

# EVALUACION DE LAS DOSIS DE RADIACION ATRIBUIDAS A LOS MATERIALES RADIOACTIVOS RESIDUALES

## DOSIS POTENCIALES EN LOS ATOLONES

POR GORDON LINSLEY Y ANDREW McEWAN

**H**asta ahora, el atolón de Mururoa sólo ha sido habitado ocasionalmente, y no existen pruebas de que Fangataufa haya estado poblado alguna vez. La falta de abastecimiento de agua, y la vulnerabilidad de los atolones a los efectos del mar dificultan la vida humana en esa región.

No obstante, para los fines del Estudio internacional de la situación radiológica en los atolones de Mururoa y Fangataufa, se ha supuesto la existencia de una población hipotética en Mururoa a fin de determinar las dosis de radiación potenciales. Asimismo, fue necesario estimar las dosis para comunidades más distantes a fin de establecer la importancia de las liberaciones de materiales radiactivos.

La evaluación tiene en cuenta la dispersión de radionucleidos provenientes de ensayos subterráneos y atmosféricos, y de liberaciones aceleradas de materiales provocadas por sucesos disruptivos de origen natural o humano, como deslizamientos de tierra, o cambios en las condiciones climáticas.

La evaluación estuvo relacionada con las dosis de radiación actuales y futuras debidas a residuos presentes en los atolones de Mururoa y Fangataufa. En el Estudio no se evaluaron las dosis recibidas años atrás como consecuencia de las precipitaciones radiactivas ocurridas durante los ensayos atmosféricos realizados por Francia, aunque el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas

(UNSCEAR) proporcionó una estimación de esas dosis en la región. (Véase el recuadro de la página siguiente.)

### CATEGORIAS DE EXPOSICION

El Estudio estimó las tasas de dosis resultantes de la exposición a los radionucleidos residuales provenientes de los ensayos nucleares realizados por Francia en relación con grupos de población críticos en las condiciones actuales y futuras. Se efectuaron estimaciones para las categorías de grupos siguientes:

- exposición actual de habitantes hipotéticos de los atolones de Mururoa y Fangataufa;
- exposición actual de habitantes del atolón de Tureia, el atolón habitado más cercano de la región;
- exposición futura de habitantes de la región y de cualquier habitante de los atolones de Mururoa y Fangataufa como consecuencia de los materiales radiactivos residuales ahora presentes en el medio ambiente y la parte de los materiales radiactivos contenidos en el subsuelo que emigrarán, en el futuro, al medio ambiente accesible;
- exposición potencial de habitantes de la región y de habitantes hipotéticos de los atolones de Mururoa y Fangataufa como consecuencia de sucesos disruptivos presupuestos.

**Vías de exposición.** Según se evaluó, la ingestión fue la principal vía de exposición que contribuyó a las dosis. Se utilizaron dietas realistas para poblaciones como las residentes en el atolón

de Tureia, el atolón habitado más cercano, y para los habitantes hipotéticos de los atolones de Mururoa y Fangataufa. Respecto de las poblaciones hipotéticas de otros lugares, se supusieron elevadas tasas de consumo, en especial de alimentos marinos, para garantizar que se obtuvieran estimaciones del límite superior de las tasas de dosis.

En los casos en que fue posible, las concentraciones de radionucleidos en alimentos se obtuvieron mediante medición directa. Cuando no se pudo realizar la medición directa, como sucedió con las poblaciones hipotéticas, se estimaron las concentraciones en los alimentos.

### DOSIS ACTUALES EN LOS ATOLONES

Una población que resida permanentemente en los atolones y subsista con una dieta de productos locales y de alimentos marinos, capturados en las lagunas, no recibiría, por lo general, una dosis de radiación que pudiese atribuirse a los materiales radiactivos residuales superior a 0,01 mSv al año. Esta dosis equivale a una parte muy pequeña (menos de una parte

---

*El Sr. Linsley es Jefe de la Sección de Seguridad de los Desechos de la División de Seguridad Radiológica y de los Desechos del OIEA. El Sr. McEwan, Director del Laboratorio Radiológico Nacional de Nueva Zelanda, fue Presidente del Grupo de Tareas A del Estudio de la situación radiológica en los atolones de Mururoa y Fangataufa.*

en 200) de la dosis total que una población residente de ese tipo recibiría inevitablemente de las fuentes de radiación natural. (Véanse el cuadro y el recuadro de la página siguiente.)

Las estimaciones de dosis se basan en niveles medidos de radionucleidos artificiales presentes en el medio ambiente de los atolones, entre los cuales figurarán las contribuciones provenientes de las precipitaciones radiactivas globales (es decir, las precipitaciones debidas a todos los ensayos de armas nucleares en la atmósfera). Salvo en el caso de los alimentos marinos, no es posible determinar esas contribuciones a los niveles ambientales medidos, y, por consiguiente, tampoco la parte de las dosis estimadas que se deben a las precipitaciones radiactivas globales.

Se estima que la actual dosis anual media correspondiente a toda la zona comprendida entre los 20° y los 30° de latitud sur del atolón de Mururoa debido a las precipitaciones radiactivas globales sea del orden de 0,002 a 0,003 mSv.

### DOSIS ACTUALES EN EL PACIFICO SUR

También se estimaron las dosis anuales actuales que reciben los habitantes de otras islas del Pacífico Sur, las cuales pueden atribuirse a los materiales radiactivos residuales presentes en el medio ambiente accesible. A unos 1000 kilómetros de Mururoa residen alrededor de 5000 personas. Según estimaciones del Estudio, los residentes del atolón de Tureia, territorio habitado más cercano a los atolones de Mururoa y Fangataufa (a unos 130 kilómetros de Mururoa, con una población de casi 120 habitantes), reciben sólo dosis despreciables (de menos de 0,0001 mSv al año) como consecuencia de las liberaciones de radio-

### ANTERIORES DOSIS DE RADIACION DEBIDAS A PRECIPITACIONES RADIATIVAS

Cuando Francia realizó los ensayos atmosféricos entre 1966 y 1974, unas 5000 personas residían dentro de un perímetro de unos 1000 kilómetros alrededor del polígono de ensayo francés, y sí ocurrieron exposiciones a nivel local en el caso de cinco ensayos específicos (véase el cuadro) debido a condiciones inusuales de los vientos y las lluvias. Entre 1966 y 1971, se efectuaron cuatro ensayos que generaron dosis efectivas que oscilaron entre 1 y 5 mSv para los residentes de Tureia (el atolón habitado más cercano, a 130 km al norte de Mururoa) y de las Islas Gambier (400 kilómetros al sudeste de Mururoa). En 1974, uno de los ensayos originó dosis de hasta 0,8 mSv para los residentes de Tahití (1200 kilómetros al noroeste). Sólo unos cuantos individuos de estas islas habrían recibido las dosis máximas estimadas que se muestran en el cuadro infra. Por ejemplo, en Tahití, la mayoría de las personas habrían recibido solamente exposiciones externas. En las demás islas, se estimaron algunas exposiciones internas resultantes de la ingestión de hortalizas o moluscos de las lagunas.

En ese momento, las exposiciones se debieron, en gran medida, a las precipitaciones radiactivas de radionucleidos de período corto, por ejemplo, el yodo radiactivo (en especial el yodo 131 con un período de semidesintegración de ocho días). En muchos lugares del hemisferio austral, se midieron las concentraciones de yodo 131 en la leche durante el período de ensayos nucleares atmosféricos en los atolones de Mururoa y Fangataufa. Se cree que las dosis equivalentes al tiroides recibidas por las personas como resultado de los ensayos nucleares realizados en ambos atolones no excedieron de los 10 mSv durante todo el período de ensayos atmosféricos efectuados entre 1966 y 1974.

#### DOSIS ANTERIORES DE INDIVIDUOS EXPUESTOS A LOS MAXIMOS NIVELES

Fecha del ensayo nuclear	Lugar de la exposición	Dosis anual efectiva (mSv)			
		Externa	Inhalación	Ingestión	Total
2 de julio de 1966	Islas Gambier	3,4	0,18	1,9	5,5
2 de julio de 1967	Atolón de Tureia	0,7	0,023	0,17	0,9
12 de junio de 1971	Atolón de Tureia	0,9	0,003	0,43	1,3
8 de agosto de 1971	Islas Gambier	0,9	0,002	0,24	1,2
17 de julio de 1974	Tahití (Mahina)	0,6	0,08	0,06	0,8

nucleidos procedentes de Mururoa y Fangataufa.

No obstante, el atolón de Tureia recibió algunas precipitaciones radiactivas cuando se efectuaron los ensayos nucleares atmosféricos en los atolones de Mururoa y Fangataufa, además de las precipitaciones radiactivas globales. Según se estimó, las dosis de radiación que reciben sus habitantes como resultado de todas las precipitaciones anteriores son de unos 0,005 mSv al año. Por otro lado, es indeterminada la parte de esta dosis que se

debe a las precipitaciones radiactivas provocadas por los ensayos realizados sólo en los atolones de Mururoa y Fangataufa, ya que las estimaciones de la dosis se basan en los niveles medidos del total de radionucleidos artificiales presentes en el medio ambiente del atolón de Tureia, los cuales comprenderán una parte de la contribución proveniente de las precipitaciones radiactivas mundiales. La dosis de 0,005 mSv al año es muy pequeña en comparación con las dosis totales que los habitantes de Tureia reciben de fuen-

## DOSIS ACTUALES PARA HABITANTES ADULTOS DEBIDAS A MATERIALES RADIACTIVOS RESIDUALES Y PRECIPITACIONES RADIACTIVAS GLOBALES

Vía	Dosis anual <small>(estimaciones hipotéticas en el polígono de Anemone en el atolón de Mururoa)</small> (mSv)	Dosis anual en el atolón de Tureia (mSv)
Radiación externa	~0,0011	<0,001
Inhalación	<0,0001	—
Ingestión: alimentos terrestres	0,0009 <sup>a</sup>	0,004 <sup>a</sup>
Ingestión: alimentos marinos	0,0043 <sup>b</sup>	0,00001 <sup>b</sup>
<b>Total</b>	<b>~0,006</b>	<b>~0,005</b>

<sup>a</sup>Una parte indeterminada de esta dosis se deriva de la precipitación radiactiva global.

<sup>b</sup>En esta estimación de dosis no se incluye la contribución a la dosis por ingestión de alimentos marinos de 0,0004 mSv debida a la precipitación radiactiva global.

tes naturales de radiación y es similar a la tasa de dosis calculada para la población hipotética del atolón de Mururoa.

Cabe señalar que existen diferencias en cuanto a las contribuciones a las dosis de las distintas vías de exposición respecto de los atolones de Tureia y Mururoa. En el atolón de Tureia, el consumo de alimentos marinos es elevado, pero la contribución a la dosis mediante esta vía es insignificante, ya que casi no existen materiales radiactivos provenientes de las precipitaciones en los sedimentos de la laguna. El consumo de alimentos terrestres es el factor más importante en las contribuciones a la dosis, debido a que en Tureia la deposición en tierra de cesio 137, derivado de los ensayos nucleares atmosféricos, fue mayor en aquel entonces que en el atolón de Mururoa. En el caso de Mururoa, donde hay plutonio en los sedimentos de la laguna, el consumo de alimentos marinos es la vía más importante.

Asimismo, se estimaron las dosis que reciben las personas que consumen alimentos marinos capturados en lejanas zonas de pesca del Pacífico. En todos los casos, las tasas de dosis son incluso muchísimo más bajas que las calculadas para los atolones de Mururoa y Fangataufa.

### COMPARACION DE LAS DOSIS DE RADIACION

Fuente de la dosis	Dosis (mSv anuales)
Dosis globales de radiación natural de fondo	
■ Gama típica	1 a 10
■ Máxima	~ 100
■ Media	2,4
Atolones de Mururoa y Fangataufa	
■ Dosis debida a la radiación natural de fondo	1,4 a 3
Otras dosis actuales estimadas debidas a materiales radiactivos residuales que quedaron en los atolones de Mururoa y Fangataufa	
■ Máxima en el atolón de Tureia	<0,0001
■ Media en los atolones de Mururoa y Fangataufa	<0,01
■ Máxima en la región de Kilo- Empereur del atolón de Fangataufa	~0.25
Dosis máxima adicional en el atolón de Tureia después de un deslizamiento de rocas en el atolón de Mururoa	0,007 (el primer año)

Las dosis anuales actuales que reciben las personas que consumen grandes cantidades de pescados y alimentos marinos capturados en las inmediaciones de Australia y Nueva Zelandia, así como los consumidores de cantidades similares de alimentos marinos procedentes de regiones cercanas a América del Sur, son, en su totalidad, despreciables; las dosis típicas son inferiores, en muchos órdenes de magnitud, a las dosis medias resultantes de la radiación natural de fondo.

### SITUACIONES ESPECIFICAS

El Estudio también examinó cuatro situaciones específicas en Mururoa y Fangataufa.

■ **Plutonio presente en las lagunas.** La cantidad de plutonio presente en los sedimentos de las dos lagunas es relativamente grande; unos cinco kilogramos en el atolón de Mururoa y tres kilogramos en el de Fangataufa. Sin embargo, este plutonio sólo aportará dosis muy pequeñas debido a su baja tasa de transferencia a la

población por las vías posibles. La existencia de plutonio también está disminuyendo a causa de la remoción progresiva de sedimentos de la laguna hacia el océano, y de la sepultación y dilución graduales de los sedimentos de la laguna debidas a la acumulación de nuevos sedimentos.

**Presencia de tritio en las lagunas.** La concentración de tritio en las lagunas es hoy día unas diez veces mayor que los bajísimos niveles existentes en el océano abierto (del orden de  $1000 \text{ Bq/m}^3$  respectivamente), como consecuencia de liberaciones desde fuentes subterráneas. Sin embargo, el tritio es uno de los radionucleidos menos radiotóxicos. Se requeriría un consumo constante de agua dulce con un contenido de  $1,6 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$  para llegar a una dosis de  $2,4 \text{ mSv}$  anuales, la dosis anual media recibida de fuentes naturales de radiación. Por consiguiente, las dosis de radiación que se recibirían a partir del tritio existente en la laguna son despreciables.

**Exposición potencial debida a partículas con contenido de plutonio.** Las pruebas atmosféricas de seguridad realizadas en los motu Colette, Ariel y Vesta, en el atolón de Mururoa, ocasionaron la dispersión explosiva de plutonio (junto con pequeñas cantidades de americio). El Estudio arrojó que la actividad superficial general del plutonio residual existente en la zona era quizá tres veces superior al criterio aplicado por Francia de  $10^6 \text{ Bq/m}^2$  para realizar operaciones de limpieza, el cual fue establecido para limitar las exposiciones potenciales por inhalación de finas partículas de coral con contenido de plutonio. Sin embargo, este aumento del nivel de actividad superficial general conduciría sólo a bajas dosis; por ejemplo, de menos de  $0,001 \text{ mSv}$  al año para personas como los pescadores, quienes podrían pasar 120 horas anuales en la zona.

No obstante, algunos de los materiales radiactivos dispersos se encuentran en forma de partículas discretas, cuyo tamaño oscila entre  $0,1$  milímetros y quizá  $1$  milímetro. Se hallaron partículas de plutonio en muestras de arena, coral y lecho rocoso coralino, recogidas en Colette y en la arena tomada de un banco de arena situado en la laguna adyacente a la región de Colette.

Estas partículas son otra vía para la exposición potencial en la región de Colette. Si una persona visitase el motu Colette, o los motu más pequeños de Ariel y Vesta (los cuales se encuentran en una parte distante de la corona del atolón y apenas se elevan por encima del nivel del océano), correría el riesgo, aunque muy leve, de que una partícula de ese tipo pudiera incorporarse en el cuerpo a través de una herida y quedar retenida. La exposición resultante se mantendría a menos que la partícula se extrajera (mediante un proceso natural o por acción humana) y pudiera acumularse una dosis de radiación significativa. Se supone que mientras la partícula esté en el cuerpo, sería una fuente constante de plutonio; el plutonio se disolvería lentamente en los líquidos corporales y sería transportado a órganos y tejidos delicados (en especial a los huesos), los cuales estarían sometidos a constante radiación.

La información obtenida de las propias investigaciones del Estudio y del examen de las partículas recogidas bastó para que se hiciera una estimación del riesgo radiológico general. Se utilizaron datos extraídos de estudios experimentales sobre la incorporación de partículas activas similares procedentes del polígono de ensayos nucleares de Maralinga, en Australia. Para una partícula de óxido de plutonio retenida, la dosis potencial efectiva estimada para un adulto pudiera oscilar entre  $9 \times 10^{-8}$  y  $9 \times 10^{-6} \text{ Sv/Bq}$ .

Si el cuerpo retuviera una de las partículas de plutonio más activas, de alrededor de  $100\,000 \text{ Bq}$ , pudieran generarse dosis, durante toda la vida, de hasta  $1000 \text{ mSv}$ , aproximadamente. Esta cifra es unas diez veces la dosis media acumulada en 50 años desde fuentes naturales de radiación. La dosis para toda la vida dependería de la edad de la persona y de la solubilidad de la partícula en los líquidos corporales. En el caso de un niño, la dosis para toda la vida pudiera ser mayor hasta en un factor de dos. Dado el carácter prolongado (crónico) de la exposición, aun cuando se trate de partículas muy activas, es poco probable que, como resultado de semejante incorporación, se observen efectos inmediatos para la salud, distintos de la aparición de un pequeño nódulo de tejido muerto alrededor de la partícula.

Sin embargo, se estimó que era muy remota la posibilidad de que realmente ocurriera una exposición de esa índole. Se cree que la probabilidad de que un individuo, residente en Mururoa, se enferme de cáncer fatal de esta manera, es inferior a uno en un millón al año.

**Dosis para un grupo crítico hipotético en Fangataufa.** Según el Estudio, las dosis más elevadas que pudieran recibirse como consecuencia de residuos provenientes de ensayos nucleares realizados por Francia, serían las dosis para un grupo hipotético y muy pequeño de personas que consuman sólo productos locales procedentes de una zona limitada de la región de Kilo-Empereur del atolón de Fangataufa. Esta región se encuentra del lado del polígono expuesto al viento donde se efectuó, el 24 de septiembre de 1966, un ensayo atmosférico de 125 kilotonnes encima de una barca. Ese ensayo dejó una estrecha franja de tierra de 3 kilómetros de largo en la corona del atolón, con elevados niveles de cesio 137 y otros radionucleidos

en el suelo, aunque la distribución es muy irregular. La dosis se debería principalmente al supuesto consumo de cocos y otros productos agrícolas que contienen cesio 137, todos cultivados en zonas de la franja donde los niveles de este radionucleido son más altos. La tasa de dosis efectiva resultante sería inferior a 0,25 mSv al año, lo que equivale a casi el 10% de la dosis de radiación de fondo anual que esa población residente recibiría inevitablemente sólo de fuentes naturales. Sin embargo, se considera muy poco probable que esta situación hipotética ocurra en la práctica, ya que el atolón de Fangataufa resulta prácticamente inhabitable para una población que adopte una forma de vida tradicional de semisubsistencia; el atolón en ocasiones se inunda de agua de mar y no tiene agua dulce ni cultivos comestibles, salvo algunos cocos.

## DOSIS ESTIMADAS EN EL FUTURO

En la estimación de las dosis en el futuro para las poblaciones se consideraron tres casos.

**Dosis en el futuro debidas a materiales radiactivos residuales presentes actualmente en el medio ambiente accesible.** Las dosis anuales estimadas de radiación para cualquier posible habitante de Mururoa y Fangataufa, debidas a la dispersión general de radionucleidos procedentes de ensayos nucleares en el medio ambiente son, en su conjunto, pequeñas en valores absolutos e insignificantes atendiendo a cualquier criterio o comparación existente. Las dosis de radiación debidas a materiales radiactivos que ya están presentes en el medio ambiente accesible —sobre todo las resultantes del cesio 137 y el plutonio 239 y 240— persistirán, pero han de disminuir en magnitud debido a la desintegración radiactiva y a otros procesos que reducen la existencia

de esos radionucleidos en el medio ambiente.

Conforme a las predicciones del Estudio, la tasa de lixiviación del cesio 137, el estroncio 90 y el plutonio 239 y 240, presentes en los sedimentos de las lagunas, a los cuales se deben los niveles actuales de estos radionucleidos en el agua de las lagunas, seguirán disminuyendo con el tiempo, del mismo modo que han de disminuir las dosis estimadas de radiación que se asocian a estos radionucleidos. Si los atolones llegaran realmente a poblarse, las dosis futuras hipotéticas estimadas que generarían las fuentes existentes en Mururoa, disminuirían inicialmente en más de 100 años del máximo actual de no más de 0,01 mSv al año hasta un 0,001 mSv al año, a medida que los materiales radiactivos residuales presentes en la superficie se desintegren y se dispersen. (Cabe señalar que estas dosis aumentarán en el futuro a largo plazo cuando el plutonio que migre del subsuelo llegue a las lagunas; sin embargo, éstas jamás sobrepasarán las dosis actuales.)

**Exposición potencial debida a radionucleidos en el suelo.** La evaluación de las probables liberaciones futuras provocadas por la migración de radionucleidos procedentes de fuentes subterráneas, muestra que las liberaciones de cesio 137 y estroncio 90 hacia la laguna decrecerán con el tiempo, pero que, tras una disminución inicial, la tasa de liberación del plutonio aumentará hasta alcanzar un nivel máximo después de transcurridos entre 5000 y 6000 años. Sin embargo, incluso cuando este nivel máximo se alcance, las dosis estimadas asociadas para los residentes hipotéticos de Mururoa serían inferiores a las que se estimó recibirían hoy los mismos residentes hipotéticos, es decir, menos de 0,01 mSv al año. De igual modo, se pronostica que las exposiciones futuras en otros lugares del Pacífico Sur, debidas a las liberaciones resultantes de la

radiactividad subterránea en Mururoa y Fangataufa, serán inferiores a los bajísimos valores registrados en el caso de los radionucleidos actualmente presentes en el medio ambiente accesible.

**Exposición potencial de los habitantes de la región como consecuencia de sucesos disruptivos postulados.** El Estudio examinó las consecuencias radiológicas de sucesos disruptivos postulados, como la glaciación y el deslizamiento de rocas carbonatadas, lo que da lugar a la liberación de radionucleidos hacia el océano. De ocurrir un deslizamiento de rocas, los residentes de los atolones cercanos recibirían las dosis anuales hipotéticas más altas, ya que los radionucleidos así liberados serían transportados por las corrientes oceánicas. Para los residentes del atolón de Tureia, la dosis del primer año debida a dicho deslizamiento de rocas no superaría unos pocos milésimos de milisievert, incluso aunque se hiciera la pesimista suposición de que todo el plutonio involucrado en el deslizamiento se disolviera. Esta dosis sólo ocurriría en los 12 meses siguientes al deslizamiento de rocas; las dosis sucesivas serían cada vez menores a medida que los materiales radiactivos se dispersen.

## CONCLUSIONES

En general, el Estudio analizó las dosis de radiación potenciales para grupos de población hipotéticos actuales y futuros en los atolones. El Estudio llegó a la conclusión de que, con excepción del caso hipotético de la corona Kilo-Empereur de Fangataufa, no existen probabilidades de que un grupo reciba, en momento alguno, una dosis atribuible a los materiales radiactivos residuales presentes en Mururoa y Fangataufa, que sea aproximadamente superior al 1% de la dosis de radiación de fondo que ese grupo ha de recibir inevitablemente de las fuentes de radiación natural. □