

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1986

El accidente de Chernobyl: hipótesis y planteos

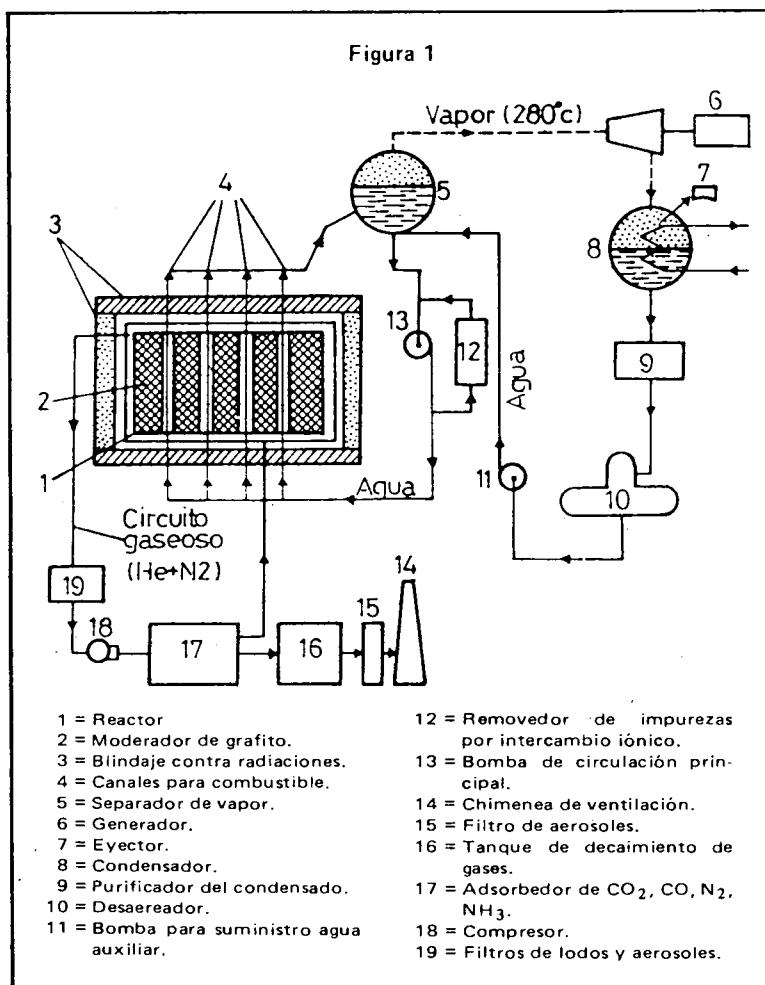
El accidente en la central atomoeléctrica de Chernobyl ha generado un creciente debate que, para la opinión pública, se manejó desde perspectivas no siempre acertadas. Para una posibilidad de esclarecimiento y como contribución al mundo científico, se publica en este informe especial un trabajo elaborado por C.A.L.I.N. (Gerencia de Protección Radiológica y Seguridad) que sintetiza y recoge datos procesados por la Organización Mundial de la Salud ("Chernobyl reactor accident", report of the consultation, 6 May 1986, ICP/CEM 126, World Health Organization), el informe francés ("L'accident de Tchernobyl", Commissariat à l'Energie Atomique, Institute de Protection et Securite Nucleaire. Rapport IPSN Nº 2, Rev. 1, 21 Mai, 1986), datos no publicados hasta ahora y análisis propio. El informe que ofrecemos se completa con una entrevista a un especialista soviético y aspectos diversos de un estudio de la URSS y de la evaluación que realizó el OIEA luego de producido el accidente.

En la mañana del 26 de abril de 1986, una de las unidades de 1000 MW del tipo RBMK de la Central Nuclear de Chernobyl se incendió a continuación de una "explosión". Las autoridades soviéticas anunciaron oficialmente que el incendio en el reactor fue extinguido el 5 de mayo. No se cuenta todavía con información fidedigna sobre la secuencia de eventos que dieron lugar a la explosión y al incendio.

El reactor involucrado es del tipo RBMK, con "tubos de presión", moderado con grafito y refrigerado con agua liviana, y utiliza como combustible uranio de bajo enriquecimiento. El agua de refrigeración hierve dentro de los tubos y el vapor generado es utilizado en la turbina a través de un ciclo directo. En la figura 1 se presenta esquemáticamente el circuito de una central nuclear del tipo RBMK.

Posibles secuencias accidentales

En ausencia de información sobre la secuencia de eventos que llevaron a la explosión e incendio, sólo

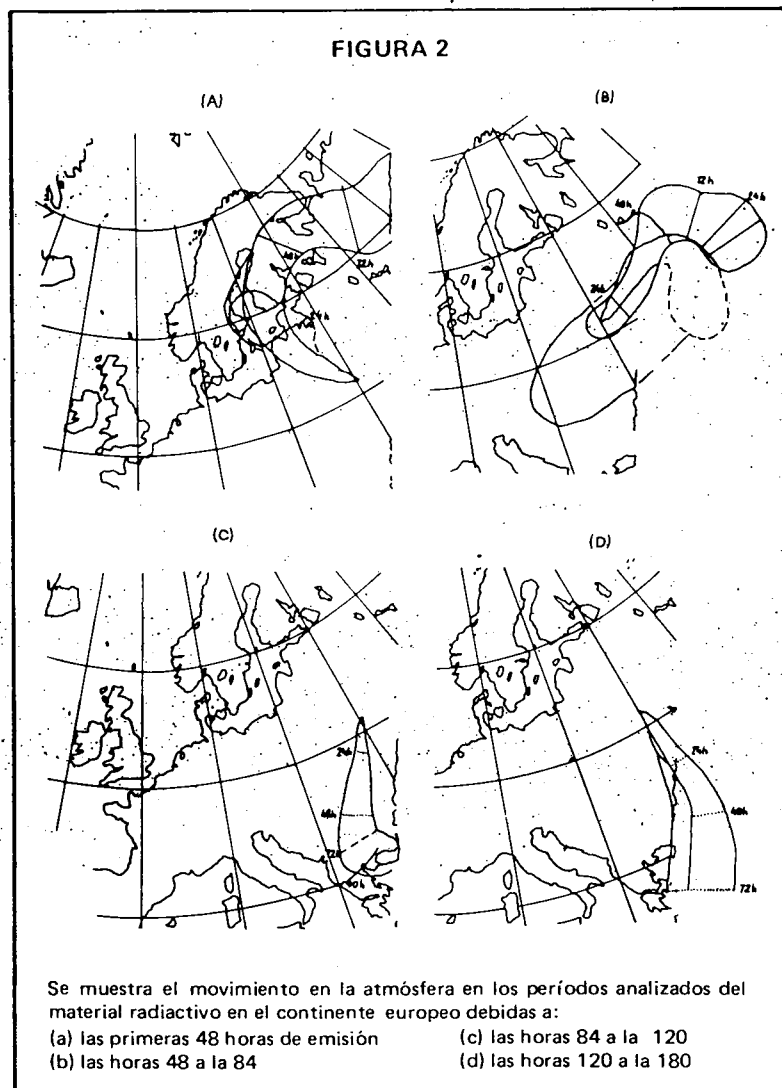


es posible construir escenarios probables, compatibles con lo observado y con el diseño del reactor, tres de los cuales exponemos a continuación. El primero podría comenzar con la rotura del circuito primario en uno de los colectores de vapor principal, seguido de la salida de servicio de la turbina y de la bomba principal, vaporización del refrigerante y reacciones zirconio-agua en las vainas del combustible con liberación de material radiactivo. La secuencia postulada continuaría con el sobrecalentamiento de los tubos de presión y el grafito, seguido de reacciones del tipo zirconio-agua y otras entre el vapor y el grafito, pérdida de la estanqueidad del reactor, entrada de aire e ignición del hidrógeno y los otros gases inflamables, y de la ignición del grafito, con temperaturas superiores a los 2000° C. En algún momento de la secuencia, una explosión de hidrógeno y otros gases inflamables pudo haber causado los daños en el edificio del reactor, mientras la gran masa de grafito se continuó quemando hasta el 5 de mayo, fecha en que el incendio fue extinguido finalmente.

Una segunda secuencia alternativa se habría iniciado por la obturación parcial de un colector de entrada de refrigerante al núcleo, provocando un déficit de refrigeración en un conjunto de canales de combustible. Esta situación podría haber sido advertida pero no interpretada en su real magnitud, quizás debido a un mal funcionamiento, a deficiencias de los sistemas de control y de seguridad o a un error huma-

no, decidiéndose una reducción de la potencia nominal del reactor al 7 %. Al no corregirse el déficit de refrigeración, la temperatura en ese grupo de canales habría continuado aumentando hasta la rotura de las vainas, seguida de daños en los tubos de presión. Consecuen-

temente, la temperatura de los elementos combustibles afectados aumenta alcanzando el umbral de la reacción exotérmica zirconio-agua (1200° C) y produciéndose hidrógeno que, junto al vapor de agua, difunde a través del grafito. En esta situación, la mezcla de



vapor e hidrógeno escapa a través del grafito y burbujea en la pileta reductora de presión que se encuentra debajo del reactor; el vapor se condensa en la pileta y el hidrógeno asciende acumulándose en las partes superiores del circuito primario de los separadores de vapor, alcanzando las condiciones de mezcla explosiva. Como resultado de la explosión, se dañan partes del circuito primario ubicadas tanto en dicho edificio como en la sala de máquinas, ocasionando probablemente un incendio en la misma y la pérdida consiguiente de la alimentación eléctrica. Esto hace que se interrumpa la refrigeración del núcleo y se produzca un aumento generalizado de la temperatura de los elementos combustibles, de los materiales estructurales y del moderador, provocándose la fusión parcial de núcleo.

Un tercer escenario posible es un desbalance entre el calor generado y el extraído debido a una excursión de potencia resultante de una inserción de reactividad accidental, cuando el reactor estaba a baja potencia (7 %). Los eventos siguientes son similares a los descritos en las otras dos alternativas.

Liberación de material radiactivo al ambiente

El daño del núcleo del reactor y la ausencia de barras físicas apropiadas causó, durante algunos días, la liberación de material radiactivo acumulado en dicho núcleo durante la operación del reactor.

Ante la falta de información válida sobre la cantidad de material radiactivo liberado durante el accidente, sólo es posible estimarla a partir de información sobre contaminación ambiental y datos meteorológicos

TABLA I Niveles de referencia para alimentos contaminados con Cs-137 debido a situaciones accidentales		
	INFERIOR	SUPERIOR
Leche	$3.6 \times 10^3 \text{ Bq l}^{-1}$	$3.6 \times 10^4 \text{ Bq l}^{-1}$
Agua potable	$7.3 \times 10^3 \text{ Bq l}^{-1}$	$7.3 \times 10^4 \text{ Bq l}^{-1}$
Vegetales Verdes	$1.9 \times 10^5 \text{ Bq kg}^{-1}$	$1.9 \times 10^6 \text{ Bq kg}^{-1}$
Frutas	$2.8 \times 10^5 \text{ Bq kg}^{-1}$	$2.8 \times 10^6 \text{ Bq kg}^{-1}$

pertinentes. Como la mayor parte de la información ambiental corresponde a zonas lejanas al lugar del accidente, las estimaciones son muy imprecisas.

Por otra parte, el inventario radiactivo del núcleo del reactor depende de la potencia y del tiempo promedio de permanencia de los elementos combustibles en el núcleo. La potencia térmica del reactor accidentado era de 3200 MW y el tiempo promedio, estimado sobre la base de la rela-

ción Cs-134/Cs-137 medida en muestras de contaminación ambiental resultante, es de alrededor de un año. A partir de ambas estimaciones, la fracción del inventario radiactivo que se habría liberado al ambiente es de aproximadamente 100 % para los gases nobles, 10 a 20 % para los elementos volátiles a la alta temperatura de combustión del grafito y de los alcalinos, y del orden del 1 % de los elementos refractarios.

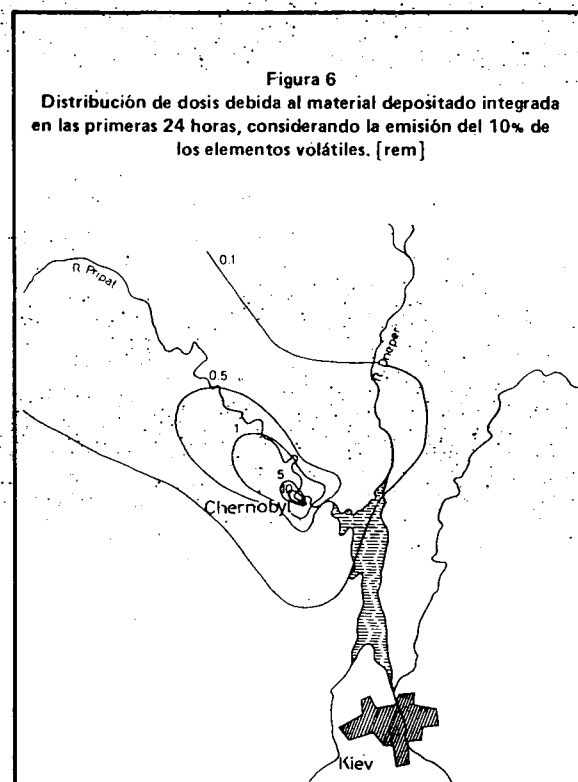
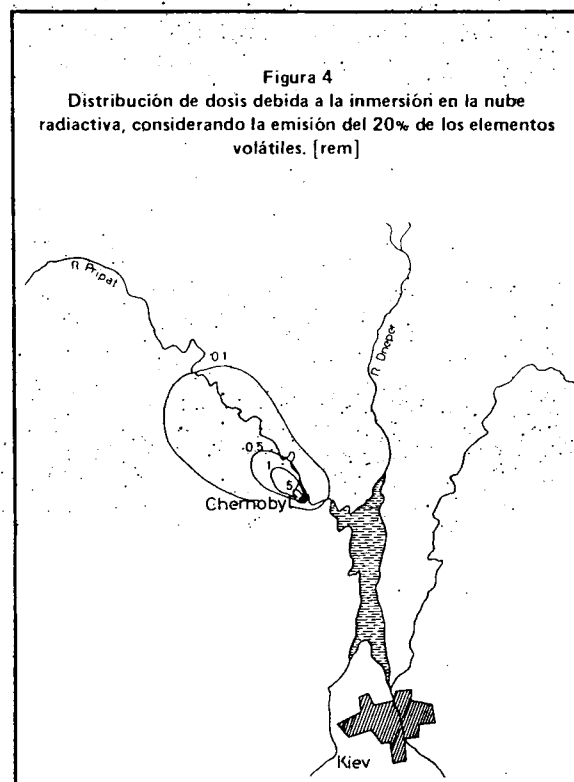
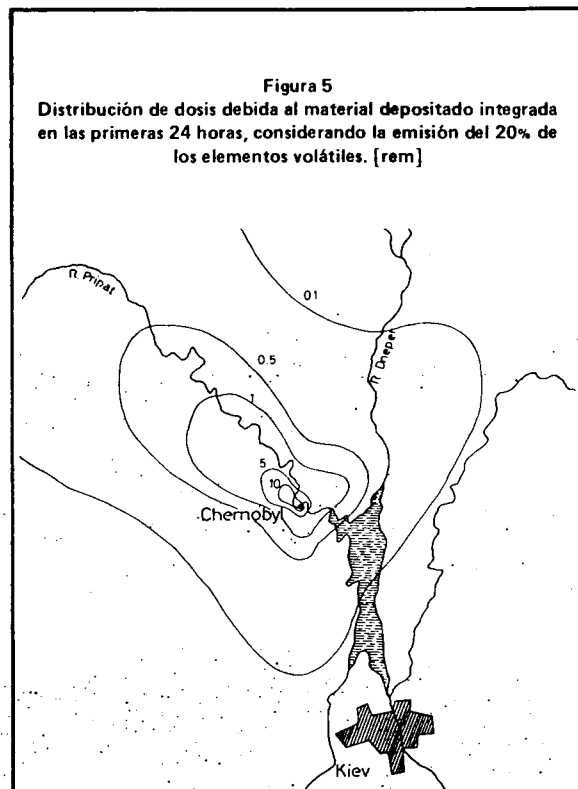
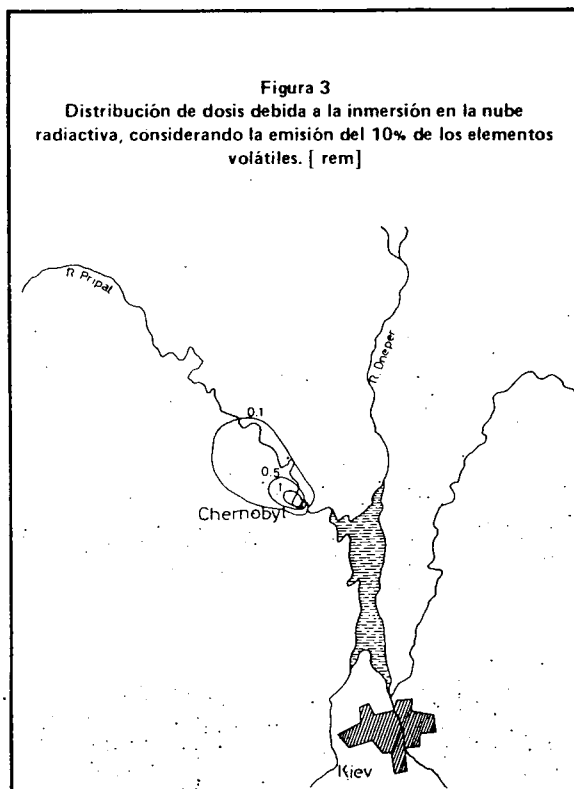
Consecuencias radiológicas

Debido a las altas temperaturas involucradas, la pluma de aerosol radiactivo se elevó sustancialmente, alcanzando altitudes de varios centenares de metros, hasta quizás algo más del kilómetro. El material liberado se dispersó por difusión y principalmente por el transporte de los vientos predominantes a diferentes alturas. Debido a la difusión y a la dispersión provocada por los vientos, la concentración de los aerosoles radiactivos en el aire disminuye significativamente a medida que aumenta la distancia del lugar del accidente. Es posible estimar, sin rigor, la distribución de dosis a las que puede haberse llegado en la inmediata vecindad de la Central, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas y sus cambios

Escudo Protector

Los escapes radiactivos desde el bloque averiado pudieron ser reducidos en sumo grado con la ayuda de un escudo de materiales, con propiedades de absorción de neutrones —arena, barro, boro, dolomita y plomo—, lanzados desde helicópteros. Como resultado de las medidas adoptadas, el nivel de radioactividad se redujo en todo el territorio comprendido dentro del radio de los 30 kilómetros.

El personal de la CAE, en número estrictamente indispensable, continúa trabajando con el fin de que los reactores no afectados se encuentren en estado de seguridad inoperativa. El tercer reactor, vecino del cuarto, no sufrió daños a consecuencia del accidente, y sus sistemas de seguridad para el enfriamiento funcionan con normalidad (Del informe del OIEA).



durante el período de emisión efectiva de aerosoles radiactivos, en particular la velocidad y dirección de los vientos (fig. 2) y la altura efectiva alcanzada por la

emisión. En la evaluación de las dosis en la población situada hasta una distancia de 50 km. de la Central, presentada en las figuras 3, 4, 5 y 6, se supuso una libera-

ción continua y lineal durante los primeros 7 días (del 26/4 al 2/5) posteriores al accidente. Los factores de dispersión fueron calculados considerando una con-

Es posible que el error no haya sido puramente técnico

Iván Emelianov es uno de los principales miembros de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética y ha contribuido con un destacado aporte a la puesta en explotación de varias centrales atómicas de su país, al igual que de reactores energéticos de fabricación en serie de una potencia de un millón de kilovatios. Este reportaje, con fecha 13 de mayo, fue cedido a ARGENTINA NUCLEAR por la Distribuidora Argentina de Noticias (DAN). Sus aspectos salientes se publican a continuación.

—El destino quiso que la pequeña ciudad de Chernobyl se convirtiera en teatral de grandes discusiones en diferentes regiones del planeta. Pero quisiéramos conocer más detalles de la instalación energética donde se produjo el accidente.

—Los especialistas denominan al reactor de Chernobyl, de un millón de kilovatios, como RPGH, es decir, reactor de gran potencia hirviendo. En calidad de moderador de neutrones, en él se utiliza el grafito. El agente de transmisión de calor es el agua hirviendo, que circula por canales verticales. Un millón de kilovatios es la potencia eléctrica; la térmica constituye 3.200 megavatios. Como vemos, las cifras son impresionantes, pero esta caldera se dirige flexiblemente. En caso de necesidad, el reactor puede detener completamente su funcionamiento con una velocidad de reducción de la potencia de 8 por ciento por segundo.

Quisiera subrayar que el bloque energético averiado en Chernobyl no es una construcción nueva o experimental. Los reactores de este tipo hace años que se desarrollan en muchas centrales atómicas de la URSS.

—Durante la conferencia de prensa que tuvo lugar en Moscú el 6 de mayo, usted dijo que al momento del accidente se accionaron mecanismos automáticos y la reacción en cadena se detuvo enseguida. Sin embargo, en la zona del reactor se mantiene una temperatura bastante alta.

—Sí, en el momento crítico el sistema de defensa hizo lo que debía hacer: rápidamente puso al reactor, según dicen los especialistas, en el estado

subcrítico, y la acción en cadena se detuvo. Pero en el tiempo previo a la detención del reactor, durante la reacción en cadena y como resultado de fisión de los átomos de uranio 235, se formó un gran número de fragmentos radiactivos, o sea, de núcleos radiactivos de átomos de otros elementos. Ellos a su vez continuaron desintegrándose, lo que siempre es acompañado por la liberación de energía. Si como resultado del accidente no funciona el sistema de consumo del calor que se desprende, el reactor se calienta, lo cual puede conducir a la combustión del grafito que se encuentra allí. Precisamente esta combustión tuvo lugar en el cuarto bloque generador de la central atómica. Sin embargo, gracias a las medidas adoptadas, la combustión se apagó.

—Hans Blix, director general del OIEA, al concluir su recorrida por Chernobyl, señaló que no había visto incendios, pero sí humo que se levantaba desde la zona del accidente. ¿Cómo explica ese fenómeno?

—Para el momento de ese viaje, aún había humo. Pero esto no tiene directa relación con la fisión radiactiva. Las reacciones en cadena se han apagado. El asunto es otro. La zona del reactor, en particular, el grafito, debido a los procesos que acabamos de mencionar, mantiene por ahora una temperatura bastante alta. Por eso cualquier material externo con inclusiones orgánicas que tenga contacto con esa zona se oxida. Dichas inclusiones pueden estar en particular en la mezcla de diferentes componentes que actualmente se lanzan desde los helicópteros para impedir los escapes contaminadores. O sea que no hay en este caso ningún indicio de fuego. En cuanto al

escape radiactivo, fue originado por el convergente flujo calórico, cuando la zona del reactor tenía la temperatura más alta.

—¿Se están aclarando las causas del accidente?

—Por ahora no puede hablarse con total seguridad. Los miembros de la comisión gubernamental hacen todos los esfuerzos para establecer las causas. Puedo decirle que durante el análisis de lo sucedido, se promueven hipótesis sobre unas coincidencias casi increíbles. Es posible que las causas no hayan sido puramente técnicas.

—¿En qué estado están los restantes bloques generadores de Chernobyl?

—La central se construyó en dos etapas. Los bloques 1 y 2 se montaron en un edificio y los 3 y 4 en otro, separados por 200 a 300 metros. Los tres restantes, al del accidente, protegidos cada uno por una pared hermética, conservan su capacidad total, aunque por ahora no están funcionando.

—Se dice que este accidente fue similar al de Three Mile Island en Estados Unidos, en 1979. Esa central no volvió a funcionar hasta hoy. ¿A qué se debe esto?

—Allí hubo grandes destrucciones. En particular, se afectó la parte activa. Hablando en términos generales, los tristes sucesos de este tipo, pese a tener un carácter exclusivo, muestran que aún hemos de tener cuidado con la energía del núcleo atómico. Incluso el átomo pacífico, cuando lo hacemos trabajar para nuestro bien, puede causarnos daño. En estos momentos tan difíciles para la humanidad debemos comparar estas pérdidas con una tragedia mucho mayor, con la catástrofe que encierra una guerra nuclear.

Actualmente, la sabiduría suprema no consiste en observar las desgracias de los otros y aún menos en regodearse con ellas sino en consolidar esfuerzos para liquidar completamente las reservas del armamento nuclear en el planeta.

dición de dispersión atmosférica intermedia (clase D de Pasquill con una velocidad del viento de 4 metros/seg. - 1 a 10 metros de altura). Además, se consideró que las emisiones radiactivas se efectuaron siguiendo una distribución lineal de entre 50 y 800 metros de altitud. Con estas suposiciones se determinaron las concentraciones integradas en los distintos puntos alrededor de Chernobyl, y se calcularon las dosis dentro de los primeros 50 kilómetros.

Las figuras 3, 4, 5 y 6 resumen sólo las dosis debidas al pasaje de la nube radiactiva y a la irradiación gamma secundaria resultante del depósito de aerosoles radiactivos sobre el suelo. La escala de las figuras no permite apreciar las dosis en zonas muy cercanas a la Central (1 a 2 km), las que se estiman en alrededor de 200 rem en 24 horas.

Por otra parte, debe señalarse que las dosis reales recibidas por la población vecina dependen fuertemente de la eficacia de las contramedidas que se hayan adoptado, como por ejemplo la evacuación. En el caso de contramedidas tardías, son concebibles efectos severos de radiación sobre la salud de las personas en la inmediata vecindad de la Central, los que se sumarán a los producidos en personas afectadas a tareas de mitigación del accidente en la Central.

Los modelos de dispersión atmosférica que se usan para estimaciones de cortas distancias pierden validez cuando se analiza el trans-

porte más allá de unos centenares de kilómetros. En este caso los modelos utilizados se basan en el seguimiento del movimiento de masas de aire a grandes alturas, y el tipo de irradiación resultante

Radioisótopos

La parte fundamental de los escapes radiactivos está constituida por los radioisótopos de vida breve que fueron desprendidos. Las mediciones indicaron que cerca del 50 por ciento de la radiación corresponde al yodo 131. (Del informe del OIEA).

Evacuación

La evacuación de la población comenzó el 27 de abril. Los primeros en ser evacuados fueron niños y mujeres. Cerca de 48.000 personas fueron evacuadas de Chernobyl y zonas circundantes, en un radio de 30 kilómetros. Como medida profiláctica se repartieron entre la población, dentro de la zona de 30 kilómetros de radio y más allá, pastillas de yoduro de potasio.

Unas 204 personas, incluyendo trabajadores de la Central Atomoelectrica de Chernobyl y bomberos, recibieron dosis de radiación de primero a cuarto grados; 18 personas recibieron dosis de cuarto grado. Las 204 personas fueron enviadas a Moscú inmediatamente para proceder al tratamiento médico. En algunos casos, hubo que recurrir al trasplante de médula ósea. (Del informe del OIEA, luego de la visita de relevamiento del accidente del 26 de abril).

puede ser deducido de la experiencia de los estudios de fallout radiactivo troposférico a causa del ensayo de armas nucleares en la atmósfera realizados en el

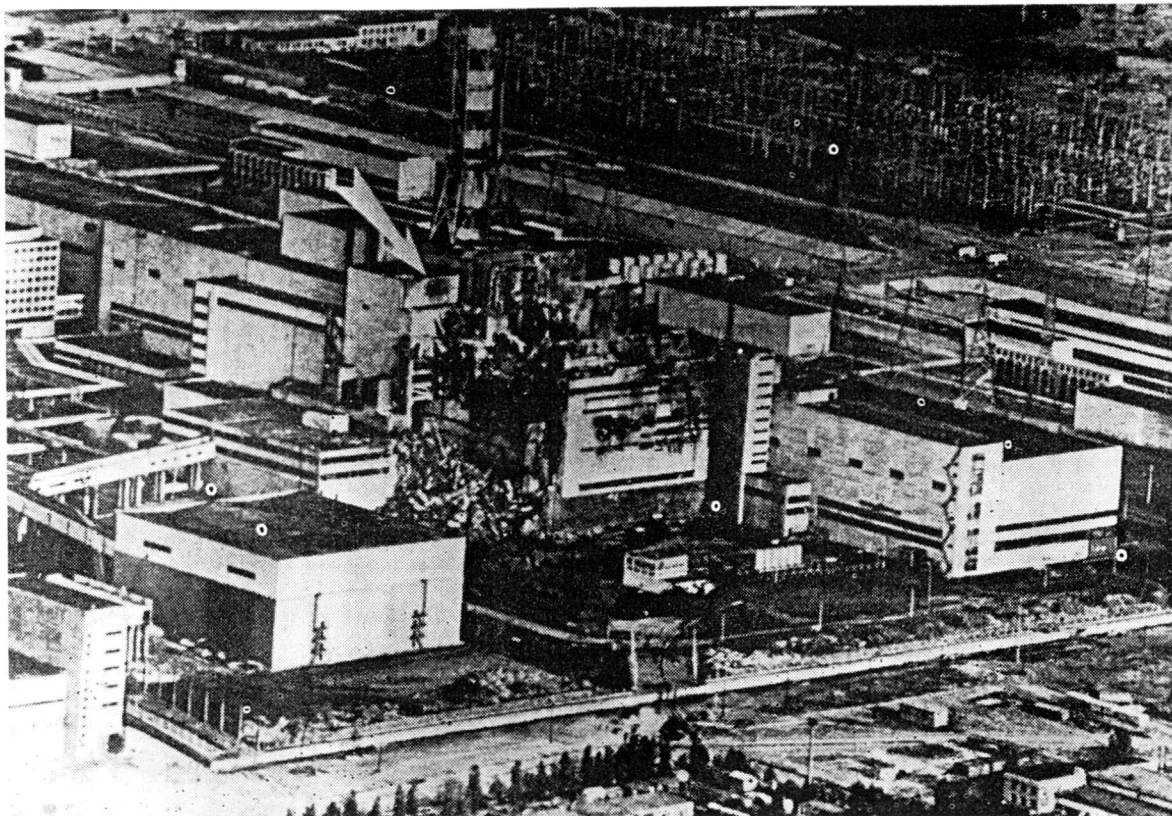
pasado. Por otra parte, existen numerosas mediciones que se efectuaron en varios países europeos. La irradiación del hombre debido a la contaminación atmosférica por sustancias radiactivas es causada por diferentes vías, de las cuales las más importantes, a esas grandes distancias, son la radiación externa producida por el material radiactivo depositado sobre el suelo y la radiación interna resultante de sustancias radiactivas incorporadas por ingestión de alimentos contaminados o, en menor medida, de agua.

Las dosis de radiación recibidas por las personas a esas grandes distancias son considerablemente inferiores a las que pueden producir efectos agudos de la radiación, siendo del mismo orden de magnitud de las que reciben los pacientes en algunos exámenes radiológicos.

No obstante, cualquier dosis de radiación, por pequeña que sea, implica cierto riesgo de efectos tardíos. En consecuencia, fue razonable considerar algunas acciones protectivas, teniendo en cuenta el principio según el cual deben reducirse las dosis de radiación tanto como sea razonable. Este es el caso de zonas localizadas en Europa donde, debido a la coincidencia del paso de una masa de aire contaminada con material radiactivo y la precipitación de lluvia, dicho material se depositó sobre el suelo. Fueron justificables, así, algunas contramedidas sencillas en esas regiones, como el abstenerse de beber agua de lluvia si se desconocían los niveles de concentración de material radiactivo, o el restringir

Niveles de radiación

Aunque no disponemos de datos sistemáticos sobre los niveles de la radiación, contamos, no obstante, con algunas cifras. El nivel máximo de radiación dentro de la zona de los 30 kilómetros de radio alcanzó de 10 a 15 miliroentgen por hora. El día 5 de mayo ese nivel se redujo hasta 2 a 3 miliroentgen por hora. El día 8 de mayo, el nivel máximo de radiación registrado era de 0,15. En las fuentes y depósitos acuáticos de Kiev, el nivel de la radiactividad siempre estuvo dentro de los límites normales. (Del informe del OIEA).



Vista aérea de la Central Atómica en cuestión. Con un flecha se indica la Unidad N° 4 averiada. La foto fue tomada el 9 de mayo de 1986 (FKT/DAN).

el consumo de leche y vegetales verdes producidos en dichas zonas, por ejemplo en el caso que la concentración de iodo-131 superara 2000 bequerel/kilogramo. Este valor ha sido adoptado por diferentes países como nivel de referencia para comenzar a considerar la aplicación de contramedidas y se deduce de las reco-

mendaciones del ICRP para situaciones de emergencia.

Transcurridas semanas después de la liberación de materiales radiactivos, el radionucleido permanente más significativo para la irradiación del hombre es el cesio-137. En la tabla I se presentan los niveles de referencia para cesio-137, también deducidos de las reco-

mendaciones del ICRP, que en caso de no ser superados no se justifica la consideración de contramedidas (nivel inferior) y que si se exceden deben aplicarse contramedidas (nivel superior). En el caso de valores intermedios, las contramedidas son optativas, dependiendo de la facilidad de materializarlas.

Reactores rápidos

Todavía hay pocos reactores de este tipo (rápidos) en el mundo aunque se comenzó a trabajar en ellos ya en los años 50. Las dificultades en la creación de reactores rápidos prometedoros resultaron ser mayores que como se esperaba. En consecuencia, el plazo que se fijaba anteriormente para comenzar su masiva asimilación práctica, los años 80, se alejó a la década del 90. De todos modos, en la costa del Mar Caspio ya funciona la central nuclear de Shevchenko, de 350 mil kilovatios. La central no sólo genera la energía eléctrica, sino también produce

el calor para las instalaciones destiladoras de agua. El reactor rápido más grande del mundo funciona en los Urales (central nuclear de Beloyarski, de 600 mil kilovatios). Actualmente, los científicos soviéticos procedieron a la creación de un reactor rápido perfeccionado, de 800 mil kilovatios. Se supone que en un futuro, tales reactores constituirán la base de la fabricación en serie de grupos energéticos para las centrales nucleares. (De un informe de la agencia Novosti de la URSS).

En el presente, no son necesarias acciones tales como la restricción de ingestión de leche comercializada y vegetales verdes, aún por niños y mujeres embarazadas. De la misma forma, no es preciso aconsejar a la población permanecer en el interior de las viviendas, tomar precauciones para no inhalar polvo proveniente de activi-

dades agrícolas ni desalentar los viajes en el hemisferio norte, con la excepción obvia de la vecindad del accidente. Tampoco debe ser causa de preocupación el depósito directo de aerosoles radiactivos sobre la piel, vestimentas, vehículos y objetos.

Con respecto al hemisferio sur, la experiencia de los estudios

de fall out muestra que no debe esperarse la presencia de material radiactivo proveniente del accidente de Chernobyl. Aún en el caso muy improbable que llegara cierta cantidad de material radiactivo, las dosis resultarían insignificantes. Ninguna contramedida posible sería justificable en la Argentina.

