



LOS RESIDUOS RADIATIVOS DEL PERIODO DE LA GUERRA FRIA: UN LEGADO RADIOLOGICO

POR ABEL J. GONZALEZ

La producción y ensayos en gran escala de armas nucleares fueron una característica dominante del período histórico conocido como "la guerra fría". Estas actividades militares trajeron consigo la generación sin precedente de sustancias radiactivas. Una fracción de estos "residuos de la guerra fría" fue a dar a la atmósfera y se dispersó por todo el mundo. Algunos quedaron en un estado relativamente aislado en medios geológicos subterráneos en el lugar de producción o de ensayo. Otros contaminaron zonas que a veces son accesibles a los seres humanos.

Este cuadro se amplía con otras imágenes del legado de la guerra fría. Grandes cantidades de desechos y subproductos radiactivos procedentes de la producción de materiales para la fabricación de armas están almacenados. Se espera que, en algún momento, habrán de ser convertidos para utilizarlos en aplicaciones con fines pacíficos o enviarlos a su evacuación definitiva.

Además, las instalaciones de producción de materiales nucleares con fines militares, los polígonos de ensayos nucleares y los buques de guerra de propulsión nuclear serán todos clausurados en algún momento. En la Península de Kola solamente, más de cien submarinos nucleares fuera de servicio están en espera de su clausura definitiva. Ello aumentará la acumulación de residuos radiactivos.

Ahora parecería que la guerra fría ha pasado a ser otro capítulo en la

historia. El Tratado por el que se prohíben los ensayos con armas nucleares en la atmósfera, el espacio ultraterrestre y debajo del agua marcó el fin de los ensayos de armas nucleares en el medio ambiente abierto, y el Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares puede contribuir a que concluyan todos los ensayos de armas nucleares. Otros tratados restringirán, y se espera que procribirán, la producción de materiales para la fabricación de armas.

Todas estas son buenas noticias, pero los residuos radiactivos de la guerra fría siguen siendo una preocupación que nuestra generación debe abordar, lo cual exige respuestas eficaces.

Durante el pasado decenio, se pidió al OIEA que desempeñara un papel más amplio con el fin de ayudar a los países a enfrentar este legado de la guerra fría. Expertos convocados por el OIEA realizaron una serie de evaluaciones científicas de situaciones radiológicas creadas por la guerra fría, en polígonos de ensayos nucleares, instalaciones de producción y lugares de vertimiento de desechos.

En la presente edición del Boletín del OIEA, se hace hincapié en estas actividades de cooperación, teniendo en cuenta los acontecimientos y preocupaciones internacionales.

Foto: En el atolón de Mururoa, comprobación para detectar la contaminación radiactiva en cocos durante el estudio realizado por el OIEA.

EVALUACION DE LOS RESIDUOS DE LA GUERRA FRIA

Dentro del sistema de las Naciones Unidas, el OIEA tiene una singular responsabilidad: es la única organización expresamente autorizada por sus Estatutos para establecer normas internacionales relativas a la protección de la salud (frente a las radiaciones ionizantes) y disponer lo necesario para su aplicación a solicitud de los Estados.

Hace algunos años, el OIEA -junto con otras cinco organizaciones internacionales- estableció nuevas normas internacionales de seguridad radiológica. (Véase el Boletín del OIEA, Vol. 40, Nº 2, junio de 1998.) Estas normas internacionales están destinadas principalmente al control de la exposición a las radiaciones derivada de las actividades con fines pacíficos. Sin embargo, es importante señalar que sus principios fundamentales pueden aplicarse para la evaluación retrospectiva de situaciones radiológicas creadas por las actividades militares no reglamentadas, como por ejemplo, los ensayos de armas nucleares.

En años recientes, varios Estados han pedido al OIEA que evalúe las situaciones radiológicas debidas a las actividades realizadas en la

El Sr. González es Director de la División de Seguridad Radiológica y de los Desechos, del OIEA.

etapa de la guerra fría, tomando como base sus normas internacionales de seguridad radiológica. El objetivo ha sido proteger la salud pública y, a la larga, restaurar el medio ambiente afectado para que los seres humanos puedan hacer uso del mismo. Los estudios llevados a cabo en atención a esas solicitudes constituyen la respuesta del Organismo ante el legado radiológico de la guerra fría.

(Véanse el recuadro y el gráfico de las páginas 4 y 5.) Las evaluaciones fueron solicitadas por Kazajstán, para el polígono de Semipalatinsk; por las Islas Marshall, para Bikini; y, en fecha más reciente, por Francia, para Mururoa y Fangataufa, en la Polinesia Francesa. En esos polígonos, durante la guerra fría, se realizaron “experimentos nucleares” que incluyeron ensayos de armas nucleares con dispositivos de fisión y de fusión y pruebas de seguridad con armas nucleares, realizadas en la atmósfera (abierta) y bajo tierra. (Véanse los recuadros de las páginas 6, 8 y 9.) Uno de los polígonos de ensayo estudiados fue un gran polígono continental; los otros tres fueron atolones. (Véase el recuadro de la página 7.) Otro de los lugares estudiados fue el Mar de Kara, en el Ártico, donde se vertieron grandes cantidades de residuos radiactivos.

MAGNITUD DEL PROBLEMA

Por muy amplios que estos estudios del OIEA parezcan, sólo son un catálogo incompleto y reducido del legado radiológico de la guerra fría.

Desde el bombardeo atómico de Hiroshima y Nagasaki, en el Japón, hasta los recientes ensayos llevados a cabo por la India y el Pakistán, en todo el mundo han tenido lugar más de 2400 experimentos con armas nucleares. Además, se han producido grandes cantidades de materiales nucleares para fines militares. Todas estas actividades han

generado enormes cantidades de residuos radiactivos, cuyos niveles y efectos han sido estudiados por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) y notificados periódicamente a la Asamblea General de las Naciones Unidas.

ENSAYOS DE ARMAS NUCLEARES

Según el UNSCEAR —además de los polígonos estudiados por el OIEA— hay varias otras zonas donde se realizaron experimentos en que se incluyeron ensayos de armas, y donde pueden quedar residuos radiactivos.

Estas zonas incluyen polígonos ubicados en Argelia (Reggane e In-Ekker); Australia (Monte Bello, Emu y Maralinga); China (Lop Nor); Islas Marshall (atolón de Enewetak); la Federación de Rusia (Nueva Zemlya, Totsk y Kapustin Yar); Estados Unidos de América (Nevada y Amchitka, Alaska); diversos lugares en los Océanos Pacífico y Atlántico, incluidas las Islas Malden, Johnston y Navidad, así como los polígonos de la India y Pakistán, donde hace poco se realizaron ensayos.

En el polígono de ensayos de Nevada se hicieron 84 ensayos nucleares atmosféricos: 81 durante 1951-1958 y otros tres en 1962. Entre 1951 y 1992, se efectuaron más de 900 ensayos subterráneos, de los cuales se notificó que treinta y dos produjeron residuos debido al venteo. El ensayo subterráneo más grande realizado en los Estados Unidos fue en 1971, en Amchitka, Alaska.

En Nueva Zemlya, zona ártica grande y apartada, se ejecutó un amplio programa de ensayos atmosféricos. Se hicieron varios ensayos a gran altura, al menos un ensayo sobre la superficie terrestre, dos en el agua de superficie, tres ensayos submarinos y varios subterráneos.

Los ensayos en el Pacífico, en las Islas Malden y Navidad, ocurridos en 1957 y 1958, fueron explosiones en el aire sobre el océano o explosiones de dispositivos suspendidos de globos sobre la tierra. Durante 1952-1957, también se realizaron doce ensayos, principalmente ensayos sobre la superficie, en tres lugares de Australia: islas de Monte Bello, Emu y Maralinga. En estos dos últimos polígonos se efectuó una serie de pruebas de seguridad que produjo la dispersión de plutonio sobre extensas regiones.

En Argelia, los ensayos nucleares incluyeron ensayos de baja potencia en los polígonos de Reggane e In-Ekker, en el Sáhara argelino, durante 1960-1961.

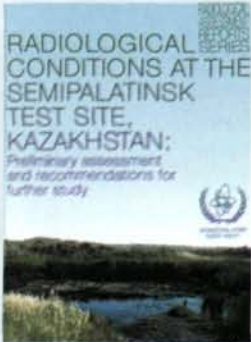
Entre 1964 y 1980, se realizaron 22 ensayos atmosféricos en el polígono de Lop Nor, en China occidental, y hasta 1996 se continuaron efectuando ensayos subterráneos. También en la región de Asia, en la India, se hizo un ensayo con un dispositivo nuclear, en 1974, y en mayo de 1998 se llevaron a cabo ensayos tanto en la India como en el Pakistán.

En resumen, se han notificado 2408 experimentos nucleares al UNSCEAR, de los cuales 541 fueron ensayos atmosféricos y 1867 subterráneos. La potencia total* de todos los ensayos fue de 530 megatonnes. De este total, 440 megatonnes correspondieron a ensayos atmosféricos y 90 megatonnes, a ensayos subterráneos. La potencia es la cantidad de energía generada por una explosión nuclear. El conocimiento de la potencia y otras características de los ensayos permite a los científicos establecer

*La potencia suele expresarse en kilotonnes o megatonnes, y un kilotón equivale a 1000 toneladas de trinitrotolueno (TNT) y un megatón, a un millón de toneladas de TNT. Precisamente, para evitar ambigüedades, se ha acordado que un kilotón equivale exactamente a la liberación de 10^{12} calorías de energía explosiva.

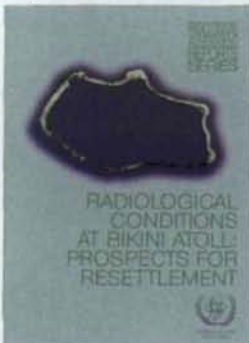
EVALUACION DEL LEGADO DE LA GUERRA FRIA: RESPUESTA DEL OIEA

En los últimos diez años, los países se han dirigido al OIEA en busca de asistencia para evaluar los efectos radiológicos de ensayos nucleares y prácticas de vertimiento anteriores. Las evaluaciones realizadas son:



Semipalatinsk, Kazajstán. En 1993, el Gobierno de Kazajstán informó al OIEA de su preocupación por la situación radiológica de Semipalatinsk, lugar donde se realizaron ensayos de armas nucleares desde 1949 hasta 1989. Solicitó asistencia, y posteriormente, se realizó una evaluación radiológica preliminar de Semipalatinsk. (Véase el artículo de la página 12.) En el polígono se llevaron a cabo más de 450 ensayos atmosféricos y subterráneos. Aunque el estudio preliminar del OIEA pudo ofrecer garantías de seguridad razonables a la población que reside en la región con carácter permanente, detectó residuos con altísimos niveles de radiactividad en grandes zonas del propio polígono: si el lugar se poblara de manera permanente, se recibirían dosis de radiación de hasta 140 mSv anuales. Estos resultados no tienen en cuenta las posibles consecuencias radiológicas de los ensayos subterráneos en Semipalatinsk, las cuales no se evaluaron en el estudio del OIEA.

Atolón de Bikini, Islas Marshall. En 1994, el Gobierno de la República de las Islas Marshall —archipiélago del Océano



Pacífico compuesto por unos treinta atolones y unas cuantas islas de arrecifes— pidió asistencia al OIEA. Se solicitó que el Organismo realizara un examen internacional independiente de las condiciones radiológicas existentes en el atolón de Bikini y que considerara y recomendara estrategias para el posible reasentamiento del atolón por la población de Bikini. En este lugar se ejecutó un amplio

programa de ensayos. Antes del inicio de los ensayos, los pobladores de Bikini habían sido evacuados lejos de su lugar de residencia en el atolón —la isla de Bikini— y ahora estaban ansiosos por regresar a su tierra natal.

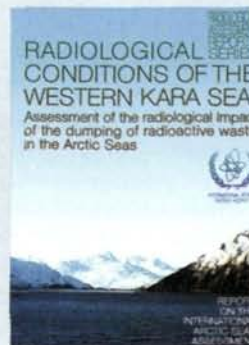
En el Estudio del OIEA, publicado recientemente, se concluyó que en las condiciones radiológicas actuales no debería procederse al reasentamiento de la isla de Bikini con carácter permanente porque las dosis de radiación individuales pueden llegar en ese lugar a niveles tan altos como los 15 mSv anuales, y la adopción de una serie de medidas correctoras relativamente sencillas, como la fertilización del suelo, puede reducir fácilmente las dosis. Si estas medidas se aplicaran, se concluyó en el Estudio, la isla de Bikini podría ser repoblada sin riesgos. (Véase el artículo de la página 15.)



Mururoa y Fangataufa, Polinesia Francesa. En agosto de 1995, Francia se convirtió en el primer Estado poseedor de armas nucleares que pidió al OIEA que evaluara un polígono de ensayos nucleares, a saber, las condiciones radiológicas existentes en los atolones de Mururoa y Fangataufa en la Polinesia Francesa. Francia había realizado 193 experimentos nucleares en esos atolones. Tras la solicitud de Francia, el OIEA organizó el Estudio de la situación radiológica en los atolones de Mururoa y Fangataufa —que habría de convertirse en una de las evaluaciones radiológicas más amplias realizadas dentro del sistema de las Naciones Unidas. (Véanse los artículos de las páginas 21, 24, 30, 34 y 38.) El Estudio se concluyó en fecha reciente y el OIEA lo publicó en ocho volúmenes. (Véase el recuadro de la página 23.)

Los resultados del Estudio han sido alentadores: los atolones, que nunca han sido habitados con carácter permanente, podrían ser poblados sin riesgos en el futuro, porque las dosis de radiación más altas no llegarán a la despreciable cantidad de 0,25 mSv al año en las condiciones hipotéticas de habitación más extremas.

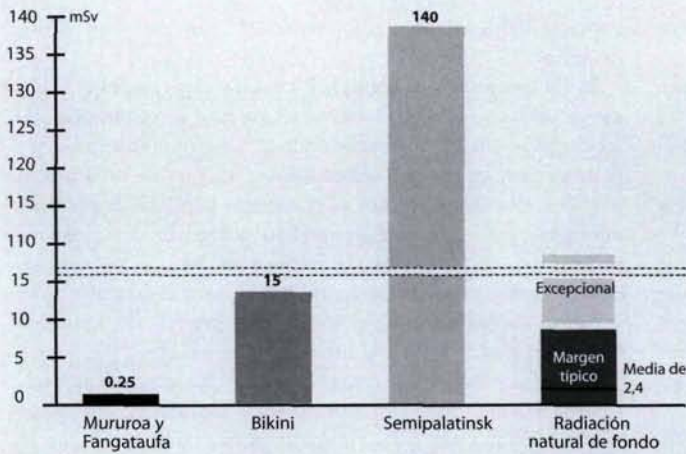
Mares Árticos, Federación de Rusia. En 1993, la Oficina del



Presidente de la Federación de Rusia notificó que la ex Unión Soviética había vertido desechos radiactivos en el Mar de Kara. La cantidad de material radiactivo, que después se calculó que se había vertido, fue enorme: unos 37 petabequerelios. El anuncio hecho por Rusia suscitó gran preocupación, para no hablar de la que despertó entre las Partes Contratantes en el Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y

otras materias, con las cuales el OIEA tiene obligaciones técnicas específicas. Por consiguiente, se inició un proyecto de evaluación internacional que fue concluido recientemente. (Véase el artículo de la página 18.) Aunque la cantidad de material radiactivo vertido es grande, los resultados del proyecto no fueron inquietantes para la salud pública y la seguridad, debido, principalmente, a la enorme capacidad de dispersión de las aguas oceánicas y a la lejanía del Mar de Kara. En el estudio se determinó que las dosis potenciales de radiación para los seres humanos serían insignificantes. Se puede esperar que sólo el personal militar que patrulla los fiordos cercanos a los lugares de vertimiento recibirá dosis por encima de los niveles de la radiación natural de fondo.

DOSIS MÁXIMAS ANUALES DE RADIACIÓN PROCEDENTES DE LOS RESIDUOS DE LA ERA DE LA GUERRA FRÍA



Los gráficos muestran las dosis anuales máximas de radiación que recibirían individuos hipotéticos que habitan en los lugares estudiados por el OIEA. Cabe señalar que comparaciones no calificadas de los resultados de estos estudios pueden conducir a error debido a las diferentes características de los ensayos y de los polígonos en que tuvieron lugar y a las variaciones de las hipótesis utilizadas.

También se indican, a modo de referencia, las dosis anuales de la radiación natural de fondo. Las dosis se expresan en milisievert como se explica infra.

La **dosis de radiación** es la energía absorbida de la radiación por unidad de masa de materia que, a los fines de la protección radiológica, se pondera con dos factores. Un factor tiene en cuenta la eficacia de un tipo dado de radiaciones para inducir efectos en la salud. El otro factor tiene en cuenta las diversas sensibilidades de los diferentes órganos del cuerpo a las radiaciones. La **unidad de dosis** es el julio por kilogramo, pero el término sievert (Sv) se utiliza para la unidad de la dosis ponderada. Este gráfico utiliza el milisievert (mSv), que es igual a una milésima de sievert. La dosis media mundial para los individuos debida a la radiación natural de fondo es de 2,4 mSv anuales.

la actividad* y la composición isotópica de los residuos radiactivos generados por el ensayo.

Los 440 megatones explotados en la atmósfera han liberado al medio ambiente la impresionante cantidad de miles de exabequerelios de radiactividad. (Véase el cuadro de la página 6.) Esta radiactividad se ha dispersado y depositado en forma de precipitación radiactiva, una parte localmente y otra, a nivel mundial. (Véase el recuadro de la página 9.)

Los residuos radiactivos producidos por los 90 megatones explotados debajo de la Tierra están básicamente contenidos en el medio geológico, pero, con el paso de los siglos, pueden atravesar la geosfera y, a la larga, llegar al medio ambiente. (Véase el recuadro de la página 8.)

El legado radiológico de los ensayos nucleares forma un

cuadro multidimensional. Por una parte, el legado se debe principalmente a los materiales radiactivos residuales procedentes de las pruebas de seguridad relacionadas con las armas nucleares, y a la precipitación radiactiva local ocasionada por los ensayos atmosféricos. Además, el legado comprende la posible migración de residuos radiactivos y el venteo asociado a los ensayos subterráneos realizados.

PRODUCCION DE MATERIALES PARA LA FABRICACION DE ARMAS

La producción de armas nucleares implica disponer de cantidades de uranio o plutonio enriquecidos para los dispositivos de fisión, y de tritio y deuterio para los dispositivos de fusión. El ciclo del combustible para fines militares es similar al de los programas de generación de

energía eléctrica con fines pacíficos: la extracción y el tratamiento del uranio, el enriquecimiento del uranio, la fabricación del combustible, la explotación de los reactores para la producción del material y la reelaboración del combustible, principalmente para la separación del plutonio. Sin embargo, una diferencia fundamental es que los programas nucleares con fines pacíficos casi siempre han estado bajo la supervisión y examen de órganos reguladores independientes, mientras los programas del sector militar generalmente no lo están.

En las diversas etapas del ciclo de producción de materiales para la fabricación de armas nucleares se han liberado radionucleidos, pero en particular durante la reelaboración del combustible y la separación del plutonio.

En los Estados Unidos de América, las plantas para la producción de materiales para la fabricación de armas nucleares son Fernald, en Ohio (procesamiento de materiales), Oak Ridge, en Tennessee (enriquecimiento, separación, laboratorios), Rocky Flats, en Colorado (fabricación de

*La actividad (o radiactividad) de una sustancia radiactiva expresa la tasa de transformación nuclear de los radionucleidos emisores de radiación. Es el número de transformaciones que ocurren dentro de ese material por unidad de tiempo. La unidad de actividad es el segundo recíproco, denominado bequerelio (Bq). Como un Bq expresa una actividad muy pequeña, se utilizan los múltiplos siguientes: 1000 Bq o kilobequerelio (kBq); un millón Bq o megabequerelio (MBq); 1×10^9 Bq o gigabequerelio (GBq); 1×10^{12} Bq o terabequerelio (TBq); 1×10^{15} Bq o petabequerelio (PBq); 1×10^{18} Bq o exabequerelio (EBq). Para entender la magnitud del bequerelio, cabe señalar que el Codex Alimentarius recomienda que la radiactividad en los alimentos no debe exceder de unos 1000 bequerelios de cesio, o un bequerelio de plutonio, por kilogramo de alimento.

LOS "EXPERIMENTOS NUCLEARES"

Los experimentos nucleares fueron de dos tipos: *los ensayos nucleares y las pruebas de seguridad*.

■ En un ensayo nuclear, se hace explotar un dispositivo nuclear y se producen grandes liberaciones de energía. La explosión es causada por la fisión nuclear, la fusión nuclear o por una combinación de ambas.

— En un dispositivo de fisión, se unen dos masas subcríticas de material fisionable, como el uranio 235 y el plutonio 239 a fin de producir una masa supercrítica. Los núcleos pesados se dividen en dos partes (los productos de fisión), los cuales posteriormente emiten neutrones, y liberan energía equivalente a la diferencia entre la masa en reposo del núcleo inicial y la masa en reposo de los productos de fisión y los neutrones.

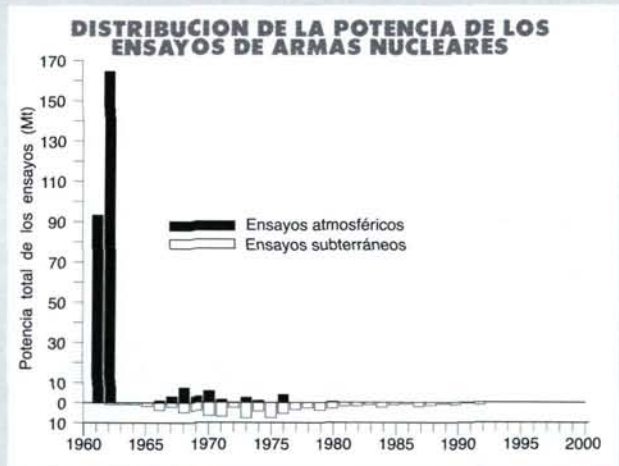
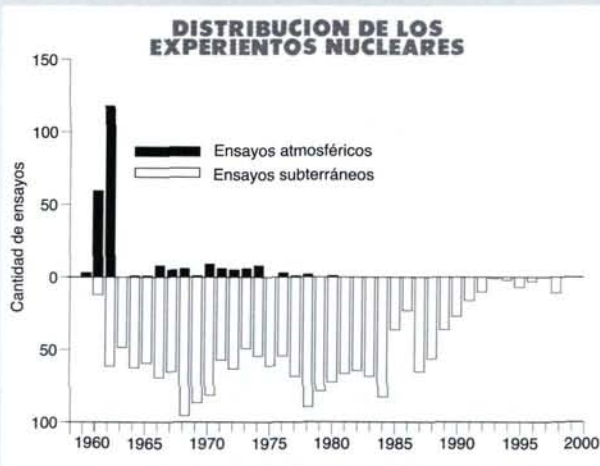
— En un dispositivo de fusión, los núcleos atómicos de bajo número atómico se fusionan para formar núcleos más pesados con la liberación de grandes cantidades de energía. La reacción se vuelve autosostenida a temperaturas muy altas, que se logran con la ayuda de un dispositivo de fisión interior rodeado de

material hidrogenado ligero, como el deuterio y el litio-deuterio.

■ En una prueba de seguridad, los dispositivos nucleares más o menos plenamente desarrollados se someten a condiciones de accidentes simuladas, durante las cuales el núcleo del arma nuclear se destruye por explosivos convencionales sin que se produzca la liberación de energía de fisión o, en algunos casos, con liberaciones muy pequeñas. Mientras los residuos radiactivos de un ensayo nuclear son los productos de fisión y de fusión, los residuos radiactivos de una prueba de seguridad es el material fisionable en sí.

Tanto los ensayos nucleares como las pruebas de seguridad fueron llevados a cabo en la atmósfera y bajo tierra.

El cuadro y los gráficos muestran datos sobre ensayos nucleares realizados desde 1960. El cuadro abarca la actividad de diecinueve radionucleidos producidos, liberados a la atmósfera, y que se dispersaron por el mundo en ensayos nucleares atmosféricos. Los datos indican la liberación normalizada de dispositivos de fisión y fusión, y la actividad total liberada en los ensayos realizados en todo el mundo.



ACTIVIDAD DE RADIONUCLEIDOS PRODUCIDOS EN LAS EXPLOSIONES NUCLEARES ATMOSFERICAS

Radionucleido/ periodo de semidesintegración	Liberación normalizada (Pbq/megatón)	Actividad estimada (excluida la precipitación radiactiva local)		Radionucleido/ periodo de semidesintegración	Liberación normalizada (Pbq/megatón)	Actividad estimada (excluida la precipitación radiactiva local)		
		Actividad total debida a los ensayos mundiales (EBq)				Actividad total debida a los ensayos mundiales (EBq)		
		Fisión	Fusión			Fisión	Fusión	
Tritio	12,32 años	0,026	740	Antimonio 125	2,73 años	3,38	-	0,524
Carbono 14	5730 años	-	0,67	Yodo 131	8,02 días	4200	-	651
Manganeso 54	312,5 días	-	15,9	Cesio 137	30,14 años	5,89	-	0,912
Hierro 55	2,74 años	-	6,1	Bario 140	12,75 días	4730	-	732
Estroncio 89	50,55 días	590	-	Cerio 141	32,50 días	1640	-	254
Estroncio 90	28,6 años	3,90	-	Cerio 144	284,90 días	191	-	29,6
Itrio 91	58,51 días	748	-	Plutonio 239	24,100 años	-	-	0,00652
Circonio 95	64,03 días	922	-	Plutonio 240	6560 años	-	-	0,00435
Rutenio 103	39,25 días	1540	-	Plutonio 241	14,40 años	-	-	0,142
Rutenio 106	371,6 días	76,4	-					

Notas: Por simplificar, se ha supuesto que todo el carbono 14 se debe a la fusión. **Fuente:** UNSCEAR

Hace 11 millones de años
Erupciones volcánicas crearon nuevas islas debajo del océano.



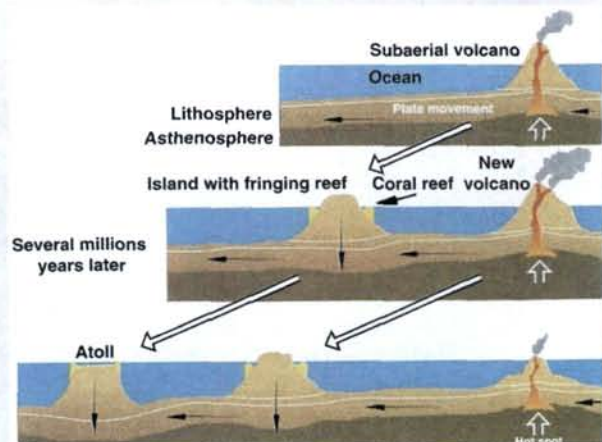
Hace 10 millones de años
Cesó la actividad volcánica y apareció la vegetación.



Hace 5 millones de años
Como la isla se hundía lentamente, crecían arrecifes coralinos en sus flancos.



Hoy día
La isla se ha convertido en un atolón, estrecha corona de arrecifes coralinos que bordean una laguna.



EXPERIMENTOS NUCLEARES EN LOS ATOLONES

Muchos experimentos nucleares evaluados por el OIEA se llevaron a cabo en *atolones*, arrecifes coralinos en forma de anillo que encierran en su centro una laguna. El arrecife es una estrecha corona que se eleva unos cuantos metros sobre el océano. En muchos lugares, las aguas oceánicas separaron el arrecife con canales irregulares, llamados "hoas", lo que dio lugar al surgimiento de una serie de islotes llamados "motus". Los atolones surgieron debido a la evolución de volcanes que millones de años atrás hicieron irrupción bajo el mar y crearon islas que, con el tiempo, se fueron hundiendo lentamente. Las coronas se formaron por los depósitos de corales muertos, acumulados alrededor de la isla a medida que ésta se hundía en el mar. A pesar de su origen volcánico, un atolón no encierra el riesgo de erupción volcánica. Ello es así porque la isla original, mientras se hundía, se alejaba del "punto caliente" que originó el volcán a causa de la deriva de las placas geotectónicas de la Tierra.

partes de armas), Hanford, en Washington (producción de plutonio), y Savannah River, en Carolina del Sur (producción de plutonio). En la Federación de Rusia, las instalaciones son Chelyabinsk, Krasnoyarsk y Tomsk. En el Reino Unido, los lugares son Springfield (tratamiento del uranio y fabricación de combustible), Capenhurst (enriquecimiento), Sellafield (reactores de producción y reelaboración), Aldermaston (fabricación de armas) y Harwell (investigaciones). Los reactores de producción de plutonio fueron explotados en Sellafield (dos reactores moderados por grafito y enfriados por gas, conocidos como

los reactores de Windscale), y después, en Calder Hall, en el polígono de Sellafield y Chapelcross, en Escocia. Un incendio bien conocido, ocurrido en uno de los reactores de Windscale, en 1957, provocó la liberación de radionucleidos. En Francia, el primer reactor experimental, llamado EL1 o Zoé, entró en fase crítica en 1948, y una planta de reelaboración piloto entró en operaciones en 1954. Un segundo reactor experimental, EL2, fue construido en el centro Saclay. Entre 1956 y 1959, tres reactores de producción más grandes entraron en operación en el complejo Marcoule, a orillas del Ródano. Estos reactores,

moderados con grafito y refrigerados por gas, funcionaron hasta 1968, 1980 y 1984, respectivamente. También se construyó una planta de reelaboración a escala natural que se explota en el polígono de Marcoule desde 1958. Otras dos plantas de reelaboración fueron construidas en La Hague, en el norte de Francia.

En China, el primer reactor experimental se construyó en Beijing, y una planta de enriquecimiento de uranio, en Lanzhou, en la provincia de Gansu. El reactor de producción comenzó a funcionar en 1967, y la planta de reelaboración en 1968. La producción de plutonio

ENSAYOS SUBTERRANEOS DE ARMAS NUCLEARES

En 1951, comenzaron los ensayos de armas nucleares subterráneos. Después de 1963, cuando en virtud del tratado limitado de proscripción de ensayos nucleares no se permitió realizar ensayos atmosféricos, se ejecutaron amplios programas de ensayos subterráneos. El Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares, aunque no ha sido todavía ratificado por todos los países, puede poner fin, de manera eficaz, a la práctica de ensayos subterráneos de armas.

La cantidad total de ensayos subterráneos ha superado con mucho la de los ensayos atmosféricos, aunque la potencia total de estos ensayos ha sido mucho menor. La mayoría de los ensayos subterráneos fueron de menor potencia, particularmente cuando se procuraba contener los escombros nucleares. A corto plazo, la contaminación del medio ambiente sólo podría ocurrir con el venteo o difusión de gases después de esos ensayos, como ha ocurrido en otras ocasiones.

En varios ensayos se realizó la detonación simultánea de cargas nucleares, en los mismos huecos o túneles, o en huecos o túneles separados. Estos llamados ensayos "de salva" se efectuaron por razones de eficacia o de economía. También impidieron la detección por mediciones sísmicas distantes.

Según el registro del UNSCEAR, la cantidad total de ensayos subterráneos, realizados por todos los países, es de 1867. No se dispone de forma completa

de todas las potencias de cada ensayo, pero se estima que la potencia total es de 90 megatones. Sería conveniente tener datos más completos de los ensayos en los que se ha producido venteo y estimaciones de la cantidad de material radiactivo que se ha dispersado en el medio ambiente en relación con estos ensayos.

Los ensayos subterráneos se realizaban en general en basamentos adecuados desde el punto de vista geológico a varios cientos de metros bajo tierra, aunque algunos se hicieron en lugares inadecuados.

Cada explosión genera calor intenso y alta presión:

En **décimas de microsegundos**, se completan las reacciones nucleares. La energía de las radiaciones convierte la roca en vapor, lo que hace que la alta presión se acumule y se genere una intensa onda de choque.

En **cientos de microsegundos**, la onda de choque transforma la roca circundante

en vapor y funde el suelo circundante y otros materiales.

En **décimas de milisegundos**, la cavidad se estabiliza y la lava fundida se acumula en el fondo, en una piscina en forma de lente — denominada "meniscus" en la que quedan atrapados la mayoría de los radionucleidos refractarios.

En **minutos y horas**, la roca fundida se solidifica y el techo de la cavidad se hunde, y se forma una cavidad más o menos cilíndrica. Cuando se enfría, el suelo fundido se solidifica en forma de lava vidriosa. A la larga, la cavidad cubierta de escombros se llena, a su vez, con el agua que se infiltra desde el suelo circundante.

Gran parte del material radiactivo residual asociado a los ensayos nucleares subterráneos queda atrapado en la lava. Sin embargo, algunos radionucleidos se depositan en los escombros y quedan disponibles para el intercambio con el agua en la cavidad.

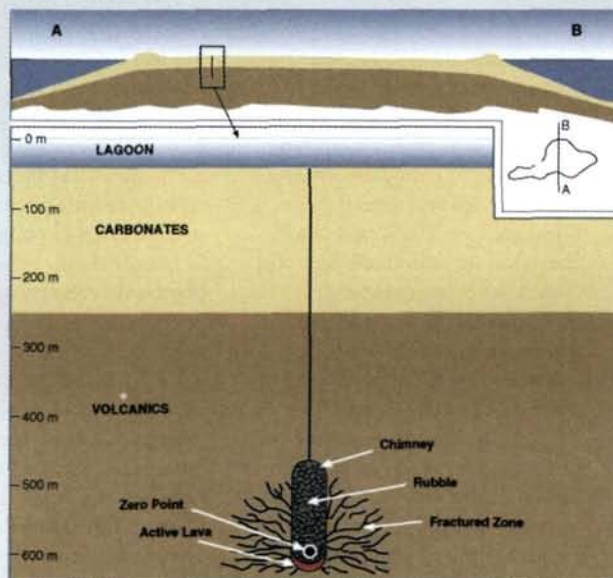
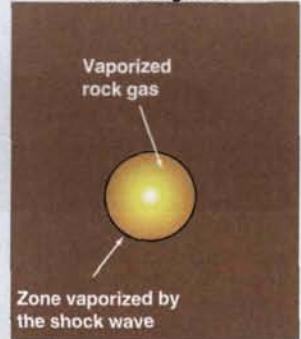
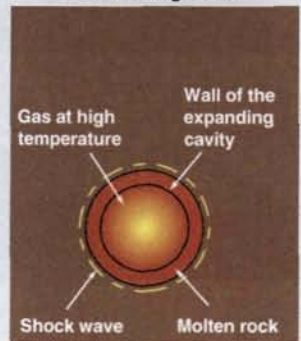


Figura: Ensayo subterráneo en un atolón.

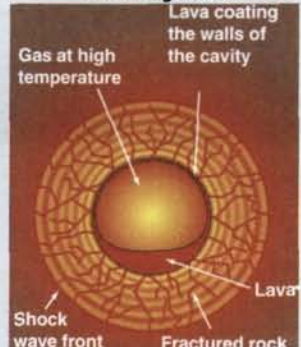
Después de transcurridas **décimas de microsegundos**



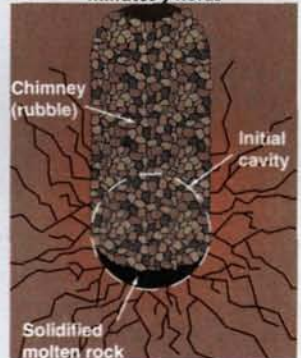
Después de transcurridos **cientos de microsegundos**



Después de transcurridas **décimas de milisegundos**



Después de transcurridos **minutos y horas**



ENSAYOS DE ARMAS NUCLEARES ATMOSFERICOS

Los ensayos nucleares atmosféricos se realizaron en diversos lugares en y sobre la superficie terrestre: en torres, encima de barcas en la superficie oceánica, desde globos suspendidos, mediante lanzamientos desde aeronaves y desde cohetes a gran altura.

El número de ensayos atmosféricos alcanzó su punto máximo durante 1951-1958 y 1961-1962. Hubo una moratoria en 1959, que fue, en general, observada en 1960. Los años más importantes de los ensayos desde el punto de vista de la potencia explosiva total fueron 1962, 1961, 1958 y 1954.

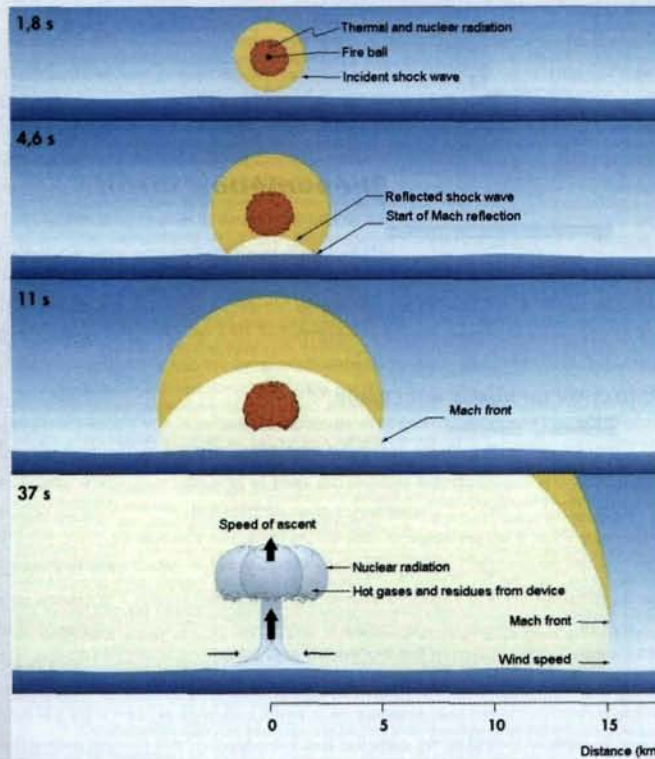
La cantidad total de ensayos atmosféricos realizados por todos los países fue de 541, y la potencia total fue de 440 megatonnes. Veinticinco ensayos de este tipo representan casi el 66% de la potencia explosiva total de todos los ensayos.

Según la altura de la explosión, los residuos radiactivos entraron en el medio ambiente local, regional o mundial. Hasta el momento, estos residuos han ocasionado las dosis de radiación colectiva más altas para los seres humanos, procedentes de fuentes de radiación artificiales.

Residuos radiactivos. Los residuos radiactivos procedentes de un ensayo nuclear atmosférico se distribuyen entre superficies terrestres o de agua locales y las regiones troposférica y estratosférica de la atmósfera. La deposición depende del tipo de ensayo, del lugar y de la potencia.

La parte de los residuos radiactivos que se depositan localmente en el polígono se denomina precipitación radiactiva local. El resto se dispersa ampliamente por la atmósfera en forma de precipitación radiactiva troposférica y estratosférica.

La precipitación radiactiva local proveniente de los ensayos sobre la superficie puede abarcar hasta el 50% de la producción de los residuos radiactivos e incluye aerosoles radiactivos de grandes dimensiones. Estas partículas se



depositan dentro de un radio de unos 100 kilómetros alrededor del polígono de ensayo. Por lo general, cuando la altitud de la detonación es suficientemente elevada, la bola de fuego que crea la explosión no llega hasta el nivel del suelo. Ello reduce al mínimo la producción de precipitación radiactiva local. (Véase la figura.)

La precipitación radiactiva troposférica consiste en aerosoles más

pequeños que no son transportados a través de la tropopausa después de la explosión y que se depositan con un tiempo de permanencia medio de hasta un mes. Durante este tiempo, los escombros se dispersan, aunque no bien mezclados, en la banda de latitud de inyección con trayectorias regidas por los patrones de los vientos. Desde el punto de vista de la exposición del ser humano, la precipitación troposférica es importante en el caso de los radionucleidos con un período de semidesintegración de unos cuantos días hasta dos meses.

La precipitación radiactiva estratosférica, que comprende una gran parte de la precipitación radiactiva total, se debe a partículas que son transportadas a la estratosfera. Más tarde, estas partículas originan la precipitación radiactiva global, que se produce en su mayor parte en el hemisferio de inyección. La precipitación radiactiva estratosférica representa la mayor parte de los residuos mundiales de productos de fisión de período largo.

En los últimos años, se dispone de nueva información acerca de los ensayos nucleares atmosféricos. En particular, la cantidad y la potencia de las explosiones han sido ajustadas, y se han hecho estimaciones de los residuos radiactivos provenientes de la precipitación radiactiva local, que se han depositado.

y la reelaboración se realizaban en el complejo de Jinquan, también en la provincia de Gansu, donde se ensamblaban las armas. La producción y reelaboración también tenían lugar en Guangyuan, en la provincia de Sichun, donde se construyeron instalaciones más grandes.

En algunos de los emplazamientos de materiales aptos para la fabricación de armas nucleares del mundo, se han incorporado actividades relacionadas con programas de energía nucleoelectrónica con fines pacíficos. En algunos de ellos, está teniendo lugar el desmantelamiento de armas.

Durante los primeros años de explotación de algunas de estas instalaciones ocurrieron liberaciones relativamente grandes de residuos radiactivos hacia el medio ambiente, en un momento que se ejercía mucha presión para que se cumplieran los planes de producción y los controles a veces aflojaban. Además, se han combinado una serie de accidentes que han aumentado las liberaciones, en particular, en instalaciones de la antigua URSS. *(Véase el recuadro de la página siguiente.)*

No se conoce completamente la cantidad de residuos radiactivos procedentes de la producción de materiales para armas nucleares. El UNSCEAR sigue reuniendo y publicando información que proporcionan los Estados.

PERSPECTIVAS

Recientes acontecimientos motivan optimismo acerca de la generación y manejo de los residuos de la guerra fría:

■ El 22 de septiembre de 1995, en la Conferencia General del OIEA se abordó la cuestión de las consecuencias radiológicas de los ensayos de armas nucleares. En una histórica resolución, se exhortó a todos los Estados interesados a que "cumplan con sus responsabilidades de velar por que los emplazamientos en los que se hayan realizado ensayos

nucleares sean objeto de un escrupuloso control y que adopten las medidas apropiadas para evitar repercusiones adversas sobre la salud, la seguridad y el medio ambiente, como consecuencia de dichos ensayos nucleares".

■ En septiembre de 1998, la Conferencia General del OIEA — mientras recordaba su resolución de 1995 y acogía con satisfacción las alentadoras conclusiones del Estudio de Mururoa y Fangataufa— subrayó el hecho de que esas conclusiones no deberán utilizarse para justificar el desarrollo y ensayo de armas nucleares, y pidió al Director General del OIEA que le informe de las novedades pertinentes en esta esfera.

■ La Conferencia General del OIEA de 1998 instó además a todos los Estados a que se adhieran como partes en el Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares. También exhortó a todos los Estados, especialmente a los que poseen capacidad para producir materiales fisionables, a que presten apoyo a las negociaciones sobre un tratado de prohibición de la producción de materiales fisionables para la fabricación de armas nucleares u otros dispositivos explosivos nucleares. La Conferencia de Desarme había acordado, finalmente, comenzar las negociaciones del mencionado tratado.

■ Los representantes de los Estados Unidos y Rusia, en la Conferencia General del OIEA de 1998, convinieron en crear empresas comerciales en diez ciudades nucleares rusas. Conforme a este acuerdo, los Estados Unidos aportarán su experiencia en materia de empresas privadas a las diez ciudades rusas y emparejarán compañías del sector privado estadounidense con instalaciones rusas adecuadas para la fabricación, comercialización y venta de bienes comerciales. Un enfoque similar se probó en

ciudades nucleares de los Estados Unidos como Hanford y Oak Ridge.

■ Un reciente acuerdo concertado entre Noruega y Rusia establece la cooperación en diversas esferas. El acuerdo abarca la desactivación del combustible nuclear gastado de submarinos propulsados por energía nuclear; la puesta en servicio de una instalación de almacenamiento temporal, en Andreeva Bay, en Murmansk, Península de Kola; la puesta en servicio de instalaciones de almacenamiento temporal de residuos radiactivos, en Chelyabinsk, y en un astillero en Severodvinsk, Arkhangel'sk; y el desmantelamiento de una estructura flotante en Murmansk en la que actualmente se almacenan más de 600 peligrosos elementos de combustible gastado dañados, procedentes de barcos propulsados por energía nuclear.

El OIEA continúa trabajando, en este marco mundial en constante evolución, para ayudar a los países a hacer frente al legado radiológico de la guerra fría. Es alentador que las organizaciones no gubernamentales interesadas en la protección ambiental apoyen estos esfuerzos del OIEA.*

En la Conferencia de 1998 sobre el Estudio de la situación radiológica en los atolones de Mururoa y Fangataufa, el Director General del OIEA, Dr. Mohamed ElBaradei, resumió la función del Organismo de la manera siguiente: si bien la responsabilidad por la seguridad recae principalmente en los gobiernos de los países, el OIEA desempeña un papel fundamental por intermedio de tres actividades complementarias: la formulación

**En la Conferencia del OIEA sobre el Estudio de Mururoa, celebrada en 1998, el representante de Greenpeace International declaró que "el estudio podía servir de modelo para realizar estudios similares en antiguos polígonos de ensayos nucleares".*

PRODUCCION DE MATERIALES NUCLEARES EN LA ANTIGUA URSS

En la antigua URSS, los principales centros de producción de materiales aptos para la fabricación de armas nucleares eran tres:

■ El complejo para la producción de materiales nucleares **Mayak** está ubicado en la región de Chelyabinsk entre los poblados de Kyshtym y Kasli, cerca de la orilla oriental del lago Irtyash. La explotación de los reactores de uranio-grafito para la producción de plutonio y de una planta de reprocesamiento comenzó en 1948. Durante el período 1949-1956, se produjeron descargas relativamente altas de materiales radiactivos en el cercano río Techa. A principios del decenio de 1960, se implantaron controles, antes inexistentes, de las liberaciones. Más de 100 PBq de productos de fisión e isótopos de plutonio fueron liberados como efluentes hacia la atmósfera y el río Techa durante el período 1949-1956. Entre abril y mayo de 1951, una gran inundación del río trajo como resultado la contaminación del terreno de aluvión, utilizado para el pastoreo de ganado y la producción de heno. En 1956, los residentes de las zonas altas del río se trasladaron a nuevos lugares de residencia y se cerró la parte del terreno de aluvión más contaminada. Sin embargo, para algunos habitantes, la contaminación del río Techa sigue siendo hasta el presente una significativa fuente de exposición.

El 29 de septiembre de 1957, una falla en el sistema de enfriamiento de un tanque de almacenamiento que contenía desechos radiactivos líquidos provocó una explosión química y una gran liberación de radionucleidos. La actividad total de los radionucleidos que se dispersaron fuera del polígono sobre el territorio de las regiones de Chelyabinsk, Sverdlovsk y Tyumen fue de aproximadamente 74 PBq. En 1967, se produjo otra contaminación con residuos radiactivos vinculados a la explotación del complejo Mayak, cuando el agua se retiró del lago Karachai, que había sido utilizado para evacuar desechos, y el viento volvió a poner en suspensión sedimentos contaminados de la orilla.

■ El complejo de producción de materiales nucleares de **Krasnoyarsk** está ubicado a unos 40 kilómetros de la ciudad de Krasnoyarsk. El primer reactor de flujo directo de Krasnoyarsk entró en servicio en 1958, el segundo en 1961 y el tercer reactor de circuito cerrado en 1964. En ese mismo año, se puso en funcionamiento una planta de radioquímica para el reprocesamiento del combustible irradiado. Las descargas de desechos radiactivos procedentes del complejo de Krasnoyarsk entran en el río Yenisei. Pueden hallarse vestigios de contaminación por todo el trayecto desde la ciudad de Krasnoyarsk hasta el estuario del río a unos 2000 kilómetros corriente abajo. En 1992, se interrumpió la explotación de dos de los tres reactores del complejo de Krasnoyarsk, lo que redujo considerablemente la cantidad de descargas radiactivas en el río Yenisei.

■ El complejo **Tomsk** está ubicado en la margen derecha del río Tom, 15 kilómetros al norte de la ciudad de Tomsk. Entró en funcionamiento en 1953 y es el complejo más grande para la producción de plutonio, uranio y elementos transuránicos que existe en la Federación de Rusia. Este complejo está compuesto por reactores de producción de uranio-grafito, instalaciones de enriquecimiento y fabricación de combustible, y una planta de reprocesamiento. Los radionucleidos presentes en los desechos líquidos son descargados en el río Tom, que desemboca en el río Ob. En 1990-1992, tres de los reactores del complejo Tomsk fueron cerrados, lo que redujo considerablemente la cantidad de descargas radiactivas al río Tom.

El 6 de abril de 1993, ocurrió un accidente en una planta de radioquímica, que provocó la liberación de materiales radiactivos. El OIEA evaluó las consecuencias radiológicas del accidente. Una estrecha franja de contaminación radiactiva baja de 35 a 45 kilómetros de largo se formó en dirección norte-este. La aldea de Georgievka es el único lugar poblado en esta zona.

de acuerdos internacionales jurídicamente vinculantes y la prestación de ayuda para su puesta en práctica; la elaboración de una amplia colección de normas de seguridad no vinculantes; y la prestación de ayuda para aplicar esas normas.

La función del OIEA al realizar evaluaciones radiológicas, dijo el Dr. ElBaradei, es la de ser objetiva y convincente desde el punto de vista científico, y subrayó que el Organismo sigue estando dispuesto a responder a otras solicitudes que se le formulen en esta esfera.

***Epílogo:** A finales de 1998, el Gobierno de Argelia presentó una solicitud al OIEA relativa a un proyecto de cooperación técnica, con el objetivo de "cuantificar la contaminación radiactiva causada por explosiones nucleares [en Argelia], evaluar la repercusión radiológica sobre la población local y establecer un plan para vigilar los antiguos polígonos de ensayos nucleares". La solicitud fue presentada a la Junta de Gobernadores del OIEA, en diciembre de 1998, y favorablemente tomada en cuenta.*

Al mismo tiempo, la comunidad internacional empieza a tener más

información sobre otro potencial, legado radiológico de la guerra fría: poderosas fuentes radiactivas otrora utilizadas con fines militares, que están abandonadas y no sujetas a reglamentación.

Recientemente, la República de Georgia solicitó la asistencia del OIEA a raíz de una emergencia radiológica. Se encontraron dos poderosas fuentes radiactivas, una abandonada en las riberas de un río, y otra, sin blindaje, en el campo, cerca de un pueblo fronterizo.

Las autoridades de Georgia informan que el pasado año encontraron más de cincuenta fuentes de radiación abandonadas, que probablemente sean de origen militar. □