

JUEVES NUCLEARES

Eduardo GALLEGO DÍAZ



La contaminación radiactiva del Este Europeo: Una herencia maldita

Conferencia Pronunciada en el Aula-Club de la Sociedad Nuclear Española LOS JUEVES NUCLEARES, 18 de Abril de 1996

PRESENTACIÓN

El sistema soviético se ocupaba de controlar y planificar muchos aspectos de la vida de sus ciudadanos, pero al parecer no así los niveles de contaminación del aire, el agua o la tierra. El presidente Boris Yeltsin afirmó al poco de alcanzar el poder en Rusia: "hemos heredado un desastre ecológico" [1]. En la ex-URSS (ver mapa de la National Geographic Society, Figura 1), todos los grandes ríos están contaminados, la cuarta parte del agua potable es poco segura y 35 millones de personas habitan ciudades cuyo aire resulta peligroso para la salud. Las autoridades sanitarias atribuyen a la polución del aire y del agua la precaria salud de los niños: solamente uno de cada cuatro niños en edad escolar tiene un estado de salud satisfactorio. Igualmente, las precarias condiciones medioambientales han hecho mella sobre la población de mayor edad, cuya esperanza de vida ha caído en los últimos años situándose entre las más bajas de Europa.

Parte de esa herencia aludida por el presidente Yeltsin es la contaminación radiactiva del medio ambiente en ciertas zonas de la ex-URSS, que constituye un problema de extrema gra-

vedad no siempre percibida en su auténtica dimensión. La falta de transparencia del régimen soviético, el secreto que envolvía muchas actividades, ligadas a la industria del armamento nuclear, y, finalmente, el accidente en la central de Chernobil con sus magnitudes catastróficas, han contribuido a impedir que la opinión pública y los medios de comunicación occidentales hayan valorado, o ni siquiera se hayan hecho eco, de la importancia de las otras fuentes de

contaminación ambiental. Baste indicar algo que cualquier persona medianamente informada seguramente ignore: que ni la máxima contaminación local ni la mayor fuente de contaminación global corresponden a Chernobil, aun cuando es cierto que la contaminación de Chernobil afecta con niveles significativos a zonas muy extensas de la ex-URSS. Se trata pues de una verdadera herencia maldita de la guerra fría y del régimen comunista en el que los objetivos

F.1. "Un universo de polución". El mapa muestra las zonas más contaminadas de la ex-URSS, incluyendo los puntos de mayor contaminación radiactiva, objeto de este artículo (reproducido del National Geographic Society Magazine [2]).



marcados por las altas esferas del poder político y militar se habían de alcanzar sin importar el precio a pagar.

El recorrido que se efectúa en esta charla de "Los Jueves Nucleares" permite elaborar un mapa menos distorsionado de la distribución de los sitios contaminados en el Este Europeo y en la ex-URSS en su conjunto, más allá de lo que Chernobil, cuyo décimo aniversario se conmemora tristemente en estas fechas, pudo haber supuesto. Comenzaremos por describir las tres regiones más intensamente contaminadas: Cheliabinsk en los Urales; las zonas contaminadas por el accidente de Chernobil, sobre todo en Bielorrusia, Ucrania y Rusia; y la isla de Nueva Zembla, en el Ártico. Además, comentaremos los serios problemas ambientales de otros emplazamientos como los de realización de pruebas de armas atómicas de Semipalatinsk, o los numerosos lugares en los que se realizaron explosiones atómicas con fines pacíficos, las instalaciones nucleares, de minería y procesamiento de uranio, los lugares de hundimiento de buques y submarinos nucleares en los océanos Ártico y Pacífico y otros menos conocidos incluso hoy en día, como las factorías de producción de Plutonio de Tomsy y Krasnoyarskii.

El autor no puede sino sentirse halagado por la invitación de sus compañeros de la Comisión del Aula-Club de la S.N.E. a presentar tan apasionante asunto, y lo hace no como experto, que no lo es en absoluto, sino como quien tras descubrir esta penosa realidad a través de distintos seminarios y publicaciones, siente la necesidad de comunicarlo a sus colegas de la manera más clara e ilustrativa posible. Quisiera de antemano pedir disculpas a quien domine estos temas por no pasar de la mera introducción a los mismos, sin más objetivo que el de invitar a la reflexión, a un estudio más profundo de los mismos y a la colaboración de quienes dispongan de medios y oportunidades para remediar la grave situación existente en los lugares descritos, normalmente a través de los programas de colaboración de la Unión Europea con los países del Este.

LAS REGIONES CON MAYOR CONTAMINACIÓN RADIACTIVA⁽¹⁾

Comenzamos nuestro recorrido por las tres zonas ya citadas en las que se concentra con diferencia una gran parte de la contaminación existente.

EL SUR DE LOS URALES.

El primer complejo industrial para la producción de plutonio con fines militares fue

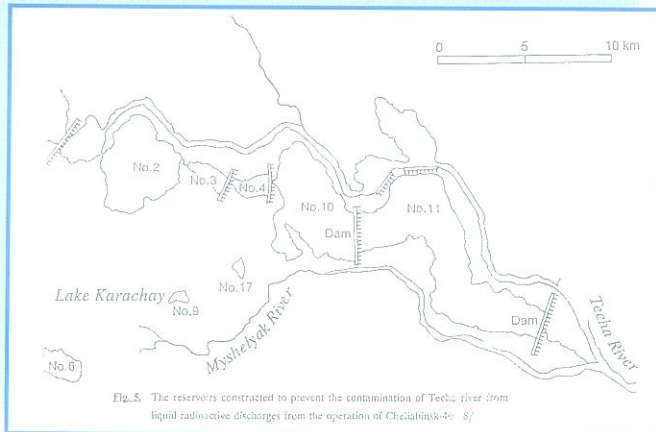
construido entre 1945 y 1946, recibiendo el nombre de Cheliabinsk-40. Se encuentra a 70 km al norte de Cheliabinsk y 15 km al este de la ciudad de Kishim, en la zona sur de los Urales (ver Figura I). Dicha instalación cubre un área de 90 km² y está operada por la llamada Asociación "MAYAK", dependiente del antiguo Ministerio de Energía Nuclear de la URSS.

La presencia de dicha instalación en esa región ha supuesto su contaminación ambiental con productos radiactivos de vida larga, a consecuencia tanto de accidentes como de las operaciones efectuadas en la instalación, para las que no había ningún control medioambiental, sobre todo en la primera década de su operación.

Descargas al río Techa.

Durante el período del 1949 al 1951 se descargaron residuos líquidos de media y baja actividad directamente al sistema fluvial del río Techa, cuya fuente se encuentra a 6 km del punto de descarga. Este río es tributario del sistema fluvial Iset-Tobol-Irtish-Obi (ver Figura I), que desemboca finalmente en el océano Ártico, después de recorrer la llanura de Siberia Occidental de Sur a Norte. En dicho período se descargaron al río unos 76 millones de metros cúbicos de residuos, con una actividad total aproximada de 100 PBq (unos $2,7 \cdot 10^5$ Ci). La mayor parte de esta actividad -un 95%- se descargó entre 1950 y

F II. La cascada de embalses construidos para evitar la contaminación del río Techa por los residuos radiactivos líquidos descargados de la planta MAYAK en Chelyabinsk [3].

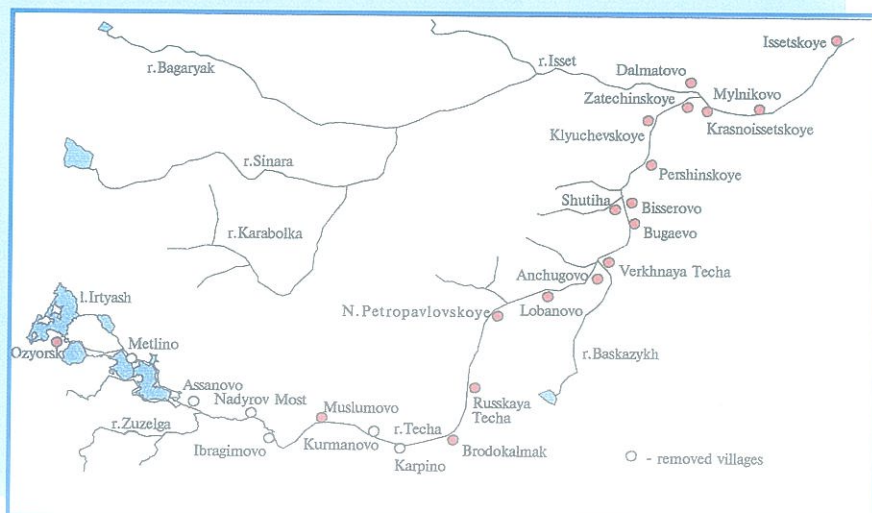


1951, con un 12,2% de ¹³⁷Cs y un 11,6% de ⁹⁰Sr. En la actualidad, la contaminación residual ha decaído a unos 4,6 PBq ($1,25 \cdot 10^5$ Ci) de ¹³⁷Cs y 4,3 PBq ($1,16 \cdot 10^5$ Ci) de ⁹⁰Sr.

La descarga directa de residuos líquidos fue casi totalmente eliminada a partir de 1956 mediante una cascada de embalses y canales de derivación (Figura II) cuya construcción, no obstante, llegó cuando ya se había producido un grave daño ecológico en la planicie inundada por el río y en su fondo. Parece ser que la mayor parte de los contaminantes fueron depositados en los primeros 80 km, hasta Muslumovo, en donde aún se tiene una contaminación residual de importancia (Figura III). La zona pantanosa de Assanovo es una fuente permanente de contaminación del agua, al igual que las filtraciones del sistema de embalses, en el que aún se almacenan 7,1 PBq ($\approx 2 \cdot 10^5$ Ci) de ¹³⁷Cs y ⁹⁰Sr.

Las dosis recibidas por la población de las orillas del río Techa alcanzó valores muy elevados, como se observa en la Tabla I, lo que obligó al traslado de varias localidades con

F III. Mapa del río Techa indicando las poblaciones trasladadas a consecuencia de la contaminación [3].



(1) Los datos contenidos en este apartado, salvo indicación en contra, se han tomado de la referencia [4]

TABLA I

Valores medios de la dosis efectiva recibida por la población de las orillas del río Techa [5]

Localidad	Distancia al punto de descarga (km)	Dosis(mSv)
Metlino*	7	1400
Techa-Brod*	18	1190
Assanomovo*	27	1000
Nadyrov Most*	48	560
Muslumovo	78	240
Brodokamsk	109	58
Russkaja Techa	138	82
Novo Petropavloskoye	152	100
Shutiha	202	36
Zatechenskoje	237	66

* Localidades cuya población fue trasladada. Para la ubicación de las localidades véase la Figura 3

TABLA II

Dosis efectiva media recibida por la población tras el accidente de Kishtim [5]

Distancia al lugar del accidente (km)	Contaminación por ^{90}Sr Ci/km ² (MBq/m ²)	Período de integración de la dosis			
		10 días	1/2 año	1 año	2 años
12,5 - 23	200 (7,4)	520	*	*	*
35	65 (2,4)	65	360	*	*
55	10 (0,37)	11	60	84	*
75	1,0 (0,04)	3,6	21	24	26
105	0,2 (0,007)	0,6	3,6	4,2	4,6

* Población trasladada antes de completar dicho período.

unos 7500 habitantes [5]. No se conocen estudios sobre los efectos sanitarios en dicha población, si bien parece ser que la población local presentó lo que secretamente se llamó enfermedad crónica de radiación por exposición prolongada [2] con pérdida de peso, dolores y debilidad, además de trastornos del sistema inmunitario y nervioso. Los individuos afectados eran trasladados para su examen en Moscú, pero no recibieron ninguna información sobre los resultados de los exámenes médicos. Hoy en día, según la Dra. Solovieva [2], la frecuencia de mutaciones del ADN entre los niños es de uno por cada 6 o 7, cuando lo normal es que haya mutaciones en un niño de cada 20 o 25. La esterilidad es también muy frecuente según manifiestan habitantes de esas localidades.

Aparte del tremendo impacto local, se estima además que unos 10 PBq ($\approx 3 \cdot 10^5$ Ci) de ^{137}Cs y ^{90}Sr han podido ir a parar a través del sistema fluvial hasta el Ártico, pasando pues al sistema oceánico global.

El accidente de Kishtim.

El llamado accidente de Kishtim ocurrió el 29 de septiembre de 1957, en Cheliabinsk-

40, a causa de la explosión química de sales nítricas y acéticas en un tanque de residuos radiactivos de alta actividad, provocado por el fallo del sistema de refrigeración del tanque, lo que ocasionó el auto-calentamiento de las sales explosivas en su interior. La explosión liberó el 90% del contenido del tanque, resultando depositados unos 740 PBq ($20 \cdot 10^6$ Ci) en el entorno de la factoría MAYAK, mientras que se dispersaron a gran distancia otros 40 PBq ($1,1 \cdot 10^6$ Ci) de productos de fisión, de los cuales el 91% eran ^{144}Ce y ^{95}Zr . La cantidad de ^{90}Sr era de 1 PBq (27.000 Ci), mientras que de ^{137}Cs había tan sólo 13 TBq (351 Ci), cifra que resulta inusualmente baja en comparación con las de los otros radionucleidos, sin que se haya ofrecido ninguna explicación para ello.

La contaminación afectó a una zona de 300 x 50 km (Figura IV), poblada por 270.000 habitantes, con un nivel doble del causado por el poso radiactivo resultante de los ensayos de armamento en la atmósfera, más de 4 kBq/m² (0,11 Ci/km²). En la zona más contaminada, unos 17 km² recibieron en media del orden de 100 MBq/m² (2700 Ci/km²). La Tabla II resume la dosis efectiva recibida por la población en distintas zo-

nas a consecuencia del accidente. La mayor parte de la dosis recibida en los primeros 2 años fue causada por la radiación gamma emitida por los productos de vida corta. Para reducir el impacto radiológico causado por el accidente, unos 10.700 habitantes fueron trasladados [5] y en el período inicial se prohibió el uso de unos 800 km² de terreno, de los que un 80% ha vuelto posteriormente a ser utilizado con fines agrícolas y forestales. La dosis media recibida por los no evacuados, en los primeros 30 años tras el accidente se ha estimado en 15 mSv.

Como se puso de manifiesto en uno de los primeros seminarios en los que se presentó abiertamente la información sobre este accidente (el celebrado en Luxemburgo en 1990, [6]), la experiencia adquirida en la aplicación de medidas de protección para reducir la exposición de la población fue de gran utilidad con posterioridad en el caso de Chernobil.

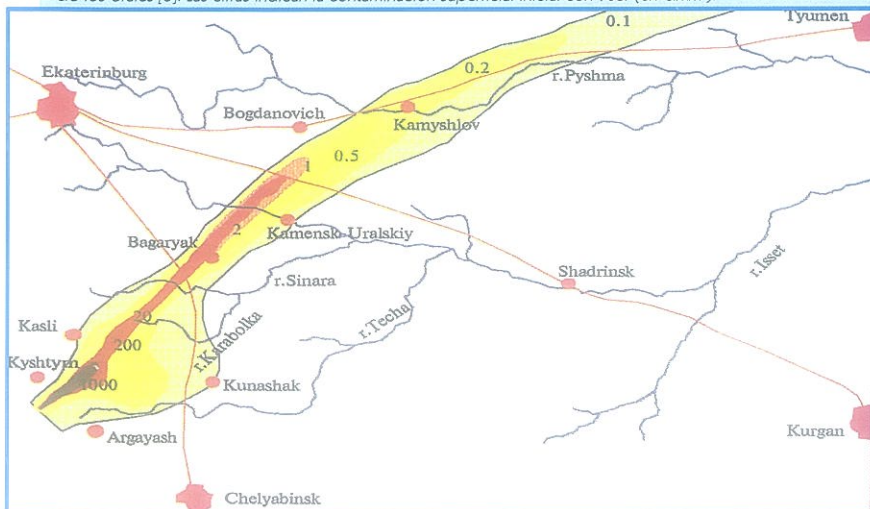
El lago Karachay.

El "lago" Karachay sirvió de receptor de los residuos líquidos de media actividad una vez que cesaron las descargas al río Techa en 1951. Se trata de un estanque de 0,45 km² (Figura II), adonde fueron a parar del orden de 3,6 EBq (casi 100 millones de Ci) de ^{137}Cs y 0,74 EBq (20 millones de Ci) de ^{90}Sr . Un 5% de la actividad se encuentra en fase acuosa, con una concentración del orden de 0,5 TBq/m³ (13,5 Ci/m³).

En el año 1967, a consecuencia de una intensa sequía, las orillas y los lados del lago quedaron completamente secos. Se produjo entonces un pequeño tornado que dispersó el polvo y tierra de dichas orillas, contaminando un área de 1800 km² con aproximadamente 22 TBq (≈ 600 Ci). La zona contaminada se solapó parcialmente con la parte sur-este resultante de la contaminación que previamente había producido el accidente de Kishtim (en la Figura V se representa la contaminación con ^{137}Cs).

El lago Karachay es actualmente la fuente principal de contaminación para el aire y los terrenos adyacentes a Cheliabinsk-40. En el subsuelo por debajo del lago, hasta la

F IV. Mapa de los niveles de contaminación por ^{90}Sr causados por el accidente de Kishtim en la zona Este de los Urales [3]. Las cifras indican la contaminación superficial inicial con ^{90}Sr (en Ci/km²).



profundidad de 100 m se ha formado una masa de agua y sales contaminadas (con un volumen de aproximadamente 4 millones de m³ y un 60% de la actividad total [3]) que se propaga por el subsuelo a una velocidad de 80 metros/año, habiéndose separado ya entre 2 y 3 km del lago. Su posible afloramiento produciría una fuerte recontaminación del sistema fluvial del río Techa. No es de extrañar que este lago sea precisamente objeto de una serie de medidas correctoras, tardías todo hay que decirlo, que lo llenarán con tierra y bloques de cemento a fin de reducir la dispersión de aerosoles y desecarlo completamente. También se quiere inmovilizar la masa de sales en el subsuelo creando a su alrededor una zona aislada de las corrientes subterráneas. Dicho plan debería haberse completado en 1995, pero, al parecer, no ha podido realizarse aún tanto por las dificultades técnicas que presenta como por su elevado coste.

Potencial contaminante de la instalación MAYAK en el futuro

La operación de la instalación MAYAK en el sur de los Urales durante más de 40 años ha supuesto una acumulación de ingentes cantidades de radionucleidos y, según se acaba de presentar, la contaminación de extensas zonas de aquella región. Unas 437.000 personas viven en áreas contaminadas (Figura V). En una zona de unos 270 km², entre los ríos Techa y Misheliak (Figura II), se acumulan residuos con una actividad total de unos 40 EBq (1 GCi), cuya distribución se indica en la Tabla III. Aunque la mayor parte están contenidos, una fracción más que significativa, 4,5 EBq (120 MCi) está abierta al medio ambiente.

Los principales problemas medioambientales que dicha situación plantea están re-

TABLA III
Actividad de los residuos radiactivos y el combustible gastado en la instalación MAYAK [4]

Tipo de residuos	Actividad (EBq)
Residuos sólidos	0,44
Residuos líquidos	25
Alta actividad: Soluciones nítricas	13,9
Pulpas	5,7
Vitrificados	0,2
Media actividad (lagos 9 y 17 de la Figura 3)	4,5
Baja actividad (embalses de la Figura 3)	0,007
Combustible gastado (conteniendo 25 Toneladas de ²⁴¹Am)	13
TOTAL	38

lacionados con la contaminación de los sistemas fluviales. Así, los contaminantes del lago Karachay que pasan al subsuelo, han alcanzado ya el río Misheliak, en una corriente que lo atraviesa a tan sólo 15 metros de profundidad bajo su lecho. Además, la cascada de embalses construida para evitar las descargas directas al río Techa se encuentra saturada [5] y se están produciendo descargas. En estos embalses se mantienen 7 PBq ($\approx 2 \cdot 10^5$ Ci) de radionucleidos de vida larga que demandan una solución medioambientalmente aceptable.

EL ACCIDENTE DE CHERNOBIL

La explosión e incendio del reactor número 4 de la central nuclear de Chernobil, el día 26 de abril de 1986, a la 1:23 de la mañana, produjo la liberación de enormes cantidades de material radiactivo a la atmósfera; el fuego fundió los elementos combustibles del núcleo del reactor, liberándose los productos de fisión gaseosos y volátiles acumulados en su interior. El accidente supuso la contaminación significativa de grandes extensiones de Bielorrusia, la Federación

Rusa y Ucrania, afectando seriamente a la población local.

En los diez años transcurridos se han realizado esfuerzos muy importantes para evaluar las consecuencias sanitarias de la exposición de la población a las radiaciones durante el accidente, la evolución de la contaminación del medio ambiente y su mitigación, así como para mejorar la gestión de emergencias. Para presentar este balance, recientemente se han celebrado dos importantes conferencias internacionales².

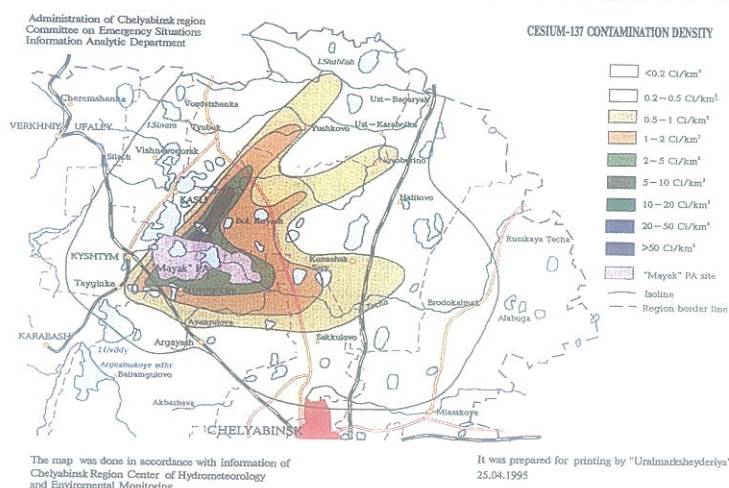
Extensión de la contaminación

Las cantidades escapadas al medio ambiente del reactor de Chernobil, para los principales radionucleidos, han sido reestimadas recientemente según se indica en la ref. [4] en unos 85 ± 26 PBq ($2,3 \pm 0,7$ MCi) de ¹³⁷Cs, que representan el $33 \pm 10\%$ del inventario acumulado en el reactor, 8 PBq (0,2 MCi) de ⁹⁰Sr, 33 TBq (900 Ci) de ²³⁹Pu e igual cantidad de ²³⁸Pu, 52 TBq (1400 Ci) de ²⁴⁰Pu, 6,44 TBq (170 Ci) de ²⁴¹Pu, 4,8 TBq (130 Ci) de ²⁴¹Am, 1,1 PBq (30.000 Ci) de ²⁴²Cm y 6,2 TBq (167 Ci) de ²⁴⁴Cm.

Como consecuencia de la gravedad del accidente, de la situación meteorológica compleja y cambiante durante el mismo, y de la larga duración de los escapes a la atmósfera, se produjo la contaminación de un área muy extensa (ver Figura VI). Las partículas mayores y el grafito del reactor se depositaron en las proximidades de la central nuclear, mientras que las partículas más finas viajaron a distancias mayores. Los productos más volátiles como el ¹³¹I, el ¹³²Te y ¹³⁷Cs se dispersaron hasta zonas distantes miles de kilómetros, y prácticamente toda Europa resultó alcanzada por el aire contaminado. Sin

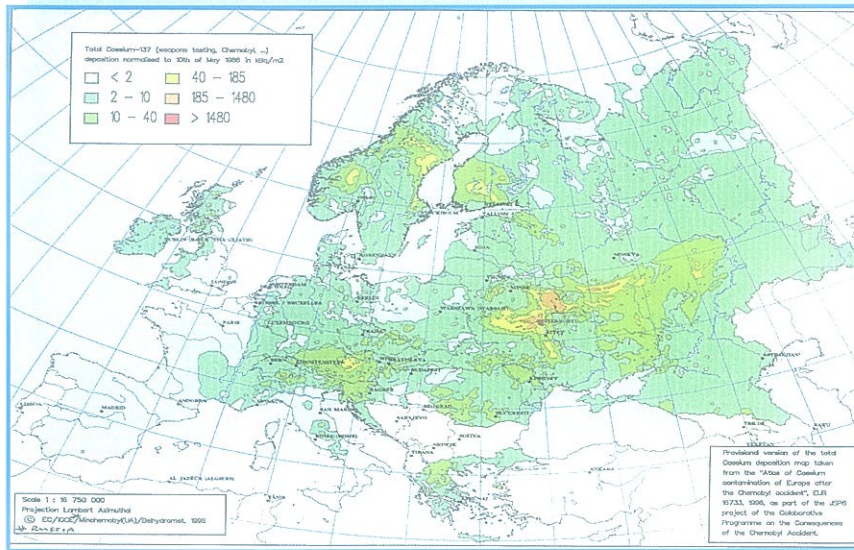
F.V. Mapa de los niveles de contaminación por ¹³⁷Cs existentes en la zona de Chelyabinsk [3]. La distancia entre la instalación MAYAK y la ciudad de Chelyabinsk es de unos 70 km.

RADIOACTIVE CONTAMINATION OF CHELYABINSK REGION NORTH TERRITORIES' SOILS



(2) Se trata de la primera Conferencia Internacional de la Comisión Europea, Bielorrusia, La Federación Rusa y Ucrania sobre las Consecuencias Radiológicas del Accidente de Chernobil, celebrada en Minsk del 18 al 23 de marzo de 1996 [8] y de la Conferencia Internacional "Una Década después de Chernobil: Recapitulación de las consecuencias del accidente" organizada por el OIEA, la UE y la OMS en Viena, del 8 al 12 de abril de 1996. Sobre su contenido se publicó un amplio artículo en el número 151 de la Revista de la SNE (marzo 1996).

F VI. Versión provisional del mapa de deposición total de Cesio-137 [9]. Las cifras de la leyenda indican la deposición total de ^{137}Cs (incluyendo el poso radiactivo de los ensayos de bombas en la atmósfera, Chernobil, etc) en kBq/m^2 , normalizada al 10 de mayo de 1986.



embargo, el reparto de esta contaminación resultó muy desigual. La cantidad de productos radiactivos depositados sobre el continente Europeo fue de aproximadamente el 4% del total acumulado en el reactor, aunque en el caso del Cs-137 asciende al 30% (unos 78 PBq, 2,1 MCi) de los que la mitad quedaron en el territorio de la antigua URSS [9]. Otros productos menos volátiles, como el ^{90}Sr , se liberaron en cantidades inferiores, y se depositaron predominantemente en la zona próxima. El ^{131}I fue causante de las máximas dosis durante el período inicial, pero por el contrario, el ^{137}Cs contribuye al 75-90% de las dosis en el período de 1 a 50 años tras el accidente.

Dada su importancia a largo plazo, uno de los proyectos de colaboración entre la UE y las repúblicas afectadas ha tenido como objetivo la preparación de un atlas de la contaminación por ^{137}Cs en toda Europa, incluyendo la existente con anterioridad al accidente como consecuencia del poso resultante de los ensayos de armamento nuclear en la atmósfera. La Figura VI muestra el mapa provisional de la cantidad total de ^{137}Cs en el suelo, normalizada al 10 de mayo de 1986. En ella se observa con claridad la desigual distribución de la contaminación que, porcentualmente, se distribuye por países según aparece en la Tabla IV. Como se observa, en el territorio de Bielorrusia se concentra un tercio de la cantidad total de cesio existente en los suelos Europeos, y entre las tres repúblicas suman un 77,4%.

Exposición de la población y dosis de radiación

La estimación de las dosis recibidas por la población se resume en la Tabla V, la cual recoge las dosis recibidas por los grupos más representativos: el de los evacuados en los primeros días de la zona próxima de 30

de los habitantes de las llamadas Zonas bajo Control Estricto (ZCE), que son las que alcanzaron una contaminación por encima de los 555 kBq/m^2 de ^{137}Cs (15 Ci/km^2), el de los liquidadores, o trabajadores que participaron en las tareas de mitigación de las consecuencias del accidente y, por último, el resto de la población en la parte europea de la URSS.

Se observan en dicha tabla varias características importantes del reparto de las dosis:

- En primer lugar, lo elevado de las dosis recibidas en el tiroides por los niños de las zonas próxima y de control estricto, que en algunos casos alcanzó varios Grays³, habiéndose demostrado, como se explica más adelante, como la causa de la aparición de un incremento muy significativo en la aparición del cáncer infantil de tiroides. La razón por la que los niños reciben dosis tan elevadas reside en que su organismo incorpora el yodo con más facilidad, y al tratarse de un órgano de menor tamaño, la dosis resultante por gramo de glándula es mucho mayor.

- En segundo lugar, las dosis recibidas por el resto de la población, incluso en las zonas más afectadas, quedaron siempre por debajo de los niveles que provocan la aparición de daños de tipo agudo a la salud, por lo que no se registraron efectos sanitarios inmediatos sobre la población civil; únicamente cabe esperar un incremento relativamente débil en la aparición de cánceres de tipo no tiroideo.

- En tercer lugar, con respecto a los *liquidadores*, algunos de ellos recibieron dosis

(3) Hasta 8-10 Gy en algunos niños de Rusia, y hasta 30-50 Gy en niños de Ucrania y Bielorrusia [6]. Como término de comparación, las dosis empleadas con fines terapéuticos en casos de trastornos de tiroides en los que se precisa destruir parte de los tejidos, suelen oscilar en torno a los 50 Gy.

TABLA IV
Áreas contaminadas por Cs-137 en Europa (poso radiactivo de las pruebas atmosféricas de bombas + Chernobil) y su distribución porcentual por países [9]

Depósito de Cs-137 (Intervalos en kBq/m^2)	Área ($\times 1000 \text{ km}^2$)	% del territorio Europeo	Países	% de la contaminación depositada en Europa
> 1480	3.1	0,03	Bielorrusia	33,5
555-1480	7.2	0,03	Rusia	23,9
185-555	19	0,2	Ucrania	20
40-185	211	1,7	Suecia	4,4
20-40	432	3,6	Finlandia	4,3
10-20	871	11,6	Bulgaria	2,8
			Austria	2,7
			Noruega	2,3
			Rumania	2,0
			Alemania	1,1
			Grecia	0,8
			Eslovenia	0,5
			Italia	0,5
			Moldavia	0,45
			Suiza	0,35
			Polonia	0,23
			Estonia	0,08
			Rep. Checa	0,09
			Rep. Eslovaca	0,05
			Lituania	0,02
			Resto	0,65

TABLA V
Distribución de los niveles de dosis de radiación entre las poblaciones expuestas como resultado del accidente de Chernobil [8]

Grupo de población expuesto	Tamaño aproximado (nº de personas)	Tipo de Exposición	Nivel de exposición ¹	
Evacuados de la zona de 30 km.	135.000	Radiación gamma Cuerpo entero	rango promedio	50 → 500 mSv 120 mSv
		Tiroides, I-131, niños	rango promedio	0,1 → 2,5 Gy 0,3 Gy
Habitantes ZCE ¹	270.000	CDEE ² por radiación	0,3% 4% promedio	> 200 mSv > 100 mSv 60 mSv
		Tiroides, I-131, niños	rango	0,1 → 10 Gy
Liquidadores	600.000	Radiación gamma Cuerpo entero	0,02%	> 500 mSv
			8%	250 - 500 mSv
			47%	100 - 250 mSv
			45%	< 100 mSv
Parte europea de la URSS	75.000.000	CDEE ² total	promedio	6 - 7 mSv

¹ ZCE, Zonas bajo Control Estricto, las áreas con una contaminación mayor que 555 kBq/m².

² CDEE, Compromiso (la suma durante 50 años) de Dosis Equivalente Efectiva.

TABLA VI
Cantidades de ¹³⁷Cs y ⁹⁰Sr liberadas al medio ambiente en los tres escenarios más graves de la ex-URSS [4]

	Local/Regional				Regional/Global			
	¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr		¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr	
	PBq	MCi	PBq	MCi	PBq	MCi	PBq	MCi
Urales	3600	,100	800	22	1-13	0,03-0,35	1-14	0,03-0,4
Chernobil	30	,0,8	6	0,16	70	1,9	2	0,054
Nueva Zembla	0-30	0-0,8	0-20	0-0,54	155-560	4,2-15,1	100-370	2,7-10

Local: < 100 km. a la fuente
Regional: 100-1000 km. a la fuente
Global: > 1000 km. a la fuente

altas en períodos muy breves, sobre todo los que trabajaron en el reactor accidentado hasta terminar la construcción del edificio que lo envolvió, el llamado *sarcófago*. En general cabe esperar la aparición de efectos sanitarios radioinducidos, fundamentalmente cánceres, entre estos grupos, y su registro sanitario y seguimiento epidemiológico es una de las principales actividades a continuar. Por otro lado, a partir de estudios piloto, se ha demostrado la viabilidad de estos estudios epidemiológicos, que pueden resultar muy informativos acerca de los efectos de dosis relativamente bajas de radiación recibidas a diferentes tasas de exposición.

Fuentes potenciales de contaminación en el futuro

Una gran parte de la actividad (¹³⁷Cs) liberada por Chernobil está depositada sobre los suelos de las zonas contaminadas. En las zonas muy contaminadas la resuspensión por los agentes atmosféricos o por los incendios en bosques y matorrales constituye aún una fuente de nueva contaminación, aunque cada vez resulte menos importante.

Otra fuente para la contaminación de la biosfera, en las zonas próximas al reactor, podría ser el ⁹⁰Sr imbuído en partículas de combustible. Este podría transformarse con el tiem-

po de la actual forma no intercambiable a otras susceptibles de ser absorbidas por las plantas vía raíz. La cantidad exacta de ⁹⁰Sr que podría experimentar este proceso no se conoce con precisión, pero podría ser del orden de los PBq (decenas de miles de Ci).

LOS ENSAYOS DE ARMAMENTO NUCLEAR EN NUEVA ZEMBLA

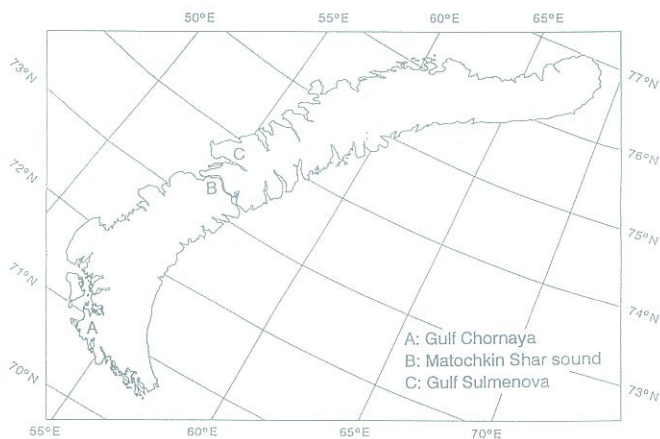
La isla, o archipiélago, de Nueva Zembla, situada en el Artico entre los mares de Barents y Kara (ver Figura VII) fue el escenario de las mayores explosiones atómicas realizadas por la URSS en la atmósfera, un total de 87 desde el año 1955 al 1962, en que se aprueba la moratoria para tal tipo de ensayos. Las pruebas se realizaron en tres plataformas tecnológicas situadas, respectivamente, en el Golfo de Chornaya (A), en el Estrecho del Zar Matochkin (B) y en el Golfo Sulmenova (C). Existen discrepancias en cuanto a la energía total liberada por estas explosiones [4], con estimaciones rusas que hablan de unos 235 Megatones⁴ y otras occidentales (Gronhaug, Dinamarca) que lo sitúan en 320 Megatones. Donde hay mayores diferencias es en cuanto al rendimiento de fisión y las cantidades de ¹³⁷Cs y ⁹⁰Sr producidas. Estas se sitúan, para el ¹³⁷Cs, entre los 0,155 EBq (4,2 MCi) y los 0,56 EBq (15 MCi), y para el ⁹⁰Sr, entre 0,1 EBq (2,7 MCi) y 0,37 EBq (10 MCi). Como comparación, y para dar una idea de la magnitud de estas cifras, baste decir que el UNSCEAR (Comité Científico de Naciones Unidas para el estudio de los efectos de la radiación atómica [7]) estima que el ¹³⁷Cs total liberado por todos los ensayos realizados por el conjunto de potencias atómicas en la atmósfera fue de 0,912 EBq (≈25 MCi), y el ⁹⁰Sr total de 0,604 EBq (16,3 MCi).

La mayor parte de dicho material radiactivo se inyectó en la estratosfera dando origen al poso radiactivo global. No obstante, algunos ensayos pueden haber producido también la contaminación local de ciertas zonas de Nueva Zembla y del Artico. Se han medido concentraciones de ¹³⁷Cs del orden de 0,4-6 MBq/m² (entre 11 y 160 Ci/km²) en la zona A de ensayos, y bastante menores en los otros sitios, pero aun así, hasta 40 veces mayores de lo que correspondería al poso global en dicha zona geográfica. Si se supone que un 75% del rendimiento total de las explosiones hubiese ido a la estratosfera, entonces cabe esperar una contaminación local y regional de la zona Artica con un total de unos 30 PBq (800 kCi) de ¹³⁷Cs y 20 PBq (540 kCi) de ⁹⁰Sr.

Además de las explosiones atmosféricas, a partir de 1964 se realizaron también 42 explosiones subterráneas, con una potencia total de menos de 25 Megatones, lo que supone la producción aproximada de 56 PBq (1,5 MCi) de ¹³⁷Cs y 37 PBq (1 MCi) de ⁹⁰Sr. Parece ser que, aunque los vientos de

(4) Las bombas de Hiroshima y Nagasaki eran "tan solo" 20 kilotones

F VII. Mapa de Nueva Zembla con indicación de los lugares de ensayo de armamento nuclear: Golfo Chornaya (A), Estrecho del Zar Matochkin (B) y Golfo Sulmenova (C).



gases tras las explosiones liberaron a la atmósfera hasta 185 TBq (5000 Ci) de ^{137}Cs , 57 TBq (1540 Ci) de ^{90}Sr y 110 TBq (3000 Ci) de radioyodos, dichas cantidades resultan insignificantes frente a la contaminación ya existente con anterioridad en la isla.

Para acabar, mencionar que en Nueva Zembla hubo también tres explosiones submarinas, en 1955 y 1961, de potencia inferior a 20 kilotones, que pudieron producir unos 0,3 PBq (8 kCi) de ^{137}Cs y 0,2 PBq (5,4 kCi) de ^{90}Sr , lo que constituye una contribución insignificante al inventario de dichos radionucleidos en el océano Ártico, estimado en dos órdenes de magnitud mayor.

UN PRIMER RESUMEN

Descritas ya las tres fuentes principales de contaminación radiactiva de la ex-URSS, y a partir de la información indicada, resulta útil presentar en una misma tabla la comparación de los inventarios de ^{137}Cs y ^{90}Sr liberados al medio ambiente en cada uno de los tres escenarios. Esto aparece en la Tabla VI, en donde se indica la transcendencia a nivel local, regional o global de cada uno de ellos. Merece la pena destacar que Chernobyl no resulta ser el sitio que mayor contaminación local acumula, ya que ese mérito corresponde a la zona contaminada por Cheliabinsk-40. Tampoco es Chernobyl la mayor fuente de contaminación global, puesto que queda muy empujado frente a las cantidades liberadas por los ensayos atmosféricos de armamento llevados a cabo en Nueva Zembla. Sin embargo, no se puede negar que Chernobyl ha sido el accidente que ha producido una contaminación media mayor en zonas más extensas.

OTROS EMPLAZAMIENTOS Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN RADIATIVA

Se describen a continuación algunas otras áreas contaminadas, también muy significati-

vas a nivel local y regional en la mayoría de los casos. Por su impacto global, destacan entre ellas la región de Semipalatinsk, y las zonas de hundimiento marino de residuos y submarinos nucleares.

EL POLIGONO DE ENSAYOS NUCLEARES DE SEMIPALATINSK

La URSS se convierte en potencia atómica el 29 de agosto de 1949, con la primera explosión realizada en el polígono de Semipalatinsk, situado en Kazajistán (50°N, 80°E), al suroeste de la ciudad de Semey (Semipalatinsk). A partir de entonces y hasta 1962 se producen un total de 124 explosiones atmosféricas (8 de ellas a gran altura y 25 a nivel del suelo), con una potencia total de 6,4 Megatones, y una liberación estimada de 6,6 PBq ($1,8 \cdot 10^5$ Ci) de ^{137}Cs y 3,5 PBq ($9,5 \cdot 10^4$ Ci) de ^{90}Sr . Entre el 10 y el 25% se depositó en la banda de 100 a 300 km de distancia del punto de explosión. En las explosiones a nivel del suelo, se depositaron 1,3 PBq de ^{137}Cs , 0,7 PBq de ^{90}Sr y 0,23 PBq de ^{239}Pu . Hoy en día se miden contaminaciones medias en el suelo del orden de 37 kBq/m² (1 Ci/km²) de ^{137}Cs .

A diferencia de las explosiones en Nueva

Zembla, prácticamente deshabitada, las de Semipalatinsk produjeron una irradiación significativa de la población de esos territorios. Testimonios directos [2] cuentan cómo desde las poblaciones se podía observar el hongo atómico durante alguna de las explosiones, y sentir las sacudidas de la explosión en las viviendas. Cuatro de estas explosiones, -el 25 de agosto de 1949, el 22 de noviembre de 1955, el 7 de agosto de 1962 y el 25 de septiembre de 1962-, son las principales causantes de la irradiación sufrida por los habitantes de la región de Altai. Las dosis recibidas después de algunos de los ensayos, como fruto de la irradiación gamma, se indican en la Tabla VII. Puesto que los causantes de la exposición en su mayoría radionucleidos de vida corta, la contribución mayor a la dosis, según se observa en la Tabla VII, se recibe durante el primer mes tras la explosión, siendo de menor importancia la contaminación residual del suelo. En ese sentido, las medidas de rehabilitación adoptadas para la región de Altai [5], se refieren a la mejora de las condiciones de vida de la población afectada. ¡Un poco tarde!, habría que decir, cuando han transcurrido más de 40 años, en los que los afectados han sido tratados como conejillos de Indias...

Además de las explosiones atmosféricas, en el segundo período de pruebas (1963-1989), tuvieron lugar 343 explosiones subterráneas, con una potencia total de unos 10,1 Megatones. En 13 ocasiones se llegaron a producir condiciones imprevistas (de emergencia), en las que la situación radiológica se apartó de lo previsto debido al venteo de gases radiactivos. En total, 1,3 PBq (35 kCi) de ^{137}Cs y 1,4 PBq (38 kCi) de ^{90}Sr fueron liberados a la atmósfera por esta causa.

Cabe decir que se conoce la existencia de un tercer polígono de pruebas atómicas, en Samara, al Sur de Kazán (Rusia), si bien no se dispone de información sobre la cantidad y potencia de las explosiones allí efectuadas.

(5) Una descripción de este accidente fue presentada por el Prof. Agustín Alonso en este mismo foro de Los Jueves Nucleares, el día 17 de junio de 1993, publicada posteriormente en el número 128 de la Revista de la SNE (Febrero 1994)

TABLA VII
Dosis efectiva resultante en áreas de Semipalatinsk por las explosiones de bombas atómicas en la atmósfera [4]

Período tras la precipitación del poso radiactivo	Dosis externa por emisores gamma en áreas pobladas (mSv)		
	Dolon (1949)	Sardjal (1953)	Abai (1953)
8 horas	520	9	3
24 horas	810	14	7
168 horas	1300	85	36
720 horas	1500	240	82
1 año	1800	540	167
6 años	—	570	174
10 años	1800	—	—
Hasta el total decaimiento	1850	570	175

EXPLOSIONES NUCLEARES CIVILES

En la URSS fue también frecuente utilizar explosivos atómicos con fines civiles, para excavación de túneles, canales, embalses, gasoductos, etc. En total se realizaron 115 explosiones (ver Figura 1), el 70% de las mismas dentro del territorio de Rusia. La potencia media de los ingenios empleados solía ser de unas decenas de kilotonnes, con explosiones a profundidades entre los 100 y 2800 metros. En total se utilizaron unos 800 kilotonnes.

La diversidad de sitios y de circunstancias hace muy difícil dar estimaciones sobre la contaminación total liberada o su impacto radiológico. En muchos casos esta debió resultar casi despreciable a distancias de pocos kilómetros, sin embargo en otros, como el de la explosión de Jakutia en 1978 [4], se registraron tasas de dosis de entre 50 y 700 microR/h a distancias de 180 kilómetros, al cabo de 9 días de la explosión, resultando contaminada una extensión de 250 km².

OTRAS INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE MATERIALES NUCLEARES

Además de MAYAK, existen en la ex-URSS otras instalaciones de producción de materiales nucleares en otros seis lugares. Los más importantes desde el punto de vista de la producción de plutonio con fines militares son Tomsk-7, 15 km al NO de Tomsk, sobre el río Tom, que pertenece a la cuenca del río Obi (Figura 1), y Dodonovo, en las orillas del Yenisei, a 50 km al NE de Krasnoyarskii. Se estima que los reactores de Tomsk-7 han producido desde 1958, fecha de su puesta en marcha, unas 50-70 Tm de plutonio, mientras que los de Dodonovo habrían producido unas 30-40 Tm de plutonio para bombas. Estas estimaciones se pueden comparar con las 37-40 Tm de plutonio producido en Cheliabinsk-40 entre 1948 y 1990.

A pesar de la escasa información, se conocen informes sobre la contaminación del río Yenisei con ⁵¹Cr, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr y ¹³⁷Cs entre otros [4]. Con respecto a Tomsk-7, es conocido el accidente que tuvo lugar el 6 de abril de 1993⁵, en el que un tanque conteniendo solución nítrica de uranio procedente de procesamiento sufrió una sobrepresión que levantó su tapa y desplazó la cubierta de la celda de contención, liberando gases y vapores a la celda superior. Los proyectiles originados causaron un cortocircuito, que ocasionó la combustión y explosión de los gases acumulados. La explosión abrió un boquete en el techo, y se inició un incendio.

El material escapado lo hizo a través de la chimenea (unos 1,5 TBq, 40 Ci) y de fugas en techo y paredes (otros 0,15 TBq, 4 Ci). La dispersión de los materiales alcanzó un área de unos 200 km², hasta unos 28 km de la instalación. El nivel de contaminación alcanzó los 740 kBq/m² (20 Ci/km²) en total dentro de la instalación, y una milésima de dicho valor para el plutonio. En la ciudad de Georgievka

hubo una contaminación media de 7,4 a 55 kBq/m² (0,2 a 1,5 Ci/km²) en total. La contaminación en aire llegó a detectarse incluso en el norte de Suecia.

HUNDIMIENTO MARINO DE RESIDUOS Y REACTORES NAVALES.

Desde 1960 la URSS ha descargado residuos líquidos en el mar. Se estiman las siguientes cantidades totales:

- Mar de Barents: 450 TBq (12,2 kCi)
- Mar de Kara: 315 TBq (8,5 kCi)
- Mar Blanco: 3,7 TBq (100 Ci)
- Mar de Japón: 456 TBq (12,3 kCi)

En 1984 se detuvo el lanzamiento de residuos de origen civil, pero la Marina continuó con esta práctica. Así, en 1989, un submarino descargó accidentalmente 74 TBq (2 kCi), en la península de Kola.

Con respecto a los residuos sólidos, se han venido descargando desde 1964, en contenedores metálicos. La cantidad total de residuos de media y baja actividad enterrados bajo el Mar de Kara es de 570 TBq (15,4 kCi), mientras que en el Mar de Barents sólo 1,5 TBq (41 Ci). En los mares del Lejano Oriente se han descargado 925 TBq (6,1 kCi) de residuos sólidos.

Capítulo aparte lo constituyen los submarinos y buques hundidos intencionada o accidentalmente. En el Mar de Kara hay depositados 6 reactores nucleares de submarinos con el combustible gastado correspondiente, además de parte del combustible del rompehielos Lenin, encerrado en un contenedor. Estos reactores son sellados con una mezcla solidificante a base de furfuro, que impide la interacción con el agua marina por unos 500 años. Sin embargo, parece ser que en el Mar de Kara y en Nueva Zembla se hundieron otros 10 reactores sin combustible ni ningún tipo de sellado. Otros dos reactores, sin combustible se hundieron en el Mar del Japón.

Se produjo un serio accidente en un submarino nuclear en agosto de 1985, en los astilleros de reparación de Vladivostok (Bahía de Chazhma), por violación de las normas de seguridad durante la recarga del combustible. Ocurrió una explosión de origen térmico y fueron expulsadas partes del núcleo, con un incendio que tardó 4 horas en ser sofocado. El escape total fue estimado en 185 PBq (5 MCi), contaminándose una zona de 5,5 km de longitud, en donde horas después del accidente se medían aún tasas de exposición del orden de 250-500 mR/h. El fondo de la bahía quedó contaminado (unos 100.000 m²) con ⁶⁰Co, unos 0,2 TBq (5,5 Ci) en 1992 y también algo de ¹³⁷Cs.

Aparte de ello, se citan pérdidas de submarinos nucleares armados, probablemente 3, con una actividad que podría rondar los 24 PBq (0,65 MCi), sin contar el plutonio del armamento. La última y más llamativa por su impacto en la prensa fue la del submarino Komsomolets, que yace a 1700 m de pro-

fundidad [12] en la Isla del Oso en la parte Este del Mar de Noruega. Su contenido se estima en 2,8 PBq (76 kCi) de ¹³⁷Cs y 2,6 PBq (70 kCi) de ⁹⁰Sr [4].

RESIDUOS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE

El programa nuclear de la ex-URSS se basó en la explotación extensiva del uranio de su subsuelo, existiendo instalaciones de minería y procesamiento prácticamente por todo el país. Existen 6 lugares en la zona europea, 2 en los Urales, 18 en Kazajistán y Asia Central y 4 en Siberia.

Destaca por su localización en Europa y la gravedad de la situación ambiental existente el de Sillamäe (Estonia). Allí se tienen, al fondo del Golfo de Finlandia, unos depósitos de unos 330.000 m³, separados del mar por un dique, con un total de 4 millones de Tm de residuos de minería de uranio, y 1,7 millones de Tm de estériles de concentrado, incluyendo unas 1.200 Tm de uranio, 800 Tm de torio y 4,4 4,4 PBq (0,12 MCi) de productos radiactivos de sus respectivas cadenas, de los que unos 0,3 PBq (8,1 kCi) son de radio. El depósito presenta fugas al Mar Báltico y antes de que pueda empeorar la situación radiológica se han iniciado ya proyectos de rehabilitación en cooperación con otros países nórdicos (Finlandia, Suecia y Noruega).

OTRAS FUENTES DE CONTAMINACION

Aparte del combustible gastado de los reactores civiles (del orden de varios EBq de ¹³⁷Cs y ⁹⁰Sr), una fuente potencial de contaminación podrían constituirlos los ingenios nucleares, especialmente cuando se transportan en barcos o aviones. La cantidad total de plutonio acumulada por la ex-URSS no se conoce, aunque se citan entre 100 y 150 Tm de plutonio (200-300 PBq, 5,5-8,1 MCi). Todas las actividades militares en general, por su difícil control pueden seguir planteando potenciales problemas de contaminación radiactiva: los submarinos no desmantelados, instalaciones experimentales, fuentes isotópicas utilizadas para proporcionar energía en posiciones remotas, lugares en los que se experimentaron técnicas de descontaminación mediante la contaminación intencionada (Leningrado y Lago Ladoga, por ejemplo), etc. Sin olvidar los satélites con reactores nucleares o fuentes isotópicas, de los que ya ha habido al menos tres casos de caída a la Tierra: en 1958 en Siberia, en 1978 en Canadá y en 1982 en el Atlántico.

REFLEXIÓN FINAL

El inventario y la descripción realizada, sin ser exhaustivos, permiten trazar un mapa más ajustado a la realidad de lo que inicialmente se podía pensar, en cuanto a la contaminación radiactiva existente en los territorios de la ex-URSS y sus países satélites, lejos de la distorsión que el accidente de