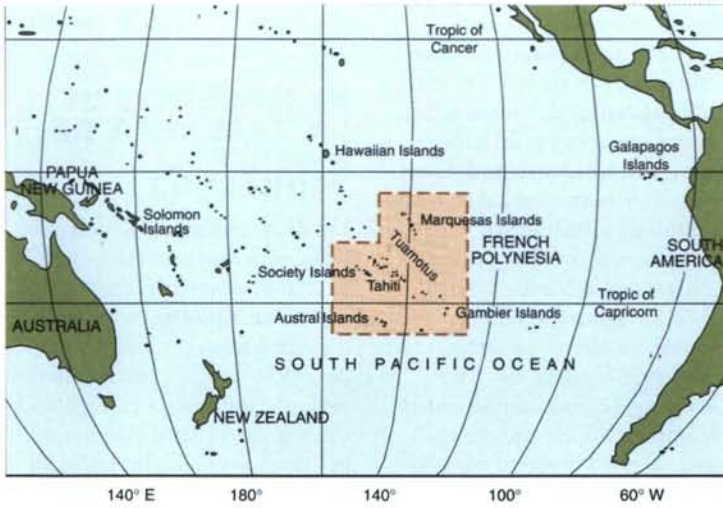
Se elaboró un programa para tomar muestras ambientales representativas. Con excepción de algunas muestras tomadas en la región de Colette, en el atolón de Mururoa, donde se investigaron las partículas calientes, en la preparación y tratamiento de las muestras se tuvo cuidado de garantizar que todos los radionucleidos se distribuyeran de manera homogénea en las últimas submuestras. Además, cada muestra se dividió en tres partes:

una parte se midió en los laboratorios internacionales colaboradores, otra se envió a Francia, y la tercera se archivó en Seibersdorf. Los científicos de Seibersdorf y otros especialistas internacionales examinaron los protocolos franceses, los cuales se consideraron satisfactorios y se aplicaron estrictamente a todos los procedimientos de muestreo, con vistas a asegurar la comparabilidad racional de los resultados con los datos franceses. El Laboratorio de Seibersdorf y los miembros de la red internacional de Laboratorios analíticos del OIEA para mediciones de la radiactividad en el medio ambiente (ALMERA), analizaron después las muestras tomadas. De esta red de 53 laboratorios, se seleccionaron once para examinar las muestras de Mururoa y Fangataufa.

Lugares y muestras. Se tomaron muestras en quince lugares seleccionados, lo más cerca posible de aquellos donde se realizaron muestreos durante las campañas de vigilancia ambiental, llevadas a cabo por los franceses a través de los años. Además, se recogieron algunas muestras en Tureia, el atolón habitado más cercano.

Se tomaron un total de 299 muestras de varios tipos. Después de clasificar todas las muestras según su contenido de actividad, se analizaron 198.

El Sr. Danesi es Director de los Laboratorios del OIEA en Seibersdorf y el Sr. Povinec es Jefe de la Sección de Radiometría del Laboratorio del Medio Ambiente Marino del OIEA en Mónaco.



Location of French Polynesia in the South Pacific Ocean.



Mapa: Ubicación de los atolones de Mururoa y Fangataufa en el Pacífico Sur. Los grupos del Estudio acopiaron casi 300 muestras para analizarlas. Fotos: Arriba, de derecha a izquierda, miembros del grupo de muestreo perforan el lecho de rocas coralinas en Fangataufa; se acopian muestras de rocas en Mururoa; se toman muestras de agua en la laguna de Mururoa; se emplaza un espectrómetro gamma para lecho marino en la laguna de Mururoa; y se acopian muestras de sedimento en la laguna de Fangataufa.

(Cortesía: Laboratorios del OIEA en Seibersdorf, OIEA-MEL)

Para evaluar la exposición potencial por inhalación, se examinaron las muestras tomadas de los filtros de aire utilizados para recoger aerosoles o partículas radiactivas puestas nuevamente en suspensión. Los filtros se recogían diariamente y se analizaban en Mururoa para determinar su actividad alfa y beta brutas; después fueron enviados a los laboratorios de Seibersdorf donde se midió su actividad gamma, y luego los redujeron a cenizas para determinar la actividad alfa y beta.

Siempre que fue posible, se tomaron muestras de tierra vegetal y de los perfiles de profundidad para estimar la contaminación total de la superficie y evaluar la transferencia de radionucleidos a través del suelo.

En las regiones donde no existía suelo, se recogieron corales sueltos y muestras de arena. La arena y las rocas sueltas de la playa están sujetas a la perturbación y a la mezcla por la acción de las olas y las tormentas. Por tanto, se consideró que el procedimiento más adecuado para obtener información no sesgada era tomar muestras aleatorias y después mezclarlas para conseguir una muestra compuesta que representara la zona en general.

Se recogieron testigos de rocas coralinas para investigar la migración descendente de los radionucleidos que inicialmente se depositaron en la superficie. El perfil de concentración vertical también fue un parámetro importante para calcular el inventario general de radionucleidos mediante espectrometría gamma *in situ*.

En Mururoa y Fangataufa, no prosperan la vegetación ni los frutos, excepto unos cuantos especímenes en jardines privados muy pequeños que utilizan tierra transportada desde otros lugares de la Polinesia Francesa. No obstante, se consideró conveniente obtener

alguna información, aunque fuera indirecta, sobre las características de la transferencia de radionucleidos del suelo a las plantas, que una población hipotética residente podría cultivar. Por tanto, en ausencia de legumbres y hortalizas, se tomaron y se analizaron, en su lugar, muestras de hojas de árboles y arbustos. En el caso de los cocos, se obtuvieron datos más específicos. Los cocoteros fueron introducidos en Mururoa hace unos cien años. Como constituyen una parte muy importante de la dieta de los polinesios, se recogieron cocos en varios lugares de Mururoa, en Tureia y en algunos lugares aislados de Fangataufa. Los cocos se seleccionaron por su grado de madurez, para obtener muestras de su agua y masa (copra).

En varios lugares de los dos atolones, se realizaron 106 mediciones por espectrometría gamma *in situ* con detectores de germanio de gran pureza, con el objetivo de reunir información sobre los inventarios, superficial y subsuperficial, de los radionucleidos de plutonio 239, americio 241, cobalto 60, cesio 137 y europio 155.

Se realizaron análisis de espectrometría gamma en 192 muestras, mientras se analizaron radionucleidos emisores alfa y beta en 178 muestras. Las mediciones se hicieron por duplicado y triplicado como parte de las medidas de validación y control de calidad, lo que dio por resultado un total de 941 determinaciones individuales en el caso de los radionucleidos emisores alfa (plutonio 238, plutonio 239 y 240 y americio 241), 78 determinaciones en el caso del estroncio 90, y 2520 resultados respecto de los distintos radionucleidos emisores gamma.

El proceso completo de muestreo, preparación, almacenamiento y distribución fue

ejecutado bajo estrictas medidas de garantía de calidad.

RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE MUESTREO TERRESTRE

Desde el comienzo mismo, se reconoció que una campaña de sólo unas semanas de duración, únicamente podría proporcionar muestras relativamente limitadas. A su vez, ello inevitablemente se traduciría en algunas diferencias en las concentraciones de radionucleidos entre las muestras puntuales tomadas durante la campaña y los conjuntos de datos mucho más amplios, acumulados en las campañas de vigilancia realizadas por los franceses durante varios años. Sobre la base de las anteriores experiencias analíticas del OIEA, se esperaba encontrar algunas diferencias por varias razones y, por tanto, las coincidencias en la gama de valores pudieran considerarse una buena medida de acuerdo.

Los resultados del Estudio de Mururoa se compararon con los resultados de los franceses en cuanto a gamas de actividad. Los resúmenes de las gamas observadas en el caso del plutonio 239 y 240 y el cesio 137 muestran que en la mayoría de las combinaciones de lugares y tipos de muestras, las gamas coinciden y, por ende, hay una adecuada correspondencia. No obstante, se observaron algunas discrepancias. Aunque son de menor importancia desde el punto de vista del riesgo radiológico, vale la pena examinarlas brevemente.

En la región de Irene (extremo occidental del aeródromo), las concentraciones de actividad de aerosoles medidas en el caso de los isótopos de plutonio fueron de 2 mBq/m³, mientras los franceses notificaron un valor de 0,11 mBq/m³, medido en el extremo oriental

del aeródromo (Kathie). Ello puede atribuirse a que los franceses utilizaron alguna grava contaminada de la región de Colette en la construcción del aeropuerto. Por eso, no sorprendió que se pusieran nuevamente en suspensión algunas partículas, lo que provocó una elevada actividad ocasional en algunas muestras de aire.

En la región de Faucon, en tres muestras de tierra vegetal se observaron concentraciones de plutonio 239 y 240 que fluctuaban entre 1200 y 1600 Bq/kg, es decir, considerablemente superiores a los valores de los franceses, que oscilaban entre 0,6 y 360 Bq/kg. Esta diferencia puede atribuirse a la heterogeneidad en pequeña escala de la distribución de radionucleidos en esta región.

Cerca de la zona donde se llevaron a cabo las pruebas de seguridad (región de Colette), se identificaron puntos calientes y partículas calientes que contenían plutonio 239 y americio 241. (Véase el artículo conexo de la página 43.) Las concentraciones de plutonio 239 y americio 241, medidas en la superficie, resultaron ser de unas dos a seis veces superiores a los valores obtenidos por los franceses en 1987, que oscilaron entre 1 y 3 MBq/m² en el caso del plutonio 239, y entre 20 y 70 kBq/m², en el del americio 241.

La diferencia se atribuyó a las diferentes técnicas de medición utilizadas por el grupo internacional del OIEA y los científicos franceses. El equipo internacional, que realizó un conjunto de mediciones más limitadas, empleó la espectrometría gamma *in situ*, que exige más tiempo, y utilizó un detector de germanio de alta resolución colocado a una distancia fija del suelo (un metro), y aprovechó las diferentes energías gamma del plutonio 239 y del americio

241. Por tanto, los niveles de actividad obtenidos por el grupo del OIEA pueden considerarse más representativos de la situación imperante en ese momento.

Estas mediciones también indicaron que la relación de actividad del plutonio 239 y 240 con respecto al americio 241 se agrupó en torno a dos valores: 45 y 60. Ello probablemente reflejó la diferencia de edad y pureza del plutonio utilizado en las pruebas de seguridad. Sin embargo, cabe señalar que las tasas de dosis externas, calculadas a partir de estas mediciones, efectuadas con la espectrometría gamma *in situ*, sólo llegaron a unos cientos de microSv anuales.

En la región de Kilo, en el atolón de Fangataufa, el grupo internacional midió las concentraciones más altas de cesio 137 y estroncio 90 en la masa y agua de coco. Estos niveles de actividad pueden considerarse irrelevantes desde el punto de vista del peligro radiológico: son mucho menores (en un factor de tres) que los niveles de actividad natural del potasio 40, detectados en todas las muestras de agua de coco.

En el atolón habitado de Tureia, el equipo midió los niveles de actividad del plutonio 239 y 240, del cesio 137 y del estroncio 90 en las muestras de suelo, vegetación y coco. En general, todos se consideraron bajos y carentes de importancia radiológica.

En conclusión, se determinó que las concentraciones de actividad medidas en la campaña de muestreo terrestre del Estudio concordaron con los datos franceses. Por eso, pudieran considerarse una descripción amplia y fiable de los niveles de materiales radiactivos artificiales presentes en el medio ambiente terrestre de los atolones.

LA CAMPAÑA DE MUESTREO MARINO

El mandato del Grupo de trabajo encargado de la toma de muestras marinas, coordinado por el MEL, incluyó un examen de los datos suministrados por las autoridades francesas sobre las distribuciones de radionucleidos en el medio ambiente del litoral y del sublitoral de los atolones. Se perseguía el doble objetivo de realizar una labor nueva e independiente de vigilancia en los atolones y en sus alrededores, con vistas a validar los actuales datos de Francia. Al mismo tiempo, la labor de vigilancia proporcionaría un conjunto de datos, representativos y de alta calidad, sobre las concentraciones actuales de radionucleidos en el medio ambiente marino.

Con el objetivo de tomar muestras acuáticas, del 1º al 27 de julio de 1996, se organizó la expedición a Mururoa y Fangataufa. El trabajo se preparó para tomar muestras pertinentes y comparables de agua, biota y sedimento de las lagunas de los atolones, así como del océano circundante. Los resultados alcanzados, junto con los datos de la intercomparación anterior, realizada por el OIEA, evaluados en 1994, se utilizaron para validar los datos mucho más amplios, obtenidos en las campañas de vigilancia llevadas a cabo por los franceses.

En la campaña de muestreo marino participaron cinco investigadores de laboratorios de los Estados Miembros del OIEA y cuatro del MEL. El grupo trabajó en cinco barcos simultáneamente. El tratamiento previo de las muestras se efectuó en cuatro laboratorios independientes en Mururoa.

Al igual que en la campaña de muestreo terrestre, todas las muestras se tomaron por triplicado. Se recogieron más de

300 muestras (de agua de las lagunas, agua de mar, agua intersticial contenida en los sedimentos, corales y biota). Se acopiaron, procesaron, envasaron y transportaron, hasta Mónaco, unos 13 000 litros de agua y una tonelada de muestras sólidas para distribuirlos entre diez laboratorios analíticos de ocho países.

Se utilizó la espectrometría gamma subacuática en las mediciones *in situ* de la actividad gamma de los sedimentos. El objetivo del estudio era determinar las zonas más contaminadas y orientar la posterior toma de muestras. El estudio se llevó a cabo dentro de las lagunas de los atolones de Mururoa y Fangataufa. Como la accidentada topografía del fondo no permite el arrastre de ningún dispositivo bentónico, las mediciones se hicieron en una discreta red de puntos, situados mayormente en líneas que cortaban transversalmente las zonas de mayor contaminación identificadas por los franceses.

El estudio del grupo evaluó las tasas de recuento gamma debidas al cobalto 60 y al cesio 137, cuyas distribuciones en los sedimentos de las lagunas, debido a diferentes orígenes y geoquímica, no son necesariamente las mismas que en el caso del plutonio. Sin embargo, las investigaciones francesas anteriores mostraron que se correlacionan con las modalidades de distribución del plutonio.

Después del estudio, se tomaron muestras en los lugares donde se determinó que existían niveles máximos de contaminación local. Después se llevaron a cabo análisis de calibración y correlación para calcular los inventarios de cobalto 60 y cesio 137 a partir de las mediciones *in situ*, y estimar los inventarios de cobalto 60 y plutonio 239 y 240 en los sedimentos de las lagunas.

La espectrometría gamma subacuática, muy avanzada, resultó ser una técnica eficaz para identificar, en el lugar, las zonas con los niveles más elevados de contaminación del fondo marino. De otra manera, el proceso habría exigido una secuencia más prolongada de muestreo, preparación de muestras y conteo.

Una red de laboratorios marinos realizó la labor analítica. Además del OIEA-MEL, la red incluyó seis laboratorios, de renombre internacional que proporcionan datos de alta calidad y que están ubicados en Alemania, Australia, Dinamarca, los Estados Unidos, Nueva Zelandia y el Reino Unido. Todos participaron en los ejercicios de intercomparación regulares organizados por el MEL, y en su trabajo específico demostraron buena competencia analítica en las pruebas de eficiencia, organizadas con fines concretos.

RESULTADOS DE LA CAMPAÑA DE MUESTREO MARINO

Esta campaña corroboró la disponibilidad de una amplia cantidad de datos y proporcionó información científica adicional. Se comprobó que las concentraciones de actividad de los radionucleidos en el medio acuático eran generalmente bajas y comparables con los datos notificados por los franceses.

Se pudieron medir el estroncio 90 y el cesio 137 residuales en el medio ambiente de las dos lagunas, pero las concentraciones fueron muy bajas. Las actividades típicas fueron: en las aguas de las lagunas, unos 2 Bq/m³ (sólo marginalmente por encima del nivel que, por lo general, predomina en el Pacífico Sur debido a la precipitación mundial); y en los peces de las lagunas, menos

de 0,3 Bq/kg en el caso del cesio 137 y mucho más baja en el del estroncio 90 (en comparación, la actividad del potasio 40 radiactivo natural, presente en los peces, es del orden de los 100 Bq/kg).

En cuanto a supuestos residentes en el atolón de Mururoa, el contribuyente más significativo a las dosis sería el plutonio 239 y 240. Los niveles de plutonio fueron de alrededor del 0,3 Bq/m³ en las aguas de las lagunas, 0,01 Bq/kg en los peces, 0,08 Bq/kg en los crustáceos y 0,8 Bq/kg en los moluscos de las lagunas (casi 100 veces las concentraciones de estos radionucleidos en el océano y en la biota oceánica comparable, resultante de la precipitación mundial). Sin embargo, desde el punto de vista radiológico, todas estas concentraciones de actividad son muy bajas y carecen de importancia radiológica.

Los analistas encontraron evidencia de una tendencia cronológica en las concentraciones de tritio, estroncio 90, cesio 137 y plutonio 239 y 240 en el agua de la laguna. El confinamiento no fue igualmente eficaz en los 137 ensayos nucleares subterráneos, y dadas las elevadas concentraciones de tritio, que han existido durante varios años, es evidente que ha estado ocurriendo alguna filtración de tritio en las dos lagunas. Eso quedó confirmado por los datos, facilitados por la Oficina Francesa de Enlace, sobre los niveles de tritio y su distribución en las rocas carbonatadas de los dos atolones.

Las mediciones realizadas en 1996 indican que los niveles de tritio en las lagunas pueden estar comenzando a disminuir (sin embargo, esta disminución puede cambiar en la laguna de Mururoa a medida que el tritio procedente de los ensayos nucleares subterráneos emigre hacia el agua de la laguna). En

la actualidad, los niveles de estroncio 90 pueden indicar un ligero incremento. Los niveles de cesio 137 y plutonio 239 y 240 han venido disminuyendo durante algunos años, más rápido de lo que cabría esperar cuando sólo interviene la desintegración radiactiva.

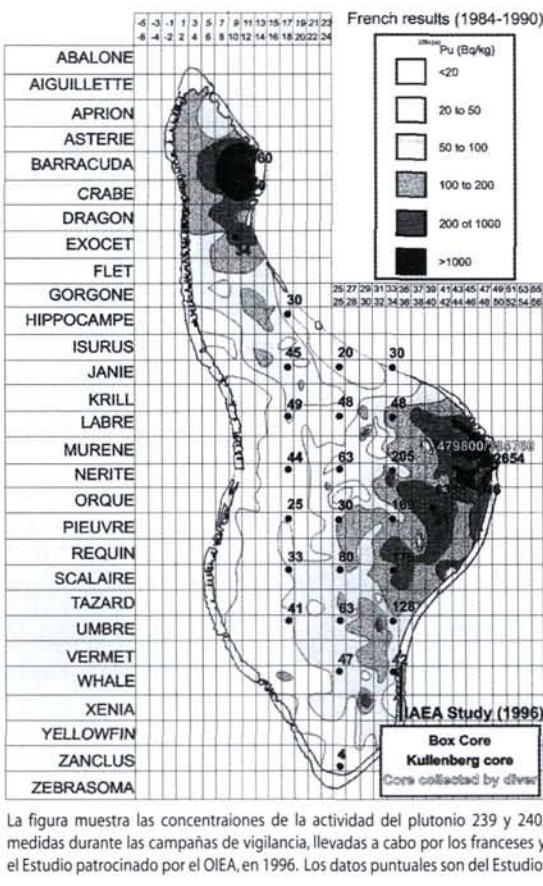
El radionuclido predominante que se observó en los sedimentos de las lagunas fue el plutonio 239 y 240. Las concentraciones en la superficie oscilaron entre unas cuantas decenas de Bq/kg de sedimento en la parte central de las lagunas hasta unos cuantos miles de Bq/kg en Denise y Dindon, en Mururoa, y en Fregate, en los puntos calientes de Fangataufa, abandonados después de los ensayos en barcaza.

Las concentraciones más altas de plutonio 239 y 240 se observaron en el sedimento de la orilla de la región de Colette (hasta unos 500 000 Bq/kg) que fue contaminado por las pruebas de seguridad.

CONCLUSIONES GENERALES

En general, las campañas de muestreo del Estudio de Mururoa permitieron comprobar que el medio ambiente terrestre y acuático de los atolones de Mururoa y Fangataufa, a los que las personas pueden acceder, contienen materiales radiactivos residuales que pueden atribuirse a los ensayos nucleares. Sin embargo, estos materiales se encuentran en concentraciones generalmente bajas que carecen de importancia radiológica.

CONCENTRACIONES DE PLUTONIO EN LOS SEDIMENTOS DE LA SUPERFICIE DE LA LAGUNA DE MURUROA



No obstante, hay algunos aspectos destacados cuyas consecuencias radiológicas pueden resultar de interés:

■ En general, hubo una correspondencia bastante buena entre los resultados del Estudio y los datos franceses. Se observó una disminución de las concentraciones de radionuclidos en las lagunas en comparación con los datos franceses. Las concentraciones de radionuclidos en la biota fueron bajas y concordaron con los anteriores datos del OIEA y de Francia.

■ En la zona de los polígonos de ensayos —los motu Colette, Ariel y Vesta en el atolón de Mururoa— quedan partículas que contienen plutonio y pequeñas cantidades de americio

resultantes de las pruebas atmosféricas de seguridad.

■ Se encontraron niveles elevados de cesio 137 (aproximadamente 1 kBq/kg) en pequeñas zonas que totalizan varias hectáreas de la corona Kilo-Empereur de Fangataufa.

■ Algunos kilogramos de plutonio derivados de los ensayos nucleares atmosféricos, realizados en los atolones, permanecen en los sedimentos debajo de la laguna de cada atolón. Una parte del plutonio contenido en los sedimentos de la laguna del atolón de Mururoa proviene de las pruebas atmosféricas de seguridad. El inventario total de plutonio 238, 239 y 240 de las dos lagunas se estimó en unos 30 Tbj. Los inventarios de americio 241, cesio 137, europio 155 y cobalto 60 están por debajo de 1 Tbj (cada uno).

■ Se observó que las concentraciones de tritio, estroncio 90, cesio 137 y plutonio 239 y 240 en cada una de las lagunas eran superiores a las del océano abierto, como resultado de la lixiviación de los sedimentos (los últimos tres radionuclidos) y de contribuciones de fuentes subterráneas (los dos primeros radionuclidos). Las tasas estimadas de liberación de radionuclidos de las dos lagunas hacia el océano abierto fueron (en Tbj/año): 6 en el caso del tritio, 0,03 del estroncio 90, 0,01 del cesio 137 y 0,01 del plutonio 238 y plutonio 239 y 240.

■ Se comprobó que los coeficientes de distribución y los factores de concentración utilizados en las dos lagunas estaban dentro de la gama de valores que recomienda el OIEA. □