LAS CONSECUENCIAS RADIOLÓGICAS DEL ACCIDENTE DE CHERNOBIL. BALANCE A LOS DIEZ AÑOS

E. GALLEGO - E. GIL - P. ORTEGO

Eduardo GALLEGO DÍAZ es Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Titular de dicha Universidad, en el Departamento de Ingeniería Nuclear de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid.
Participa desde 1983 en distintos proyectos de investigación de la Industria Eléctrica, el Consejo de Seguridad Nuclear y la Comisión Europea sobre las consecuencias radiológicas y económicas de los accidentes nucleares, siendo miembro de grupos especializados sobre el tema en la Agencia de Energía Nuclear de la OCDE.

Eugenio GIL LÓPEZ es Doctor en Ciencias Físicas y Diplomado en Ingeniería Nuclear, es actualmente Subdirector General de Ciclo y Residuos del Consejo de Seguridad Nuclear, en donde dirigía anteriormente el área de Análisis de Accidentes. Pertenece a diversos comités sobre Radioprotección del Euratom y la AEN/OCDE, y ha participado como experto del OIEA en distintas ocasiones.

Pedro Mª ORTEGO SAIZ es Ingeniero Industrial por la E.T.S. de Ingenieros Industriales de Bilbao, Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Madrid y Diplomado en Ingeniería Nuclear por la Junta de Energía Nuclear. Jefe de Diseño del Núcleo PWR 3 de la Empresa Nacional del Uranio S.A.
Desde 1981 ha trabajado en ENUSA en diferentes aspectos de la ingeniería del combustible nuclear, especialmente en los relacionados con la seguridad desde el punto de vista neutrónico, para distintas instalaciones nucleares nacionales y extranjeras.

INTRODUCCIÓN

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.

También en estos diez años se ha producido un cambio radical en la estructura política de los países más afectados, pasando de formar parte de la entonces U.R.S.S. a ser estados independientes en los que el impacto del accidente contribuyó a agravar la crisis social y económica en la que aún se encuentran.

Sin embargo, la desaparición de las barreras políticas con Occidente ha propiciado una amplia colaboración internacional para el estudio y mitigación de las consecuencias radiológicas del accidente. Uno de los programas

Las fotos incluidas en este artículo han sido tomadas del libro "And the name of the star is Chernobyl"

T I
resumen de los proyectos de investigación conjuntos UE/CEI sobre las consecuencias radiológicas del accidente de Chernobil.

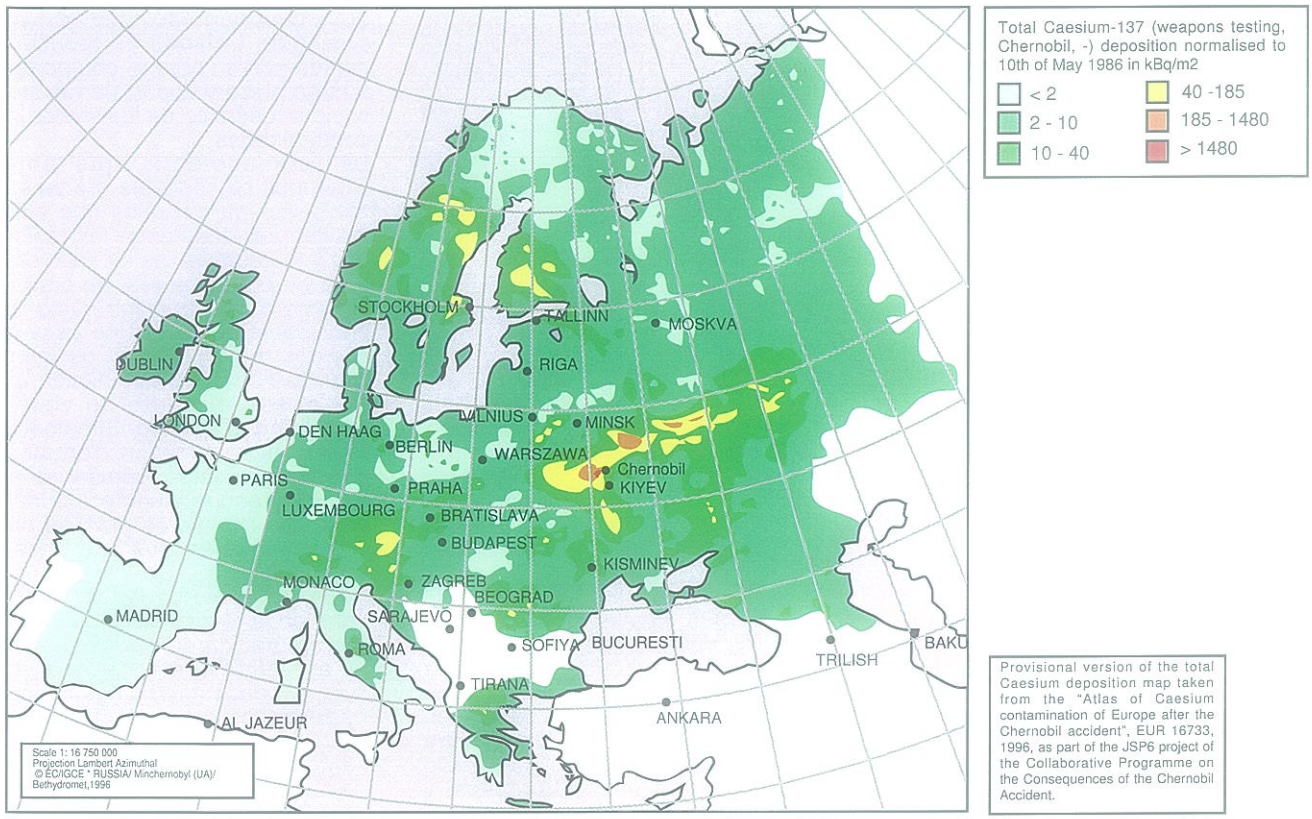
Proyecto (*)	Tema	Conclusiones Principales	Informe Final
ECP-1	Contaminación de superficies por resuspensión de material	- Las dosis por inhalación de aerosoles resuspendidos son muy pequeñas. - La transferencia por resuspensión de material a zonas menos contaminadas no resulta significativa.	EUR16527
ECP-2	Transferencia de radionucleidos por el medio terrestre a los productos agrícolas y evaluación de prácticas agroquímicas	- Eficacia de tratamientos agrícolas clásicos: arado y abonado natural o adición de fertilizantes. - Otras alternativas beneficiosas: adición de zeolitas y otras sustancias. - Se precisa un mayor desarrollo práctico.	EUR16528
ECP-3	Transferencia de material radiactivo de ecosistemas terrestres a las masas de agua del entorno de Chernobil	- La vía acuática es la más importante para el transporte a largo plazo del material radiactivo de las zonas muy contaminadas a otras limpias.	EUR16529
ECP-4	Evaluación y desarrollo de estrategias de descontaminación para situaciones específicas y evaluación de su eficacia e impactos secundarios	- Casos particulares muestran que ciertas técnicas de descontaminación aún son eficaces. - Se han de evaluar las estrategias de descontaminación caso a caso en lugar de evaluar estrategias genéricas.	EUR16530
ECP-5	Comportamiento de radionucleidos en ecosistemas naturales y seminaturales	- El 70-90% de lo depositado se encuentra aún en capas de suelo superficiales. - Los ecosistemas seminaturales pueden ser una fuente importante para la exposición humana. - Parece posible la aplicación de medidas que reduzcan la contaminación de los alimentos.	EUR16531
ECP-6	Dosimetría biológica de las personas expuestas	- Ensayo de un nuevo método de análisis del daño cromosómico en linfocitos. - Necesidad de desarrollo adicional para poder estandarizar el método.	EUR16532
ECP-7	Investigación epidemiológica, incluyendo evaluación y reconstrucción de dosis	- Control sanitario epidemiológico de la población, incluyendo los liquidadores. - No hay incremento en la aparición de leucemia. - Existe capacidad para efectuar un seguimiento epidemiológico riguroso (registros de cáncer, estudios de la población)	EUR16537
ECP-8	Caracterización molecular, celular y biológica del cáncer infantil de tiroides	- Existe una gran incidencia del cáncer de tiroides infantil en las zonas próximas a Chernobil, afectando a niños que eran pequeños en el momento del accidente, pero no a los nacidos con posterioridad. - La causa más probable es la incorporación de yodo durante el accidente, y no persiste en el ambiente.	EUR16538
ECP-9	Transferencia de radionucleidos a ganado, comparación para diferentes sistemas agrícolas y contramedidas	- El consumo de productos naturales, sobre todo setas, es un importante factor para la incorporación de cesio por la población. - Se pueden aplicar medidas eficaces para reducir la transferencia de cesio a la leche. - También resulta eficaz la orientación a la población sobre hábitos alimenticios.	EUR16539
ECP-10	Dosimetría retrospectiva y reconstrucción de dosis	- Para evaluar los efectos sanitarios, es preciso conocer las dosis recibidas durante el accidente. - Aunque se requiere desarrollo experimental adicional, la reconstrucción dosimétrica es factible.	EUR16540
JSP-1	Sistemas de apoyo a la decisión en tiempo real para la gestión de emergencias en caso de accidente nuclear	- Apoyo a la gestión y evaluación en cualquier futuro accidente, aplicable a toda Europa - Desarrollo de la versión piloto del sistema RODOS, y su integración en las estructuras de emergencia de Bielorrusia, Rusia y Ucrania. Establecimiento de una red RODOS.	EUR16533
JSP-2	Sistemas de apoyo a la decisión para la gestión de situaciones post-accidentales	- Estudio de estrategias y sistemas que permiten considerar beneficios radiológicos junto a otros impactos sociales e individuales de la aplicación de medidas de protección, de cara a su optimización.	EUR16534
JSP-3	Tratamiento a víctimas de accidentes nucleares	- Mejora de diagnóstico y tratamiento en caso de elevada irradiación del sistema celular sanguíneo y piel. - Se han descubierto nuevos procedimientos terapeúticos para los fuertemente irradiados.	EUR16535
JSP-4	Desarrollo de tratamientos y medidas preventivas para el cáncer infantil de tiriodes radioinducido	- Avances significativos en el conocimiento de los procesos de aparición del cáncer tiroideo en niños. - Se está evaluando el impacto de la deficiencia natural en yodo sobre la aparición del cáncer. - Se obtendrán conclusiones relevantes sobre el uso profiláctico del yodo estable en caso de accidente.	EUR16536
JSP-5	Análisis de vías de exposición y distribución de la dosis	- Desarrollo y validación de modelos para estimación de dosis externas e internas, aplicación a localidades contaminadas. - Exposición externa: grupos críticos son los trabajadores agrícolas y forestales habitando casas de madera. - Exposición interna: el consumo de alimentos supone la mayor contribución a la dosis del conjunto de la población. Los mayores niveles de cesio se dan en personas con un alto consumo de productos locales (setas, leche).	EUR16541
JSP-6	Atlas de contaminación de cesio en Europa tras el accidente de Chernobil	- Mapas generales y de detalle, a partir de los datos suministrados por las autoridades radiológicas de más de 30 países. - Estimación del término fuente (cantidad liberada durante el accidente) de cesio.	EUR16542

(*) ECP, Experimental Collaborative Project (Proyecto de Colaboración Experimental).
JSP, Joint Study Project (Proyecto de Estudio Conjunto).

de colaboración que mayores frutos han dado ha sido el desarrollado entre la Unión Europea (UE) y las tres repúblicas de Rusia, Bielorrusia y Ucrania, cuyos resultados han sido presentados muy recientemente en la *Primera Conferencia Internacional de la Comisión Europea, Bielorrusia, la Federación Rusa y Ucrania sobre las Consecuencias Radiológicas del Accidente de Chernobil*[1] [1]. En este artículo se trata de resumir lo más destacado de dicha conferencia, en la cual se ha ofrecido, de forma muy abierta, la información actualizada y contrastada que emerge de los proyectos de investigación recién concluidos.

Para empezar, se hace una descripción del programa de colaboración UE/CEI, que actualmente supone una extraordinaria fuente de información científica sobre las consecuencias de Chernobil, continuado después con sendos apartados dedicados a los resultados particulares del mismo en cada una de las áreas cubiertas: aspectos ambientales y ecológicos; población afectada y exposición recibida; efectos a la salud sobre los distintos grupos de víctimas del accidente, *liquidadores*, habitantes de las zonas más contaminadas y, en especial, la aparición de cánceres de tiroides en

[1] Celebrada en Minsk, capital de Bielorrusia, del 18 al 22 de marzo de 1996, con la participación de unos 700 congresistas de 38 países y organizaciones internacionales, incluyendo 24 periodistas acreditados.



F I - *Versión provisional del mapa de deposición total de Cesio-137 tomada de la ref.[9].*
Las cifras de la leyenda indican la deposición total de Cs-137 (incluyendo el poso radiactivo de los ensayos de bombas en la atmósfera, Chernobil, etc) en kBq/m², normalizada al 10 de mayo de 1986.

niños; medidas de protección y gestión de territorios contaminados, su eficacia y su impacto económico; terminando por extraer conclusiones útiles de cara a la gestión de posibles emergencias futuras.

EL PROGRAMA DE COLABORACIÓN UE/CEI (1991-1995) SOBRE LAS CONSECUENCIAS DEL ACCIDENTE DE CHERNOBIL

Las consecuencias del accidente de Chernobil comenzaron a ser objeto de especial atención para el Programa de Investigación en Radioprotección de la Comisión Europea justo después de ocurrir el mismo, de forma que dentro del programa 1985-89 se introdujeron modificaciones que permitieron desarrollar 10 proyectos multinacionales para evaluar y mitigar las consecuencias a corto plazo del accidente dentro de la Comunidad, siendo publicados sus resultados en 1990 [2]. Con posterioridad, gracias a una partida presupuestaria especialmente aprobada por el Parlamento Europeo, se han podido desarrollar 16 proyectos de colaboración que han implicado la participación de 80 organizaciones de Europa Occidental y otras 120 de los tres países afectados, con un presupuesto total del orden de los 50 Millones de ECU (aproximadamente 8.000 millones de pesetas), de los que 20 MECU procedieron de la Comisión Europea y los 30 MECU restantes de las organizaciones participantes. En cada proyecto se formaron grupos de trabajo que implicaban a institutos de la UE y de cada una de las tres repúblicas.

Los objetivos fundamentales del programa de colaboración UE/CEI fueron los siguientes:

- Mejorar el conocimiento sobre la relación entre la dosis y los daños radioinducidos a la salud.
- Actualizar los medios de respuesta ante emergencias, tanto a corto como a medio plazo, en el caso de posibles futuros accidentes nucleares.
- Ayudar a los ministerios respectivos en los países de la CEI en el alivio de las consecuencias del accidente de Chernobil, en especial en lo relativo a la recuperación de territorios contaminados.
- Elaborar las bases científicas para definir los programas de ayuda de la UE.
- Mejorar y actualizar la infraestructura técnica local, y establecer un amplio programa de intercambio de científicos entre ambas Comunidades supranacionales.

Dentro del programa, los proyectos de investigación han cubierto una variada temática, abarcando la transferencia del material radiactivo a través del medio ambiente y de las cadenas alimenticias, el estudio de estrategias de descontaminación y medidas de restauración, la aparición de daños a la salud como consecuencia del accidente, así como el desarrollo de procedimientos y sistemas de apoyo a la gestión de emergencias que permitan mejorar la respuesta general frente a posibles futuros accidentes. Un resumen en forma esquemática de los temas y principales logros de cada proyecto se incluye en la Tabla I. Todos ellos fueron presentados en detalle durante la conferencia de Minsk, y seguidamente se exponen algunas de las conclusiones que revisten un interés más general en este décimo aniversario del accidente.

EXTENSIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y ASPECTOS AMBIENTALES

Como consecuencia de la gravedad del accidente, de la situación metorológica

T II

Áreas contaminadas por Cs-137 en Europa (poso radiactivo de las pruebas atmosféricas de bombas + Chernobil) y su distribución porcentual por países [3]

Depósito de Cs-137 (Intervalos en kBq/m2)(*)	área (x1000 km²)	% del terrritorio 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
			Rumanía	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

(*) La contaminación por radionucleidos naturales (pertenecientes a las series del torio y el uranio) de un suelo típico oscila en torno a los 90 kilobecquerel (abreviadamente kBq) por metro cuadrado.

ca 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 I). 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 yodo-131 (I-131, con un período de semidesintegración de 8 días), el teluro-132 (Te-132, 3,2 días) y cesio-137 (Cs-137, de vida larga, período de casi 30 años) se dispersaron hasta zonas distantes miles de kilómetros, y prácticamente toda Europa resultó alcanzada por el aire contaminado. Sin 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 15% (unos $7{,}8 \times 10^{16}$ Bq, de los que la mitad quedaron en el territorio de la antigua URSS [3]. Otros productos menos volátiles, como el estroncio-90 (Sr-90, período de 29 años), se liberaron en cantidades inferiores, y se depositaron predominantemente en la zona próxima. El I-131 fue causante de las máximas dosis durante el período inicial, pero por el contrario, el Cs-137 contribuye al 75-90% de las dosis en el período de 1 a 50 años tras el accidente. Dada su importancia a largo plazo, el proyecto JSP-6 ha tenido como objetivo la preparación de un atlas de la contaminación por Cs-137 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 I muestra el mapa provisional de la cantidad total de Cs-137 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 II. 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%.

La presencia de estas cantidades de cesio depositado ha motivado el desarrollo de estudios en profundidad sobre su evolución en los diferentes entornos ambientales, como se deduce de la lista de proyectos enunciada en la Tabla I. Se han producido avances sustanciales, aunque la complejidad de la situación hace que aún se deba proseguir, tratando de reducir las incertidumbres sobre el comportamiento a largo plazo y la posible recuperación socio-económica de los suelos y áreas contaminados.

La radioecología, que antes de Chernobil se concebía meramente como disciplina científica que estudiaba las interacciones entre los radionucleidos y la ecosfera, se ha visto enfrentada a un problema real de gran magnitud que obliga a incluir como objetivo principal la aplicación de esos conocimientos a la mitigación de las consecuencias de la contaminación ambiental, desde el punto de vista de la protección al hombre. Si bien los detalles técnicos exceden claramente los objetivos de este resumen, se pueden enunciar escuetamente algunas conclusiones de interés práctico alcanzadas en los diferentes proyectos de investigación:

- La eficiencia de las técnicas basadas en la fertilización, para reducir la incorporación de cesio a las plantas, y en definitiva a la cadena alimenticia, depende mucho del tipo de suelo y de sus condiciones. Aun cabe realizar un análisis más profundo de los datos recogidos, verificando su validez estadística, para establecer correlaciones significativas.
- La estructura económica de los países afectados es diferente a la de Europa Occidental, con predominio de alimentos procedentes de las llamadas granjas colectivas. Sin embargo, a nivel local, la población rural mantiene cultivos familiares y consume

T III

Distribución de los niveles de dosis de radiación entre las poblaciones expuestas como resultado del accidente de Chernobil [4]

Grupo de población expuesto	Tamaño aproximado (nº de personas)	Tipo de exposición	Nivel de exposición[1]
Evacuados de la zona zona de 30 km	135.000	Radiación gamma Cuerpo entero	rango 50 500 mSv promedio 120 mSv
		Tiroides, I-131, niños	rango 0,1 2,5 Gy promedio 0,3 Gy
Habitantes ZEC[2]	270.000	CDEE[3] por radiación	0,3% > 200 mSv 4% > 100 mSv promedio 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[3] total	promedio 6-7 mSv

[1] La dosis expresada en Gray (Gy) mide la energía absorbida por unidad de masa.
La dosis expresada en miliSievert (abreviadamente mSv) indica, de manera promediada con respecto a su potencialidad para causar daños biológicos, la cantidad de energía que la radiación deposita en un determinado tejido del organismo (osis equivalente) o en el conjunto del mismo (dosis equivalente efectiva). Como cifras indicativas, la dosis media recibida en España por causas naturales es de unos 3,5 miliSievert al año, en una radiografía de torax se reciben 0,2 miliSievert, y el límite establecido para los 1000 miliSievert = 1 Sievert, escrito abreviadamente como Sv.
[2] ZCE, Zonas bajo Control Estricto, las áreas con una contaminación mayor que 1480 kBq/m².
[3] CDEE, Compromiso (la suma durante 50 años) de Dosis Equivalente Efectiva.

T IV
Importancia relativa (en %) sobre la dosis individual y colectiva del consumo de alimentos procedentes de diferentes ecosistemas y sistemas agrícolas en estudios sobre emplazamientos concretos de Rusia y Ucrania [7]

		Ecosistemas agrícolas		Ecosistemas seminaturales	
		Granjas Colectivas	Granjas Privadas	Granjas Privadas	Alimentos Naturales
Dosis Individual	Rusia,1987 (1 año después de la deposición)	5%	47%	39%	8%
	Rusia, 1995 (9 años después de la deposición)	17%	22%	-	61%
	Ucrania, 1995	17%	48%	-	35%
	Rusia, 1995 (con prácticas agrícolas tradicionales)	5%	50%	-	45%
	Rusia, 1995 (con pocas contramedidas sobre los pastos naturales)	7%	31%	17%	45%
	Ucrania, 1995 (con pocas contramedidas sobre los pastos naturales)	17%	32%	16%	35%
Dosis Colectiva	Rusia, 1995	74%	2%	-	25%
	Ucrania, 1995	76%	16%	-	8%

productos de los bosques, lo que produce en ocasiones niveles de dosis muy superiores a la media, en especial si el consumo de setas es grande.
- Se ha aprendido a predecir y mitigar los riesgos de las inundaciones de la zona de Chernobil en la época de deshielo, que producen una redistribución de los contaminantes y su transporte a zonas lejanas.
- Se ha estudiado la evolución al cabo de los años de los contaminantes depositados en zonas urbanas y se ha elaborado un catálogo de técnicas útiles para su descontaminación, indicando las más eficaces desde el punto de vista de la reducción de la dosis por exposición externa.

Con todo, la complejidad de la situación, que se intuye con solo mirar en los mapas de contaminación, obliga a buscar soluciones basadas en un tratamiento científico integrado de todo el ecosistema, que incluya las zonas urbanas, los terrenos agrícolas o forestales y las masas de agua, junto con la utilización por el hombre de los diferentes recursos, de cara a minimizar el impacto radiológico sobre la población sin renunciar a la utilización socio-económica del entorno.

EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN Y DOSIS DE RADIACIÓN

La estimación de las dosis recibidas por la población se resume en la Tabla III, 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 km, el de los habitantes de las llamadas Zonas bajo Control Estricto (ZCE), que son las que alcanzaron una contaminación por encima de los 1480 kBq/m², 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 Grays[2], 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 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 [4, 5], 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.

Vías de Exposición

Desde el punto de vista de la exposición a largo plazo y de la contribución de las distintas vías de exposición, cabe decir que la exposición externa producida por la nube radiactiva resulta insignificante en comparación con la producida por los radionucleidos depositados: según datos medidos, resulta menor del 10% de la dosis recibida durante el primer año [6]. La contribución de la inhalación inicial durante el paso de la nube y del material resuspendido es también insignificante para deposición por lluvia, si se compara con la ingestión de isótopos de yodo, cesio y estroncio. Sin emabrgo, en los primeros meses tras el accidente resulta necesario tener en cuenta la exposición externa de la piel por emisores beta de alta energía (Ru/Rh-106, Ce/Pr-144, Te/I-132), siendo menos importante este factor a medida que los radionucleidos desaparecen por desintegración y van penetrando en el suelo.

Con respecto a la exposición interna, en el primer mes tras el accidente el factor dominante fue la incorporación de I-131, especialmente para los niños a través de la leche. Posteriormente, la exposición interna de la población aparece dominada, como ya se ha indicado con anterioridad, por los isótopos del cesio y, en particular, por el Cs-137. Su incorporación al organismo durante los primeros meses viene determinada fundamentalmente por la contaminación superficial del entorno, estando influenciada posteriormente por las propiedades locales de los suelos y por el tiempo transcurrido.

La importancia que, dentro de la exposición por ingestión, tiene cada entorno agrícola, puede observarse en la Tabla IV, que resume, para dos estudios en Ucrania y Rusia [7], la contribución de los alimentos procedentes de la agricultura colectiva y privada, así como de los producidos en entornos seminaturales o naturales que, en ocasiones, pueden llegar a suponer la fracción más importante de la dosis.

Con respecto a la exposición por las vías que proceden de la contaminación del agua (ingestión de agua, uso del agua para regadíos, consumo de peces, etc.), el problema se concentra

[2] 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 terapeúticos en casos de transtornos de tiroides en los que se precisa destruir parte de los tejidos, suelen oscilar en torno a los 50 Gy.

fundamentalmente en la cuenca del río Dnieper, de cuyas aguas hace uso un total de 32,5 millones de personas (8,1 millones como agua de bebida, existiendo 1.871.000 ha de regadío). La inundación primaveral de la zona próxima a Chernobil hace que pasen cantidades significativas de Cs-137 y Sr-90 a las aguas, que alcanzan zonas relativamente limpias. Junto con el agua de bebida, la vía más crítica es el consumo de verduras regadas con esas aguas, así como de leche y productos lácteos.

Como se observa, de cara a estimar las dosis que cabe recibir en el futuro en las áreas contaminadas, aspecto fundamental para una correcta gestión de la complicada situación, se hace necesario disponer de modelos adaptables a las peculiaridades físicas locales. De ese tipo de modelos se han preparado desarrollos muy notables, bajo la forma de sistemas de apoyo a la decisión para la aplicación de las medidas de recuperación, los cuales fueron objeto de diferentes presentaciones y demostraciones durante la Conferencia.

EFECTOS SOBRE LA SALUD

Víctimas inmediatas

Datos confirmados [18] indican que había 444 personas en el emplazamiento en el momento del accidente (176 miembros del equipo de la central y 268 de empresas que construían el 5º reactor), a los que se unieron rápidamente los bomberos.

Operarios y fundamentalmente los bomberos sufrieron una irradiación externa de cuerpo entero junto con la inhalación de los gases y aerosoles liberados desde el reactor destruido, y algunos de ellos, una exposición de la piel a las partículas depositadas sobre la ropa y sobre las partes descubiertas del cuerpo, lo que les produjo graves quemaduras.

El número total de víctimas mortales inmediatas se elevó a 31, tres en las primeras horas (una atrapada entre los escombros del reactor, otra por ataque cardíaco y otra por graves quemaduras) y el resto falleció en los días y semanas siguientes, víctimas de la radiación recibida en los primeros momentos del accidente.

Concretamente 237 personas sufrieron daños por radiación en mayor o menor medida, con síntomas claros (vómitos, diarrea y enrojecimiento de la piel) más o menos inmediatos, según la dosis recibida. De ellas 200 fueron internadas en las primeras 24 horas. De las 21 que más dosis recibieron, ente 6 y 16 Sievert, sólo sobrevivió una. De las 21 que estaban alrededor de la dosis mortal, entre 4 y 6 Sv, fallecieron 7, mientras que de las 195 por debajo de 4 Sv. sólo hubo un fallecimiento. Se registró un claro fracaso de la técnica de transplante de médula, la cual se aplicó a 13 de las víctimas pues sólo dos casos sobrevivieron [19].

Estos 28 fallecimientos causados por la radiación se produjeron a lo largo de los dos primeros meses tras el accidente. En los años siguiente falleció un piloto de helicóptero y siete bomberos más, achacándose su muerte en todos los casos a las secuelas del propio accidente.

Los liquidadores

Se ha acuñado el término "liquidadores" para referirse a todas las personas que, directa o indirectamente, tuvieron relación con las operaciones de recuperación. Este colectivo, estuvo formado por militares y por trabajadores contratados expresamente y su número se encuentra muy discutido, dándose como más probable el de 600.000 [4].

Las autoridades de salud de Ucrania dijeron en 1992, que unos 8000 de entre los 180.000 que estas autoridades controlaban, habían fallecido hasta esa fecha de muerte natural, es decir por todas las causas, pero ello fue interpretado erróneamente y la prensa comenzó a achacar esas víctimas al propio accidente.

La intensidad de la radiación en el reactor accidentado era tan elevada durante las primeras tareas de recuperación, que ésto obligó a limitar el tiempo de permanencia de cada trabajador a períodos muy breves, en algunos casos de tan solo 90 segundos, a fin de no superar la dosis aceptada internacionalmente en casos de emergencia, fijada en 250 mSv, si bien como se aprecia en la Tabla III, en un 8% se superó este límite.

El número de ciudadanos bielorrusos registrados como liquidadores es más de 63.000, pero sólo se conoce la zona y el tiempo de trabajo de 45.674, que es a lo que se limitan los estudios epidemiológicos. Su edad media era de 31.3 años en el momento del accidente, con un 53% por debajo de 30 años y un 16% por encima de 40 años.

Para ilustrar las dificultades de determinar con exactitud el estado de salud relativo de este colectivo y los errores en que puede caerse con un tratamiento no cuidadoso de los datos de incidencia de enfermedades, se presentan en la Tabla V, las tasas crudas de aparición de enfermedades, es decir sin tener en cuenta la distribución de edades y sexo del colectivo. Se aprecian valores mucho más altos de las tasas de enfermos por 100.000 habitantes. Hay que considerar también que en ese momento, 1994, la edad media del colectivo de liquidadores era ya de 40 años y que el número de ellos con edad superior a 50 años era del 15%. Esta falta de normalización se debe a que en la incidencia de enfermedades en general no se mantiene un registro centralizado de la edad, sino que los centros locales de atención dan sólo los datos brutos de morbilidad al registro central [10].

En cambio para la incidencia de cáncer, existe desde 1973 un registro centralizado de cáncer que permite normalizar las tasas de incidencia para comparar valores homogéneos. Cuando las tasas de incidencia de cánceres de todos los tipos se normalizan con la distribución de edad y sexo del colectivo, se obtienen los resultados de la Tabla VI, en los que se comparan los casos reales frente a los esperables en una población de tales características. Se aprecia que la incidencia del cáncer es menor entre los liquidadores que entre la población en general, tanto en hombres como en mujeres, aunque sólo para los hombres esta diferencia es significativa en términos estadísticos. En cambio para los hombres se aprecia un incremento significativo del cáncer de vejiga e incrementos no significativos para cáncer de colon, tiroides y leucemia. Entre las mujeres la significación es aún menor por el reducido número de casos [10]

T V
Incidencia cruda de enfermedades, sin normalizar por edad y sexo, entre los liquidadores y comparada con la correspondiente a la población en general de Bielorrusia [10]

	Año 1994 Tasa por 100.000	
	Liquidad.	Población
Sistemas endocrino, metabólico e inmune	2862	668
Glándula tiroides	391	391
Diabetes	313	95
Desórdenes mentales	2439	1099
Aparato circulatorio	5975	1646
Sistema digestivo	6411	1889
Cataratas	420	146

T VI
Incidencia de cánceres, una vez normalizada por edad y sexo, entre los liquidadores. Valores reales y esperables para ese colectivo [10]

		Hombres		Mujer	
		Observado	Esperado	Observado	Esperado
Tipo de cáncer y clave médica	Estómago (151)	19	12.1	1	12.5
	Colon (153)	11	6.8	1	1.2
	Pulmón (162)	33	51.0	0	0.7
	Piel (173)	5	10.5	3	2.3
	Vejiga (188)	15	6.9	0	0.2
	Riñon (189)	8	8.2	2	0.9
	Tiroides (193)	4	1.7	5	1.33
	Leucemia (204-208)	12	6.5	0	0.8
	Mama (174)	0	0	4	7.4

En otro estudio referido específicamente a la incidencia de leucemia y limfomas se indica que no se exceden las tasas esperadas para cualquier otra población bielorrusa, aunque se detecta en los últimos años un cierto aumento que habría que confirmar [12].

En Rusia el número de personas incluidas en el antiguo Registro Chernobil (desde 1992, Registro Nacional Ruso Médico y Dosimétrico, RNMDR en inglés) ha ido creciendo desde 52.708 en 1986 hasta 435.276 en 1995. Entre éstas se incluyen 152.325 liquidadores, 12.889 evacuados, 251.246 habitantes actuales de zonas contaminadas y 18.816 hijos nacidos de los liquidadores. De entre los liquidadores está en estudio actualmente un total de 143.032, para los cuales se dispone de edad, fecha de llegada a la zona de exclusión y estancia en dicha zona, además de no haber sido diagnosticados de cáncer previamente. Se dispone de registro dosimétrico del 80% de ellos, con unos 17.000 de ellos habiendo recibido dosis externas superiores a 0,2 Gy [11].

Como en el caso de Bielorrusia, las tasas de enfermedad no se pueden normalizar por lo que no pueden extraerse conclusiones claras de la mayor incidencia detectada, 50%, en todas las enfermedades, pero si es significativa la incidencia diez veces mayor de los desórdenes mentales y 20 veces mayor de las afecciones endocrinas. Se reconoce que no es comparable la calidad del seguimiento médico de los liquidadores, para los que se dedican los mejores medios y especialistas con la del resto de la Federación. también es importante considerar algo que es reconocido de forma general y es que en los estudios epidemiológicos se produce un efecto de incremento en la incidencia de la enfermedad buscada

En cuanto a la incidencia de cáncer se ha comprobado que aumenta con la edad y con la dosis recibida, siendo mayor para los trabajadoes que intervinieron en el primer año. De entre los 143.032 se han registrado 1.026 cánceres y 341 fallecimientos debidos a ellos. En cuanto a la leucemia, se han detectado 58 casos en este colectivo, de los cuales 48 entre aquellos que estuvieron en Chernobil el primer año [11]. Esto supone una tasa de mortalidad de $30/10^5$ año, lo cual no aporta información útil dado que el simple envejecimiento hace pasar la tasa de mortalidad por cáncer en España de 16/105año a los 33 años a 68/105año a los 43 años [20].

En Ucrania hay unos 300.000 residentes que participaron en las tareas de recuperación y actualmente se hace seguimiento médico de 174.812 de ellos. La gran mayoría eran hombres y un 80% tenían edades comprendidas entre 20 y 39 años. Más del 77% participó en los trabajos durante los años 1986 y 87, que es cuando más dosis se recibió (un 31% recibió más de 0.10 Gy esos años frente a sólo un 1.5% en los años siguientes) [13].

Se tiene una incidencia de enfermedades muy elevada entre estos liquidadores, pero no se han podido establecer conclusiones claras sobre la causa directa de esta mayor morbilidad y el papel de las causas psicosomáticas, aunque si es significativa la relación con la dosis, especialmente en los que recibieron más de 0.25Gy.

La aparición de leucemias es de 13.4 por 100.000 para los liquidadores que trabajaron en la primera fase de recuperación, frente a 7 por 100.000 en los que trabajaron en el año 1987 y siguientes, valor también equivalente al de España para la población en general [20]. Sin embargo se reconoce que la mortalidad es inferior a un colectivo no afectado de edad similar. La principal conclusión es que hay que seguir investigando en el seguimiento de este colectivo [13].

Los efectos del accidente sobre la salud de la población

En los primeros días tras el accidente, la zona de 30 kilómetros de radio que rodea a la central fue evacuada, incluyendo las ciudades de Pripyat, con unos 45.000 habitantes, Chernobil, Novo-Sepelichi, Zimovische, etc. El total de personas se evalúa entre 116.000 y 135.000. Posteriormente se realizaron nuevas evacuaciones selectivas, según se comenta más adelante. Fuentes ucranias afirman que de las 165.000 a 200.000 personas que vivían en esta zona, un 20% recibieron dosis de más de 10 mSv.La mayoría de estos evacuados fueron alojados en apartamentos de la ciudad de Kiev.

Como se indicó anteriormente, se ha podido establecer con seguridad que las dosis producidas durante los meses posteriores al accidente son una fracción pequeña de las dosis totales a que dará lugar la contaminación superficial del suelo durante un periodo de tiempo que se puede estimar en varias decenas de años.

En cualquier caso es difícil dar una cifra estimativa del número de personas que puede considerarse afectado, debido sobre todo a que no se ha aceptado ninguna dosis umbral para poder discriminar si una población ha sido afectada o no.

Las fuentes oficiales ucranias hablan de un registro de 1,5 millones de personas, incluyendo los evacuados y los que viven en zonas sensiblemente contaminadas. En Rusia se habla de compensar económicamente a 1,3 millones de habitantes de 15 regiones contaminadas. En Bielorrusia se habla de 2 millones de personas en zonas contaminadas, incluyendo 800.000 niños. Estas cifras hacen un total de 5 millones de personas afectadas de una u otra forma en las tres repúblicas.

A este respecto cabe indicar que según los datos más recientes y contrastados, una población del orden de 4 ó 5 millones de habitantes viven en regiones con una contaminación superior a 37 KBq/m^2 de CS-137 y de ellos más de 270.000 viven en zonas contaminadas con más de 555 KBq/m^2 de Cs-137, la Tabla VII recoge un resumen de la distribución dosimétrica de estos últimos.

Estos números indican por si solos la magnitud del problema sanitario que originó el accidente. El conocimiento real de los efectos derivados del accidente requerían un esfuerzo técnico y económico que un pais por si solo no podía abordarlo sin recurrir al apoyo de la comunidad internacional.

Conscientes de esta circunstancias, las Repúblicas afectadas y las principales Organizaciones Internacionales establecieron varios acuerdos de colaboración que han permitido avanzar en el conocimiento de la magnitud real de las consecuencias sanitarias del accidente y en el desarrollo y la aplicación de medidas sanitarias específicas para la situación generada.

Las Autoridades Sanitarias de la Federación Rusa, Bielorrusia y Ucrania iniciaron inmediatamente después del accidente sendos programas de carácter muy amplio para el seguimiento sanitario de la población afectada por el accidente. El espectro de actividades desarrolladas ha sido muy variado y desde el principio ha tropezado con numerosas dificultades que tenido gran incidencia en la valoración real de las consecuencias del accidente.

Entre las dificultades con las que se han encontrado las autoridades sanitarias de las tres Repúblicas caben destacarse:

- La situación económica y social de las zonas afectadas configuran un escenario muy precario desde el punto de vista sanitario lo cual que dificulta la discriminación entre las consecuencias sanitarias del accidente y las derivados de la situación previa a éste.
- Los registros sanitarios de la antigua Unión Soviética, y especialmente los registros sobre la incidencia de cáncer, que se establecieron en los primeros años cincuenta no estuvieron sistematizados has bien entrados los años setenta y en general eran poco detallados y poco operativos, lo cual introduce una dificultad de índole técnica adicional a la hora de valorar realmente la situación originada por el accidente.

T VII
Distribución de dosisentre las personas que habitan las zonas contaminadas [19]

Dosis total (mSv)	Exposición externa (Nº de personas)	Exposición total (Nº de personas)
5-20	132.000	88.000
20-50	111.000	132.000
50-100	24.000	44.000
100-150	2.800	6.900
150-200	530	1500
>200	120	670

La crisis política de la URSS y la situación económica derivada en las tres Repúblicas ha complicado también la situación debido en parte a que los datos de campo necesarios para realizar los estudios técnicos se encuentran repartidos en varios centros situados en paises diferentes.

La actitud de gran parte de los medios de comunicación que han relacionado con el accidente cualquier dato sobre la situación sanitaria de la región, sin el menor rigor científico pero con un enorme impacto psicológico sobre la población, ha dado lugar a que ésta desconfíe de las autoridades sanitarias y atribuya cualquier enfermedad, muerte, etc. al accidente.

Por su parte, la colaboración internacional ha tenido varios foros entre los que caben destacarse los siguientes:

• La colaboración de la Unión Europea en el marco de su Programa Marco de Investigación en Radioprotección, en el que se han desarrollado los proyectos identificados en la Tabla 1 como : ECP-6, ECP-7, ECP-8, JSP-3 y JSP-4.

• El Proyecto IPHECA de la OMS cuyos objetivos se centraron en los siguientes proyectos:

(Referencia: G. Souchkevitch. WHO-IPHECA: Epidemiological aspect. The radiological Consequences of the Chernobil Accident. EUR 16544 EN, marzo 1996)

- Proyecto Hematología, orientado a la detección y tratamientos de leucemias y enfermedades relacionadas
- Proyecto Tiroides
- Proyecto Daño Cerebral In Útero, orientado al estudio de los posibles daños cerebrales sufridos por niños engendrados en fechas próximas al accidente.
- Proyecto Epidemiología, orientado a establecer registros sanitarios en las repúblicas afectadas que permitan un seguimiento real de las consecuencias del accidente y faciliten su tratamiento específico
- Proyecto Salud Bucal, desarrollado específicamente en Bielorrusia y cuyo objetivo era el estudio especial de la salud bucal en este pais y su posible relación con la vida en las regiones más contaminadas.

• La colaboración entre la CIS y los Estados Unidos que entre otras cuestiones ha dedicado un gran esfuerzo al desarrollo y aplicación técnicas para la reconstrucción de dosis especialmente orientado a las dosis producidas en las fechas inmediatamente posteriores al accidente que son de gran importancia no solo por los niveles de dosis producidas sino también, porque previsiblemente durante esos días, en algunas zonas, las tasa de dosis alcanzaron valores muy elevados lo cual podría tener gran importancia en la salud de la población afectada.

Este esfuerzo, que continúa en la actualidad y previsiblemente continuará en el futuro, ha proporcionado resultados en el campo del conocimiento de la situación generada, de forma que en el momento actual es posible establecer algunas afirmaciones concretas, entre las que pueden destacarse:

No se ha detectado ningún caso de síndrome de irradiación aguda entre la población.

La principal consecuencia del accidente de Chernobil sobre la salud de la población detectada hasta el momento, ha sido el incremento de la incidencia del cáncer de tiroides en la población que se encontraba en la edad infantil cuando se produjo aquel.

No se ha observado ningún diferencia significativa en la aparición de anomalías fetales y trastornos hereditarios entre los niños nacidos en la población que vive en las zonas contaminadas y las localidades de control(18).

No se ha observado ninguna diferencia en la incidencia de las enfermedades relacionadas conla radiación, tales como leucemias, entre la población que habita en las zonas contaminadas y los grupos de control.

Los estudios sobre la salud de la población afectada por el accidente han puesto de manifiesto la aparición de múltiples trastornos sanitarios, que aunque no tienen un tienen carácter radioinducido, suelen ser relacionados con la radiación en parte, debido a la sensibilidad social existente en la zona y en parte, por los posible beneficios sociales a los que pueden acogerse las víctimas del accidente.

El seguimiento de las consecuencias sanitarias del accidente de Chernobil ha puesto de manifiesto que queda mucho por conocer sobre los efectos del accidente sobre la salud de la población que no están directamente relacionados con la radiación.

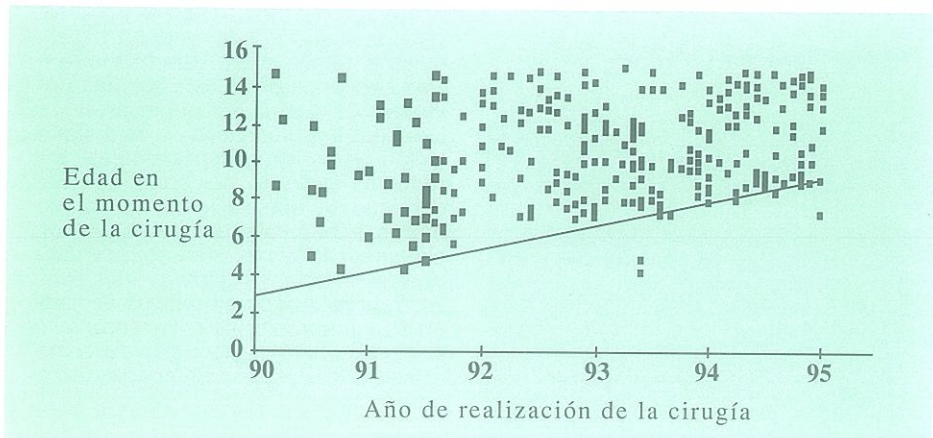
Cáncer de tiroides en niños

El espectacular aumento de la incidencia del cáncer de tiroides en los niños de Bielorrusia y especialmente en las regiones de Gomel y Brest es el efecto sobre la salud más contundente de todos los encontrados en las zonas afectadas. En los nueve años anteriores al accidente sólo se trataron Minsk cinco casos de cáncer de tiroides infantil, mientras que después del accidente el número de casos se ha elevado dramáticamente pasando a 7 por año hasta 1989, 29 en 1990, 59 en 1991, 66 en 1992, 79 en 1993, 82 en 1994, y sigue ascendiendo con 57 en los 7 primeros meses de 1995. El total acumulado hasta Julio de 1995 en Bielorrusia es de 390 casos [14]. Esto supone un aumento de cien veces en la incidencia del cáncer de tiroides infantil respecto a la tasa natural y permite relacionarlo con el accidente ya que su incidencia natural es muy reducida (0,1 casos por 100.000 habitantes y año).

Casi todos los niños afectados nacieron antes del accidente. Las edades más frecuentes van de 0 a 4 años en el momento del accidente, no produciendose más que 4 casos nacidos más tarde [14], confirmando así al Iodo 131 como causante directo. En el 95% de los casos es de tipo papilar con una incidencia 50% superior en niñas que en niños. Todos los niños han sido operados mostrando tumores de pequeño tamaño, T1 a T2 (clasificación TNM de tumores en función de Tamaño, afectación de Nódulos linfáticos y Metástasis) pero muy invasores (correspondiente a T4). En general la extirpación ha sido total salvo en casos T1N0M0 muy claros en que se ha tratado de evitar la necesaria medicación de por vida y se ha optado por una extirpación parcial. En 32% de los casos había invasión de ganglios linfáticos a ambos lados del cuello. En el corto periodo de seguimiento se han producido recidivas en un 3% y metástasis en ganglios en un 16% de los casos. Todos ellos han sido reoperados. No se ha producido ningún fallecimiento hasta ahora [14]. La esperanza de vida de estos niños no es mala según la experiencia de la Clínica Mayo dado que incluso para los que presentan metástasis en pulmón la mortalidad esperada es de un 3% en 30 años [21].

En lo que respecta a Ucrania, con una población cinco veces superior a la de Bielorrusia, la incidencia media previa al accidente era de 5 casos al año,

F II - *Cáncer de tiroides infantil en Bielorrusia. Enero 1990 a Diciembre 1994.*



disparándose a 26 en 1990, 22 en 1991, 47 en 1992, 43 en 1993 y 39 en 1994. En total, incluyendo adolescentes, se cuentan 59 en 1981-1985 frente a 339 casos en 1986-1994. La morfología indica un 93% de tipo papilar, un 3% de folicular y un 2% de tipo medular. Aunque no se dan datos se confirma un carácter agresivo de estos tumores con invasiones y metástasis frecuentes [15].
En la Federación Rusa, en las regiones afectadas de Briansk y Kaluga, se han detectado 62 casos entre los que eran niños y adolescentes en el momento del accidente. En 19 de estos casos la edad era de 0 a 4 años. La relación de incidencia de niñas a niños es de 2 a 1. La latencia de estos casos ha sido superior al caso de Bielorrusia por lo que en un principio se consideró esta zona favorecida respecto a la vecina Gomel [16].
En un estudio conjunto de todos los casos de cáncer de tiroides infantil se concluye con rotundidad que son las dosis de radiación al tiroides producidas por el lodo 131 en su mayor parte, pero también por los de vida más corta, I132 y I133, haciendose la hipótesis de la recolocación del oncogene "RET" debido a la radiación como la causa directa de la aparición de estos carcinomas. Asimismo se indica el riesgo mayor en aquellos niños menores de un año en el momento del accidente [17]. Se presenta también la Figura II, en la que resulta palpable que todos los casos inducidos por el accidente se encuentran sobre la línea de edad que corresponde a los niños nacidos el año del accidente.Se han detectado también incrementos significativos del cáncer de tiroides en adultos. En el caso de Bielorrusia los casos en adultos han pasado 1131 en 1977-85 a 2907 entre 1986 y 1994, dando medias anuales de 140 justo antes del accidente a más de 500 en los últimos años. Sin embargo esta multiplicación por 5 de la incidencia no es tan clara por el efecto antes mencionado de aumentar la enfermedad que se busca. De hecho nada más suceder el accidente la tasa casi se dobló a pesar de estar todavía en periodo de latencia. Sin embargo parece innegable que se están produciendo unos 300 casos adicionales cada año entre los adultos.
En lo que se refiere a Ucrania, el examen dosimétrico de 150.000 personas llevó a una estimación de 64.000 Sv-persona, llevando a una proyección de 300 casos adicionales. Por otro lado y también para los adultos, en las regiones de Rusia más cercanas a Chernobil se preveen 349 casos adicionales de cáncer de tiroides, lo cual representa un incremento del 3 al 6% sobre la incidencia natural [19].

MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y SU IMPACTO ECONÓMICO

Para tratar de atenuar el impacto radiológico del accidente, las autoridades soviéticas aplicaron todas las medidas que generalmente se consideran eficaces frente a este tipo de accidentes:
- Confinamiento y evacuación temporal de la población, para reducir las dosis externa y por inhalación al paso de la nube radiactiva. Afectando esta última en 1986 a unas 116.000 personas aproximadamente (91.000 en Ucrania, 25.000 en Bielorrusia, 186 en Rusia) [23].
- Profilaxis con yoduro potásico, para disminuir la dosis al tiroides por inhalación e ingestión de yodo. Se aplicó a 5.400.000 personas.
- Traslado y realojamiento de la población, y descontaminación del entorno, para reducir la exposición a la contaminación superficial. Además de los inicialmente evacuados, en 1990 se trasladaron otras 73.000 personas (19.200 de Ucrania, 38.600 de Bielorrusia y 15.200 de Rusia), lo que totaliza unas 189.000 personas. Además, se han descontaminado del orden de 600 poblaciones.
- Control de productos agrícolas y ganaderos, y técnicas agrarias para reducir el paso de los contaminantes al alimento, para aminorar la dosis por ingestión.

Además de lo anterior, también se han observado numerosos movimientos voluntarios de la población, incluyendo abandonos de las zonas menos contaminadas (se citan entre 100.000 y 300.000), así como retornos de familias que fueron anteriormente trasladadas.
La naturaleza y escala sin precedentes del accidente obligaron a las autoridades a reaccionar ante una situación que no se esperaba que ocurriera. Por ello, muchas de las actuaciones iniciales hubieron de ser improvisadas y su análisis resulta difícil. Sí parece ser, hasta donde se ha podido investigar, que la respuesta de las autoridades fue razonable, aunque ciertamente algunas medidas pudieron ser mejores o adoptarse de forma más oportuna, en particular, la evacuación de la ciudad de Pripyat, que pudo adelantarse.
Con respecto a las medidas posteriores, para limitar las dosis por exposición crónica, los criterios en que se sustentó su adopción, la eficacia obtenida con las mismas y su coste son revisados seguidamente.

CRITERIOS RADIOLÓGICOS EMPLEADOS PARA EL TRASLADO DE POBLACIONES(*)

AÑO	CRITERIO	NIVEL
1986	Límite anual de dosis (temporal)	100 mSv/año
1987	idem	30 mSv/año
1988	idem	25 mSv/año
1990	Límite de dosis integrada durante toda la vida	350 mSv
1990	Contaminación superficial (traslado general de la población)	> 40 Ci/km^2
1990	idem (traslado de familias con embarazadas o niños menores de 12 años)	> 15 Ci/km^2

(*) Los niveles inferior y superior recomendados internacionalmente, por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, el Organismo Internacional de Energía Atómica y la Organización Mundial de la Salud, para decidir el traslado de la población después de un accidente eran de 50 y 500 mSv/año respectivamente.

Los criterios seguidos para la adopción de medidas de protección a largo plazo.

Evidentemente, todas las acciones de protección en caso de accidente nuclear tienen un doble efecto, ya que, por un lado, reducen la dosis recibida por las poblaciones afectadas -y con ello los riesgos de efectos tardíos a la salud- y proporcionan una mayor sensación de seguridad a la población, con el consiguiente beneficio psicológico. Pero, por otro lado, además del coste económico que implica su puesta en práctica, suponen una alteración, a veces muy significativa, en las condiciones de vida, lo que también conlleva un coste psicológico importante en cuanto a la tensión y ansiedad generadas por las propias medidas.
Por ello, para su adopción, los organismos internacionales competentes recomiendan establecer un balance entre las ventajas e inconvenientes, estableciéndose generalmente unos *niveles de intervención*, superior e inferior, que, en unidades de dosis, indican si estaría justificado el adoptar o no una medida de protección concreta, desde un punto de vista estrictamente radiológico.
La evaluación de los criterios seguidos para la aplicación de las medidas de protección y de su eficacia fue uno de los objetivos principales del Proyecto Internacional Chernobil [22], poniéndose de manifiesto diferencias entre algunos niveles de intervención empleados por las autoridades soviéticas y los recomendados internacionalmente, en especial para la protección frente a la exposición a largo plazo. En general, se considera que los traslados de población podrían haber sido menos estrictos, considerando la pequeña magnitud del riesgo a evitar frente a la fuerte perturbación que un traslado supone para la vida de las personas afectadas. No obstante, una relajación de

esas medidas, una vez adoptadas, podría ser contraproducente, dada la tensión nerviosa y ansiedad existentes entre los habitantes de las zonas contaminadas. Lo que no estaría justificado, a juicio de los expertos, sería la aplicación de criterios más restrictivos o medidas de protección más intensas que las ya puestas en práctica.

Por otra parte, en la adopción de niveles de intervención, las autoridades soviéticas no ofrecieron una información clara a la población acerca de los riesgos que suponen los niveles de dosis débiles y de las bases en las que se fundamentaron sus decisiones. Esta falta de información, unida al sucesivo cambio de niveles de dosis de intervención (ver tabla), y a la confusión entre tales niveles y los aceptados internacionalmente para limitar la exposición del público por causa de la operación normal de las instalaciones (5 mSv/año), contribuyeron a crear una situación de confusión e inseguridad entre la población.

Eficacia de las medidas de protección y sus consecuencias sociales y económicas

La cautela y conservadurismo de las autoridades a la hora de decidir la amplitud de las zonas afectadas por las diferentes medidas de protección, con el criterio de que la sobreestimación de las dosis futuras iba en beneficio de las poblaciones afectadas, tuvo dos consecuencias negativas importantes: por un lado, al exagerar las posibles consecuencias radiológicas para los habitantes de zonas contaminadas, se aumentó innecesariamente el miedo y la ansiedad de la población; por otro lado, algunos habrán sido trasladados de sus lugares de origen sin necesidad. El límite impuesto (350 mSv en una vida o contaminación mayor de 40 Ci/km^2) es del mismo orden de magnitud o menor que las dosis medias recibidas por el fondo radiactivo presente en la naturaleza. Es por ello que, en opinión de los expertos, el riesgo evitado no hubiera justificado medidas tan radicales como los traslados adoptados en los años 90-91.

Sin embargo, otras medidas, como las técnicas agrarias puestas a punto en las zonas con una contaminación más débil, permiten reducir hasta en un 70% la incorporación de productos radiactivos a los alimentos. Por el contrario, la descontaminación de zonas urbanas, no se ha mostrado muy eficaz, reduciéndose, por término medio, en un 15% la dosis externa [24].

Las estimaciones del coste que estas medidas han supuesto para la ex-URSS rondan entre los 20 y los 40 mil millones de rublos de 1986, equivalentes en la época a una cifra similar de dólares para un país occidental, y que incluirían tanto los costes directos de las medidas de protección (coste de las tierras y perdidas, traslados, nuevas viviendas, descontaminación, coste de alimentos sustitutivos, etc.) como los costes sociales derivados de las pérdidas de producción (descensos en el PIB) por la paralización de la actividad en esas zonas. 10.000 millones de rublos habrían sido el coste en el período 1986-89, y el resto en años posteriores. A este respecto, sobre la efectividad de las medidas de protección, resulta ilustrativo el comentario de los profesores Belyayev y Demin, del Instituto Kurchatov, coincidente con las apreciaciones de los expertos occidentales participantes en el Proyecto Internacional Chernobil, en el sentido de que podrían haberse optimizado, reduciendo la extensión de las zonas sometidas a traslado, continuando con la aplicación de medidas agro-industriales frente a la contaminación de alimentos, y, sobre todo, mejorando las condiciones de atención sanitaria básica. Esta mejora en la atención médica, en particular, al reducir los factores de riesgo primarios a los que se ve sometida la población, *"podría compensar todos los posibles efectos causados por un moderado incremento en la exposición de la población como resultado del accidente de Chernobil"*.

En los aspectos estrictamente económicos de las consecuencias del accidente se destaca el elevado número de personas que está recibiendo compensaciones económicas por ser considerados como víctimas del accidente, 2.700.000 personas en Ucrania, o por ser liquidadores. Unidos a los declarados oficialmente como "inválidos", los cuales se elevan a 30.000 en Ucrania, se llevan más de la mitad del presupuesto del Ministerio para las Consecuencias de Chernobil de Ucrania (del orden de un billón de pesetas).

Agradecimientos. Agradecemos a G.N. Kelly el habernos facilitado el mapa preliminar de contaminación de Cesio 137.

REFERENCIAS

[1] **Karaoglou A., Desmet G., Kelly G.N. y Menzel H.G. (Editores),** *The radiological consequences of the Chernobil accident. Proceedings of the first international conference, Minsk (Belarus),* 18 to 22 March 1996. European Commission and the Belarus, Russian and Ukrainian Ministries on Chernobil Affairs, Emergency Situations and Health. Informe EUR 16544 EN (1996).

[2] **Anónimo**, *Radiation Protection Research and Training Programme. Post-Chernobil actions Executive Summaries.* Commisssion of the European Communities, Informe EUR 13199 (1990).

[3] **Izrael, Yu.A. y otros**, *The Atlas of Caesium-137 Contamination of Europe after the Chernobil Accident.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 1-10.

[4] **Cardis E. y Okeanov E.**, *What is Feasible and Desirable in the Epidemiologic Follow-up of Chernobil.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 835-850.

[5] **Souschkevitch G.**, *WHO-IPHECA: Epidemiological aspects.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 899-908.

[6] **Balonov M. y otros**, *Pathways, Levels and Trends of Population Exposure after the Chernobil Accident.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 235-249.

[7] **Strand P. y otros**, *Exposures from consumption of agricultural and semi-natural products.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 261-270.

[8] **Berkovski V. y otros**, *Exposures from aquatic pathways.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 283-294.

[9] **Anónimo**, *Atlas of Caesium contamination of Europe after the Chernobil Accident. Informe EUR 16733.* Commission of the European Communities (1996).

[10] **Okeanov E. y otros**, *Health Status and follow-up of the liquidators in Belarus.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 851-859.

[11] **Ivanov V.**, *Health Status and follow-up of the liquidators in Russia.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 861-870.

[12] **Tolochko G.V.**, *Hemoblastoses of the Chernoby Accident Clean-Up Workers and the Population in Belarus.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 633-636.

[13] **Buzunov V.**, *Chernoby NPP Accident Consequences Cleaning Up Participants in Ukraine Health Status Epidemiologic Study Main Results.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 871-878.

[14] **Demidchik E.P. y otros**, *Thyroid cáncer in Children in Belarus.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 677-682.

[15] **Tronko N. y otros**, *Thyroid cáncer in Children and Adolescents in Ukraine after the Chernobil Accident (1986-1995).* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 683-690.

[16] **Tsyb A.F. y otros**, *Thyroid cáncer in Children and Adolescents of Briansk and Kaluga Regions.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 691-697.

[17] **Williams E.D. y otros**, *Interaction of Pathology and Molecular Characterization of Thyroid Cancers.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 699-714.

[18] *Conferencia Internacional sobre Los accidentes nucleares y el futuro de la energía.* Lecciones extraidas de Chernobil, organizada por las Sociedades Francesa y Soviética de Energía Nuclear, en Paris, los días 15 a 17 de abril de 1991. Resumida en Revue Générale Nucléaire, nº3, 1991.

[19] *NEA Report Chernobil Ten Years On. Radiological and Health Impact. OECD, París, Nov. 1995*

[20] *Comisión de las Sociedades Oncológicas para la planificación oncológica en España.* Libro Blanco de la Oncología en España, 1ª edición, JIMS, 1988

[21] **Reiners Chr. y otros**, *Radioiodine Treatment in Children with Thyroid cáncer from Belarus.* Actas conferencia Minsk, [1], pp. 765-770.

[22] *The International Chernobil Project. Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures.* Report by an International Advisory Committee. O.I.E.A., Viena (1991)

[23] *Proceedings of the International Seminar on Intervention Levels and Countermeasures for Nuclear Accidents.* Organizado por la Comisión de las Comunidades Europeas. Cadarache (Francia), Octubre 1991. Informe EUR 14469. (1992).

[24] *U.S. Department of Energy, Health and Environmental Consequences of the Chernobil Nuclear Power Plant Accident,* Informe DOE/ER-0332, Washington (1987).