

ECRR 2006: Chernóbil 20 años después

ECRR

Chernobyl: 20 Years On



Health Effects of the Chernobyl Accident

European Committee on Radiation Risk
Documents of the ECRR

2006 No1

Eds: C.C. Busby and A.V. Yablokov

El presente dossier ha sido posible gracias a la colaboración de personas que han traducido, de forma totalmente desinteresada, los estudios presentados.

A todos ellos queremos darles las gracias encarecidamente por sus muestras de solidaridad.

Especialmente a D. Jesús Torres del Rey, Vicedecano de la Facultad de Traducción y Documentación de la Universidad de Salamanca, y a sus alumnos:

T. A. Sapego, Laura Llamas Fraga, Dan Calvo Santaolalla, Andrea García Vidal, Victoria Nieto García, Elena Mendoza Sánchez.

A D. Alberto Lebrón, periodista y amigo; y al resto de amigos:
José Antonio Leal, Pilar Nieto, María Calonge.

Gracias a todos.

Introducción

Traducción Alberto Lebrón

Uno de los primeros subcomités formados por el Comité Europeo de Riesgos Radiológicos (ECRR son sus siglas en inglés) fue el subcomité de Chernobyl. Su objetivo era estudiar los efectos epidemiológicos que sobre la salud tienen las bajas dosis de radiación, un estudio cuidadoso realizado con grupos de población residentes en áreas contaminadas por el accidente de Chernobyl. El ECRR tiene su origen en la crítica que muchos científicos hacemos sobre los fundamentos del modelo empleado para estudiar los riesgos radiológicos de la irradiación externa (un modelo utilizado por todos los países para la prevención de riesgos radioactivos).

Este modelo generalmente aceptado es el aprobado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Son varios los argumentos que intentan demostrar la invalidez de este modelo, esencialmente en lo relativo a la irradiación interna provocada por isótopos fisionados y partículas radioactivas microscópicas. El ECRR consideró que la catástrofe de Chernobyl representaba una oportunidad única para examinar de forma natural los efectos sobre la salud de la irradiación interna en dosis limitadas.

Los resultados obtenidos del estudio tendrían un gran valor a la hora de desarrollar un conocimiento preciso sobre los efectos de la irradiación y también permitirían interpretar con mayor precisión aquellos informes que relacionan el cáncer, la leucemia y otras dolencias con la irradiación interna por radionucleidos (véanse los test armamentísticos y otros focos de irradiación nuclear). En suma, la precisión del modelo utilizado por el ICRP ha sido cuestionada durante años por un número considerable de científicos independientes y, tras los rápidos avances en el campo de la Biología y la Radiación en la década de los 90, una vez descubierta la llamada “inestabilidad genómica”, han sido muchas las voces que han pedido una revisión del modelo en los últimos años.

En 2001, después de contrastar evidentes incrementos en el deterioro sanitario de la población en Chernobyl, y otros informes sobre el aumento de la leucemia infantil en niños de países europeos afectados durante el período de mayor exposición a la irradiación interna, el Parlamento Europeo exigió la revisión de los modelos vigentes en conexión específica con la catástrofe de Chernobyl.

También en 2001, en Reino Unido, se creó un nuevo Comité bajo la dirección conjunta de los Departamentos Medioambiental y Sanitario. El objeto de este Comité para el Estudio de los Riesgos Radioactivos derivados de la Irradiación Interna (CERRIE son sus siglas en inglés) era examinar precisamente estas cuestiones.

En 2003, CERRIE organizó un seminario de trabajo en Oxford y la mayoría de los expertos internacionales en riesgos radiológicos invitados tuvieron a bien acudir, participar en los debates y comentar algunos de los informes anteriormente mencionados. Entre los invitados hubo científicos eminentes como los profesores Alexey Yablokov, Elena Burlakova e Inge Schmitz Feuerhake.

Los científicos rusos prestaron especial atención a los informes realizados en lengua rusa. Estos documentos de investigación sobre la catástrofe de Chernobyl no fueron traducidos al inglés por las Agencias de la ONU ni por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Por esta razón, dicen, los terribles efectos generados por las bajas dosis de radiación en los territorios más afectados de Chernobyl simplemente fueron ignorados ¿Examinó el CERRIE toda esta cantidad ingente de información presentada en los documentos rusos?



En el evento celebrado, la Secretaría de CERRIE no hizo nada y el Comité CERRIE terminó en 2004 dividido en relación al análisis de la irradiación interna con dos informes publicados a finales de ese mismo año. Sólo una mínima parte de lo publicado por CERRIE repasó algunos de los 50 informes rusos más relevantes y prestó consiguientemente atención a los efectos cancerígenos y no cancerígenos recogidos en los diarios rusos sobre la catástrofe de Chernobyl.

Hoy vivimos el vigésimo aniversario del accidente nuclear de Chernobyl y en occidente no ha cambiado nada. Es como si nada hubiera ocurrido. Los niños que residen cerca de centrales nucleares contaminantes continúan muriendo de cáncer.

Estas centrales siguen emitiendo al ambiente radioisótopos generados por fisión con las licencias basadas en el modelo IRCP.

Los padres de las víctimas continúan perdiendo juicios porque los magistrados consideran que las dosis de radiación son demasiado bajas.

Equipos científicos de comités gubernamentales todavía acuñan el concepto de “dosis absorbidas” como si ello pudiera servir para explicar la irradiación interna. El Emperador es el dueño de la situación.

La evidencia encontrada en los territorios afectados de Chernobyl, desglosada en los capítulos del presente libro, revela los verdaderos efectos de un nuevo y terrible descubrimiento. Los efectos de la irradiación interna en bajas dosis provocan alteraciones genómicas que a su vez generan elevadas tasas de mutación. Esta inestabilidad genómica fue observada por primera vez en células de laboratorio. Las evidencias que presentamos sobre Chernobyl demuestran que tales efectos afectan a todos los seres vivos: vegetales, animales y seres humanos. Esto tiene profundas implicaciones que van más allá de la protección radiactiva y los modelos de riesgo.

El informe de Krysanov reproducido en este libro revela que con los ratones expuestos en zonas de alta irradiación sucede lo siguiente: 22 generaciones después de la exposición inicial se demuestra que los ratones son más sensibles a la contaminación radiactiva que aquellos roedores establecidos en zonas de menor exposición. El mismo efecto queda demostrado para los vegetales por el Profesor Grodzhinsky, quién insiste en los efectos observados en Chernobyl frente a aquellos que declaran que se trata de “Radiofobia”.

Esto contrasta directamente con las ideas actuales sobre selección genética. Los efectos de la inestabilidad genómica provocan en apariencia un daño masivo sobre los órganos y sistemas de los seres vivos expuestos a bajas dosis de irradiación interna. Todo ello demuestra que este tipo de irradiación deteriora los tejidos y genera mutaciones aleatorias en todas las células.

Los cuerpos de aquellos liquidadores que impidieron la explosión de la central nuclear en Chernobyl, expuestos a elevadas dosis de irradiación, parecían destrozados años después. Las sorprendentes declaraciones del profesor Yablokov revelan que el 100% de los liquidadores residentes en Moscú están enfermos. El 85% de los que viven en San Petesburgo (antigua Leningrado) también lo están. Los liquidadores son personas que raudos como el viento acudieron a los campos radioactivos de Chernobyl con improvisados chubasqueros, estabilizaron el reactor accidentado y salvaron a Europa de una explosión atómica equivalente a 50 bombas de Hiroshima (un hecho que habría hecho del continente europeo un lugar imposible para la vida).

Estos liquidadores han caído ahora en el olvido.

Los sistemas biológicos han colapsado a nivel celular, de tejidos y poblacional. Burlakova y Nazarov describieron estos efectos por bajas dosis de irradiación interna en su laboratorio con células y en trabajo de campo con la población.

Grodzhinsky observó el efecto sobre las plantas (mayor en lo referido a la irradiación interna que la externa). Krysanov observó estos efectos en animales salvajes. Yablokov y Nesterenko lo hicieron en menores y adultos residentes en los territorios contaminados.

Estos efectos tienen su expresión máxima en lo que hoy la literatura científica conoce como bajas dosis de irradiación. Los incrementos de leucemia infantil en varios países europeos dejan en evidencia al modelo ICRP frente a los verdaderos efectos de la contaminación radiactiva.

Estos descubrimientos han sido sistemáticamente ignorados por la OMS. Los informes relativos a esta cuestión no son mencionados ni por UNSCEAR, ni por los documentos que elabora US BEIR VII. La comparación entre la teoría y la práctica en casos de leucemia infantil revela más de 150 errores evidentes en el actual modelo.

Es impactante. Ello significa que las irradiaciones al medio ambiente tras accidentes, test armamentísticos o bajo licencia han matado, y todavía siguen costando la vida, a millones de personas. Los efectos de los tests armamentísticos realizados en los años 60 están con nosotros y con nuestros hijos para siempre. Son causa directa de las actuales dolencias que padece la población.

Es un escándalo que las Agencias ONU, encargadas de la salud pública (como el Comité Científico sobre los Efectos de la Irradiación Atómica -UNSCEAR- o la OMS) puedan ignorar la ingente cantidad de evidencias recopiladas tras el desastre nuclear de Chernobyl que revelan la existencia de todos estos efectos. Tales evidencias les han sido presentadas una y otra vez. En una Conferencia de la OMS sobre Chernobyl (Kiev, 2001) el delegado de UNSCEAR, Norman Gentner, dijo claramente:

El riesgo de padecer leucemia no parece elevado incluso entre aquellos operarios que trabajaron en el lugar del accidente. No hay evidencias científicas sobre incrementos de enfermedades cancerígenas y otros efectos relacionados que puedan relacionarse con el accidente nuclear.

La ciencia avanza gracias a la observación y la experimentación. El actual modelo de riesgos radiológicos utilizado para burlar la legislación que protege a la población de estar expuesta a la contaminación radiactiva, basado en la teoría formulada a partir de observar los efectos sobre la población japonesa que sobrevivió a las bombas atómicas, pretende ser válido para explicar los efectos de una irradiación interna inédita hasta entonces en nuestro planeta.

El desastre de Chernobyl y sus evidentes consecuencias han dado a la humanidad una herramienta empírica para probar esta teoría. Las observaciones hechas o revisadas en estos extraordinarios capítulos –muchos de los cuales están escritos por científicos prominentes– aclaran básicamente que el actual modelo de riesgos radiológicos es incorrecto.

El subcomité del ECRR sobre Chernobyl ha trabajado duro en condiciones adversas para relacionar y elaborar las conclusiones de estos científicos. Este libro representa una marca en el camino para entender los efectos de la irradiación crónica en bajas dosis.

El Comité considera que estas lecciones deberían ser tomadas en consideración por la clase política, que incluso en la actualidad planifica nuevas inversiones en el campo de la energía nuclear y estrategias mediante las cuales los residuos tóxicos radioactivos acabarán vertidos en el medio ambiente.

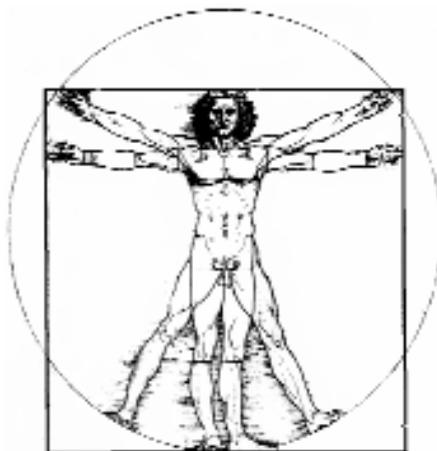


El Comité recomienda este libro a los científicos, políticos y demás gestores de la vida pública con la esperanza de que todo este trabajo científico publicado en Rusia como resultado de la investigación sobre el desastre de Chernobyl pueda ejercer algún tipo de influencia en el área de la salud pública.

Por último, el Comité agradece el duro trabajo de Greta Bengtsson, Mireille de Messieres y Sairse Morgan en la elaboración de este libro.

Chris Busby, Secretario Científico del ECRR

ECRR 2006: Chernobyl 20 años después



La Catástrofe de Chernobyl - 20 Años Después (un meta-análisis)

Alexey V. Yablokov

Academia Rusa de las Ciencias, y Centro para la Política Ecológica Rusa, Moscú

Traducción Iñigo García

Las primeras previsiones oficiales de las consecuencias de la explosión del reactor en el cuarto bloque de la central nuclear de Chernobyl el 26 de abril de 1986, en lo que respecta a la salud de la población de la URSS, predecían únicamente varios casos adicionales de cáncer a lo largo de unas decenas de años. En 20 años ha quedado claro que la cifra real está lejos de algunas decenas, o centenas o miles, sino que son millones las personas del hemisferio norte las que han sufrido y sufrirán por la catástrofe de Chernobyl. Estas personas incluyen (Grodzinsky, 1999 *et al*):

1. Más de los 220.000 residentes de las áreas altamente contaminadas que fueron evacuados en 1987 de Bielorrusia, Rusia y Ucrania.
2. Aquellos que recibieron dosis significativas de irradiación durante los primeros días y semanas, y/o que viven en territorios con una contaminación radiactiva mayor que 1 Ci/km² (hasta 3,2 millones en Ucrania, hasta 2,4 millones en Rusia, hasta 2,6 millones de personas en Bielorrusia, y unos 0,5 - 0,8 millones de personas en Suecia, Noruega, Bulgaria, Rumania, Austria, el sur de Alemania y otros países de Europa).
3. Los liquidadores (las personas que tomaron parte en las operaciones para minimizar las consecuencias de la catástrofe tanto en la central nuclear como en los territorios contaminados circundantes): 740.000 personas de Ucrania, Rusia y Bielorrusia, y 80,000 - 90,000 de Moldova, los estados Bálticos, el Cáucaso, y Asia Central.
4. Niños cuyos padres pertenecen a los primeros tres grupos: hasta el año 2006, aproximadamente 1-2 millones.
5. Personas que viven en los territorios donde cayó la lluvia radiactiva de Chernobyl, básicamente, en el hemisferio norte (incluyendo Europa, Norteamérica y Asia): una cifra difícil de definir, pero no inferior a 2500 millones de personas.
6. Personas que han consumido alimentos radiactivamente contaminados por la lluvia radioactiva de Chernobyl (básicamente, en los países de la ex-URSS, pero también en Suecia, Noruega, Escocia y en otros países de Europa) - posiblemente del orden de varios cientos de miles.

Para los primeros cuatro grupos expuestos a las consecuencias del desastre de Chernobyl la irradiación adicional está (o puede estar) sustancialmente determinada, para el quinto y sexto grupo es estocástica.

El secreto oficial (hasta el 23 de mayo, 1989) y la falsificación estatal irreversible de los datos médicos durante los primeros tres años tras la catástrofe, así como una ausencia de estadísticas médicas auténticas en la ex-URSS, pone de manifiesto la deficiencia del material concerniente a las consecuencias epidemiológicas principales de esta catástrofe. También existen incertidumbres en la determinación de la cantidad de radionucleidos emitidos desde el reactor: desde cifras como 50 millones de Ci (datos oficiales soviéticos) hasta unos 3500 millones de Ci (varias estimaciones independientes).



Existen varias dificultades principales para establecer una conexión directa entre los niveles de irradiación y los efectos sobre la salud. Estas dificultades incluyen:

- Concentraciones extremadamente localizadas por la lluvia radiactiva
- Dificultad en establecer la dosis de la exposición a la radiación provocada por los radionucleidos de vida corta durante las primeras horas, días y semanas tras la catástrofe (I-133, I-135, Te-132 y algunos más);
- El comportamiento de las "partículas calientes";
- La dinámica compleja de la transformación de los radionucleidos, su migración y su bio-concentración en los ecosistemas;
- El efecto específico poco conocido de cada radionucleido (por ej., la contaminación por Sr-90 tiene consecuencias para el sistema inmune, la contaminación por Cs-137 - otros bajo densidades de radiación idénticas, evetz et al., 1993).
- Los efectos biológicos diferentes de la irradiación interna y externa (la irradiación interna provoca una reacción autoinmune gradual, mientras que la irradiación externa provoca una reacción rápida. Lisiany, Lubich, 2001).

Los problemas que acabamos de enumerar dificultan la reconstrucción de las dosis individuales y los ritmos de las dosis, y arrojan dudas sobre cualquier informe que encuentre una "correlación poderosa" entre los niveles de la radiación de Chernobyl y efectos específicos sobre la salud.

Otras dificultades para comprender las consecuencias reales de la lluvia radiactiva de Chernobyl incluyen numerosas, científicamente no demostradas afirmaciones hechas por los representantes de la industria nuclear, y expertos conectados con ella, sobre la insignificancia de la catástrofe para la salud pública (por ej., el "Chernobyl Forum Report", septiembre de 2005).

Para poder revelar las consecuencias globales de la catástrofe de Chernobyl es esencial descubrir su influencia real sobre la salud pública comparando los mismos grupos durante los mismos periodos de tiempo tras la catástrofe y comparando poblaciones en territorios con idénticas condiciones en lo que respecta a la geografía, estado social y económico y que difieran únicamente en el nivel de irradiación.

I. Mortalidad

Desde 1986, la esperanza de vida en la URSS ha disminuido notablemente. En promedio, la mortalidad infantil ha aumentado notablemente, así como las tasas de mortalidad para las personas de más edad. No hay ninguna prueba de una conexión directa entre estos parámetros y la catástrofe de Chernobyl, pero existen pruebas de dichas conexiones para algunos territorios contaminados en particular.

Tras 1986, en las áreas radiactivamente contaminadas de Ucrania, Bielorrusia y Rusia, se ha observado un aumento de la mortalidad general en comparación con las áreas circundantes (Grodzinsky, 1999; Omelianetz, et al., 2001; Kashirina, 2005; Sergeeva et al., 2005).

También se ha observado un aumento del número de nacimientos sin vida que está correlacionado con el nivel de contaminación, en algunas áreas de Ucrania (Kulakov et al., 1993) y Bielorrusia (Golovko, Izhevsky, 1996). El número de abortos espontáneos ha aumentado notablemente en los mismos territorios contaminados de Rusia. Según algunas estimaciones, el número de abortos y nacimientos sin vida como resultado de la contaminación radiactiva en Ucrania ha alcanzado la cifra de 50.000 (Lipik, 2004).

En algunos países europeos se ha podido ver un aumento de la mortalidad perinatal conectada con la catástrofe de Chernobyl (véase el artículo de Korblein en este libro). Después de 1987, se ha observado un aumento de la mortalidad de los niños y la mortalidad infantil en las áreas contaminadas de Ucrania (Omelianetz, Klement'eva, 2001) y Rusia (Utka *et al.*, 2005). En la Tabla 1 se presenta un ejemplo de dicha mortalidad en un área de Rusia.

Tabla 1: Mortalidad infantil (por cada 1000 nacimientos vivos) y mortalidad general (por 1000) en tres distritos administrativos radiactivamente contaminados del área de Bryansk, Rusia, en 1995 – 1998 (the Condition ..., 1999; Komogortseva, 2001).

	Tres distritos contaminados*				Área de Bryansk	Rusia
	1995	1996	1997	1998	1998	1997
Mortalidad infantil	17.2	17.6	17.7	20.0	10,2	17.2
Mortalidad general	16.7	17.0	18.2	21,4	16.3	13.8

*Novozybkovsky, Klintsovsky, Zlynkovsky.

La mortalidad por cáncer durante el período 1986 - 1998 ha aumentado un 18% - 22% en los territorios radiactivamente contaminados de Ucrania y entre los evacuados, (en comparación con toda Ucrania - 12%) (Omelianetz *et al.*, 2001; Golubchikov *et al.*, 2002). La mortalidad masculina por cáncer de próstata ha aumentado en los territorios contaminados de Ucrania en un factor 1,5 - 2,2 (en todo Ucrania – un factor 1,3) (Omelianetz *et al.*, 2001). Se ha podido observar que en los territorios contaminados de Bielorrusia la mayoría de las muertes súbitas estaban relacionadas con el nivel de incorporación de los radionucleidos (Bandajevsky, 1999).

Estos hechos que esTablacen un aumento general del nivel de la mortalidad infantil y la mortalidad de los niños en los territorios radiactivamente contaminados (y en mayor grado en los territorios más contaminados), cuando se comparan con datos similares de los territorios no contaminados, no dejan duda alguna de que la ausencia de estos datos para todo el área de la región de la lluvia radiactiva de Chernobyl ha sido asociado hasta ahora con datos estadísticamente incorrectos.

2. Cánceres

Bielorrusia ha sufrido un aumento del 40% en lo que respecta al cáncer entre 1990 y 2000. Además, en los territorios más radiactivamente contaminados (el área de Gomel) el aumento fue máximo, y en las áreas menos contaminadas (las áreas de Brest y Mogyliv) éste fue mínimo (Okeanov *et al.*, 2004). En 1987 - 1999 se contabilizaron en Bielorrusia unos 26.000 cánceres radioinducidos (incluyendo la leucosis); de estos casos 11.000 han fallecido (Mal'kov, 2001). El valor promedio del exceso del riesgo de cáncer con relación al valor absoluto fue de 434/104 personas/años/Sv (riesgo relativo - $3 - 13 \times 10^{-1}$), lo que se sitúa por encima del límite aceptado por UNSCEAR (Mal'kov, 2001).

La Tabla 2 presenta los cálculos de las tasas de cáncer basados en una dosis colectiva para todas las generaciones para el periodo completo de la irradiación adicional de Cs-137 por Chernobyl.

Para calcular el número general de personas de distintos países que tendrán cáncer por el Cs-137 de Chernobyl en algún momento de su vida (unas 951.000 personas, véase la Tabla 2), es necesario añadir el número de casos de cáncer como resultado de la radiación



por I-133, I-135 (mayormente cánceres de tiroides) y los provocados por los más de otros 25 nucleidos de vida corta, incluyendo además el estroncio, el plutonio y el americio, el uranio y las partículas calientes.

Tabla 2: Cálculo del número de casos de cáncer (excluyendo la leucemia) para toda las generaciones*, provocado por el Cs-137 de Chernobyl (Goffmann, 1994)

	Número de casos (I)	
	Fatales	No fatales
CEI, parte europea	212 150	212 150
Europa (sin el CEI)	244 786	244 786
Otros países del mundo	18 512	18 512
EN TOTAL	475 368	475 368

*En base a una dosis colectiva esperada "indefinidamente" en 127,4 millones de persona/rad.

(I) Gofman siempre asume que la tasa de mortalidad por cáncer era 0,5, mitad muerte mitad supervivencia.

A pesar de que otras estimaciones de la cifra de los casos de cánceres fatales provocados por la irradiación de Chernobyl dan "únicamente" 22.000 - 28.000 muertes, J. Goffmann (1994) revela convincentemente una clara infravaloración por parte de los autores, o una comprensión irracional de las dosis colectivas, en base a infravaloración en las emisiones de la explosión del reactor. La Tabla 3 presenta algunos ejemplos de las investigaciones que han demostrado conexiones entre la incidencia de algunos cánceres y la contaminación provocada por Chernobyl.

Antes de la catástrofe de Chernobyl, el cáncer de la glándula tiroidea raramente se producía en los niños y adolescentes de los territorios de Ucrania, Bielorrusia y Rusia. En Bielorrusia sólo se habían registrado 21 casos entre 1965 - 1985 (Demedchik et al., 1994), en Ucrania, antes de la catástrofe no se registraban más de cinco casos anualmente, y en la parte cercana de Rusia - 100. En el año 2000 el número de casos de este tipo de cáncer en los niños y adolescentes de los territorios contaminados se había multiplicado varios cientos de veces. Se registraron 4400 casos de cáncer de tiroides provocado por la radiación en Bielorrusia (Malko, 2002) y se considera que ya han aparecido unos 12.000 casos de cáncer de tiroides en los tres países afectados (Imanaka, 2002). Esto difiere de la estimación de UNSCEAR 2000 de que se han observado unos 1800 cánceres de tiroides durante 1990 - 1998 en niños que tenían 0 -17 años de edad en 1986, y difiere de la estimación del Chernobyl Forum Report (2005) de unos 4000 casos.

En Bielorrusia el riesgo relativo de un cáncer de tiroides provocado por la radiactividad ha excedido el factor de riesgo de $8 \times 10^{-2} \text{ Gy}^{-1}$ del ICRP-60 (Malko, 2004).

En base a la dinámica del crecimiento del cáncer de tiroides radiogénico y el carácter de la contaminación, es posible suponer que durante los siguientes 40 - 50 años se producirán en Ucrania unos 30.000 casos adicionales de cáncer, 50.000 en Bielorrusia y 15.000 en Rusia. También hay informes de un aumento de los casos del cáncer de tiroides en el sur de Francia, Escocia y Polonia.

Debido a que el periodo de latencia para la leucosis (leucemia) varía entre algunos meses y varios años, muchos casos en Ucrania, Bielorrusia y Rusia nunca han sido registrados; esto se debe también a órdenes oficiales de que se falsifiquen dichos datos. A pesar de ello, se

ha podido observar un visible aumento de la frecuencia de la leucemia en todas las áreas contaminadas de Ucrania, Bielorrusia y Rusia (Prysyazhnyuk *et al.*, 1999; Ivanov *et al.*, 1996; Sources and Effects ..., 2000).

Tabla 3: Ejemplos de la incidencia de algunos tipos de cánceres sólidos como resultado directo de la catástrofe de Chernobyl

Localización	Región, características	Autor
Retinoblastoma	Un aumento de un factor 3 en los casos entre 1987 y 1990 el centro de microcirugía ocular de Minsk, Bielorrusia	Byrich <i>et al.</i> , 1994
Pulmón	Un aumento de un factor 4 entre 32.000 evacuados, comparado con el promedio de Bielorrusia	Marples, 1996
Intestinos, Colon, Riñones, Pulmones, Glándulas mamarias, Vejiga	Un aumento en el área de Gomel (Bielorrusia), correlacionado con un nivel de la contaminación radiactiva de Chernobyl	Okeanov, Yakimovich, 1999
Órganos respiratorios	Aumento en el área de Kaluga (Rusia), correlacionado con la contaminación radiactiva de Chernobyl	Ivanov <i>et al.</i> , 1997
Vejiga	Aumento en los hombres en los territorios de Ucrania contaminados por Chernobyl	Romanenko <i>et al.</i> , 1999
	Aumento en los liquidadores en Bielorrusia	Okeanov <i>et al.</i> , 1996
Sistema nervioso	Aumentó en un 76,9% de 1986 a 1989	Orlov <i>et al.</i> , 2001
Todos los cánceres	Aumento (del 1,34 % en 1986 al 3,91 % en 1994) entre los adultos de los territorios contaminados del área de Zhytomir, Ucrania	Nagornaya, 1995
Páncreas	Un aumento de hasta un factor 10 en las áreas más contaminadas de Ucrania, Bielorrusia y Rusia de 1986 a 1994	Sources and effects ... 2000
Glándula mamaria	Un aumento de 1,5 en los territorios contaminados de Ucrania durante el periodo 1993 - 1997	Москаленко, 2003).
Todos los cánceres en niños	En el periodo de 11 años después de la catástrofe, para la mayoría de las áreas contaminadas las tasas (13,1 - 17,1 por 100,000) eran más elevadas que el promedio ruso (10,5)	Ushakova, <i>et al.</i> , 2000).
	Excede la media de Bielorrusia en un factor 3,7 - 3,1 para los niños evacuados y para aquellos que viven en las regiones contaminadas	Belookaya <i>et al.</i> , 2002
	Exceso de un factor 20 en 1994 en el área de Gomel (fuertemente contaminada), en comparación con el área menos contaminadas de Vitebsk, Bielorrusia	Bogdanovich, 1997
	Exceso de hasta 15 veces en 1995 - 1996 en comparación con el periodo 1968 - 1987 en la ciudad de Lipetsk, Rusia	Krapivin, 1997



3. Enfermedades del sistema nervioso

En la Tabla 4 se presentan los datos sobre el grado de enfermedad del sistema nervioso para los territorios irradiados de Ucrania. La Tabla 5 presenta las investigaciones que han demostrado una correlación entre los niveles de contaminación radiactiva y las enfermedades psicológicas.

Tabla 4: Dinámica de las enfermedades del sistema nervioso para el periodo 1987 – 1992 (por 100.000 adultos) en los territorios de Ucrania, resultado de la catástrofe de Chernobyl (Nyagu, 1995)

Año	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Enfermedades del sistema nervioso	2641	2423	3559	5634	15041	14021
Enfermedades mentales	252	419	576	1157	5114	4931

Tabla 5: Ejemplos de la incidencia y el nivel de morbilidad y enfermedades psicológicas en las áreas contaminadas de Chernobyl

Enfermedades	Área, característica	Autor
Síndrome convulsivo congénito	Aumento durante 10 años en las áreas radiactivamente contaminadas de Bielorrusia	Tsymlyakova, Lavrent'ieva, 1996
Patología de circulación cerebral	Incidencia seis veces mayor en un grupo de trabajadores de maquinaria agrícola en los distritos fuertemente contaminados del área de Gomel, Bielorrusia (valor de 27,1% de 340 contra 4,5 % de 202 en el grupo de control)	Ushakov et al., 1997
Enfermedades neurológicas generales, un volumen de pérdida de memoria a corto plazo, deterioro de la función de atención en niños escolares, 16 – 17 años	Aumento en los distritos contaminados del área de Mogyliv, Bielorrusia	Lukomsky et al., 1993

Existen más y más pruebas del fenómeno de la "demencia de Chernobyl" (deterioro de la memoria y de las actitudes motoras, incidencia de convulsiones, cefaleas pulsantes), provocada por la destrucción de células cerebrales en personas adultas (Sokolovskaya, 1997).

4. Cataratas

En los territorios de Chernobyl las cataratas se han vuelto una enfermedad común. En Bielorrusia, especialmente, se produce frecuentemente en los lugares con un nivel de polución superior a 15 Ci/km² (Paramey et al., 1993; Edwards, 1995; Goncharova, 2000, Tabla 6).

Tabla 6: Incidencia de las cataratas a diferentes niveles de polución en 1993 – 1994, Bielorrusia (Goncharova, 2000)

Año	Todo Bielorrusia	1-15 Ci/km ²	Más de 15 Ci/km ²	Evacuados de una zona con más de 40 Ci/km ²
1993	136,2	189,6	225,8	354,9
1994	146,1	196,0	365,9	425,0

5. Enfermedades del sistema urogenital

La Tabla 7 presenta ejemplos de estudios que muestran una correlación entre el nivel de contaminación radiactiva y las enfermedades urogenitales.

Tabla 7: Ejemplos de enfermedades del sistema urogenital en los territorios que sufrieron la lluvia radioactiva de Chernobyl

Enfermedad	Características, área	Autor
Interrupción del embarazo, gestosis, nacimiento prematuro	Aumento en los evacuados sin aquellos que han vivido en territorios contaminados durante 8 – 10 años	Golubchikov et al., 2002; Kyra et al., 2003
Inflamación de los genitales femeninos	Aumento en Ucrania en los 5 -6 años tras la catástrofe	Gorptchenko et al., 1995
Ovarios, quistes, útero, fibroma	Aumento de un factor 2 en Ucrania 5 – 6 años tras la catástrofe	
Irregularidades de la menstruación	Aumento de un factor 3 comparado con el periodo anterior a la catástrofe (inicialmente prevalecieron las menstruaciones más fuertes, tras 5 – 6 años, eran escasas y raras)	Gorptchenko et al., 1995
	En la mayoría de las mujeres en edad fértil de Bielorrusia y Ucrania	Nesterenko et al., 1993; Vovk, Mysurgyna, 1994; Babytch, Lypchanska, 1994
Infecciones renales, cálculos en el riñón y en las vías urinarias	Aumento y predominio entre los adolescentes, Ucrania	Karpenko et al., 2003
Enfermedades del sistema urogenital	Mayor nivel entre 1 026 046 madres de recién nacidos en los territorios con más de 1 Ci/km ² , Bielorrusia	Busuet et al., 2002
Alteraciones del desarrollo sexual	Aumento de los casos en los territorios contaminados, Bielorrusia	Sharapov, 2001
	Un nivel 5 veces mayor en las chicas, 3 veces en los chicos, en los territorios fuertemente contaminados en comparación con los menos contaminados, Bielorrusia	Nesterenko et al., 1993



Enfermedad	Características, área	Autor
Embarazos fallidos, abortos médicos	El aumento en las áreas contaminadas de Bielorrusia	Golovko, Izhevsky, 1996
Infertilidad	Aumento de un factor 5,5 en las áreas contaminadas de Bielorrusia en 1991 en comparación con 1986	Shilko et al., 1993.
Patología del esperma	Aumento de un factor 6,6 en las áreas contaminadas, Bielorrusia	Shilko et al., 1993
Esclerocistosis	Aumento de un factor 2 en las áreas contaminadas, Bielorrusia	Shilko et al., 1993
Impotencia temprana en hombres (edad 25 – 30 años)	Aumento en las áreas contaminadas de Bielorrusia y Rusia	Shilko et al., 1993;
Cambios estructurales de los testículos y alteraciones de la espermatogénesis	En el 75,6 % de los hombres estudiados en el área de Kaluga, Rusia	Pysarenko, 2003
Lactancia en mujeres de 70 años de edad	Bielorrusia	Alexievich, 1997
Retraso de la pubertad	Retraso en los hombres jóvenes (en dos años) y en las mujeres jóvenes (en un año) en las áreas contaminadas por Sr-90 y plutonio	Paramonova, Nedvetskaya, 1993
Aceleración del desarrollo sexual	Niñas (13 - 14 años) en los territorios contaminados con Cs-137	Paramonova, Nedvetskaya, 1993; Leonov, 2001

6. Sistema cardiovascular y enfermedades de la sangre

Las enfermedades del sistema cardiovascular y de la sangre son una de las consecuencias más comunes de la contaminación radiactiva de Chernobyl (Tabla 8).

Tabla 8: Enfermedades del sistema cardiovascular en las áreas contaminadas por Chernobyl

Enfermedad	Región, características	Autor
Anemia	Aumento de un factor 7 en la región de Mogyliov; correlacionado con el nivel de contaminación en Bielorrusia	Hoffman 1994, p. 514; Dzykovitch <i>et al.</i> , 1994; Nesterenko, 1996
Enfermedades del sistema circulatorio sanguíneo	El nivel de enfermedades primarias ha aumentado en un factor 2,5 - 3,5 en las áreas de Mogyliov y Gomel en Bielorrusia desde 1986	Nesterenko, 1996
	Aumento de un factor 3 – 6 más en los distritos contaminados en comparación con el promedio del área de Bryansk	Komogortseva, 2001
Hipertensión o hipotensión arterial	Más frecuentemente en los territorios con un nivel de contaminación superior a 30 Ci/km ² en el área de Mogyliov	Podpalov, 1994;
	En niños y en adultos correlacionado con el nivel de contaminación, Bielorrusia	Nedvetskaya, Lyalykov, 1994; Sykorenskiy, Bagel', 1992; Goncharik, 1992; Zabolotny <i>et al.</i> , 200
Alteraciones del ritmo cardiaco y el sistema digestivo	Enfermedad isquémica más frecuente y grave en las áreas contaminadas, Bielorrusia	Arynychyna, Mil'kamanovitch, 1992.
	Correlacionado con el nivel de Cs-137 incorporado	Bandajevsky, 1997, 1999
	Aumento en los territorios contaminados de Bielorrusia	Nedvetskaya, Lyalykov, 1994; Sykorenskiy, Bagel', 1992; Goncharyk, 1992
Macrocitosis de los linfocitos	6-7 veces más frecuente en las áreas contaminadas, Bielorrusia	Bandajevsky, 1999
Enfermedades de la sangre y los órganos circulatorios en adultos	Aumentado en un factor 50 en los territorios contaminados de 1986 a 1994 en el área de Zhytomir, Ucrania	Nagornaya, 1995
	Aumento de un factor 5,5 (en mayor grado en las áreas contaminadas) en comparación con el nivel pre-Chernobyl, Bielorrusia	Manak <i>et al.</i> , 1996
	Elevado en un factor 3,5 en el área de Gomel, 2,5 en el área de Mogyliov en comparación con el nivel de 1986	Nesterenko, 1996
Arteriosclerosis temprana y enfermedad cardiaca isquémica	Observado en los evacuados y en los distritos altamente contaminados del área de Kiev, Ucrania	Prokopenko, 2003
Leucopenia y anemia	Aumentado en un factor 7 en comparación con los niveles de 1985 en el área de Mogyliov (Bielorrusia) durante los primeros tres años tras la catástrofe	Goffmann, 1994, p. 514



Enfermedad	Región, características	Autor
Cambios en el número de leucocitos y su actividad	Disminuidos en mujeres embarazadas en los territorios contaminados del área de Kursk, Rusia	Alymov <i>et al.</i> , 2004
	Correlación entre el número de linfocitos y las células basófilas con un nivel de contaminación de Cs-137, Bielorrusia	Miksha, Danilov, 1997
	Disminuidos en los evacuados 7 – 8 años después de la catástrofe, Ucrania	Baeva, Sokolenko, 1998

Tabla 9: Morbilidad (por 100.000) de las enfermedades de la sangre en la población adulta de Bielorrusia, 1979 - 1997 (Gapanovich *et al.*, 2001)

	1979 - 1985	1986 - 1992	1993 - 1997
Leucemia aguda	2,82 ± 0,10	3,17 ± 0,11*	2,92 ± 0,10
Leucemia crónica	6,09 ± 0,18	8,14 ± 0,31*	8,11 ± 0,26*
Eritremia	0,61 ± 0,05	0,81 ± 0,05*	0,98 ± 0,05*
Mieloma múltiple	1,45 ± 0,06	1,86 ± 0,06*	2,19 ± 0,14*
Enfermedad de Hodgkins	3,13 ± -0,10	3,48 ± 0,12*	3,18 ± 0,06
Linfoma no de Hodgkins	2,85 ± 0,08	4,09 ± 0,16*	4,87 ± 0,15*
Síndrome mielodisplásico	0,03 ± 0,01	0,12 ± 0,05*	0,82 ± 0,16*

* $P < 0.05$

7. Desequilibrios del estado hormonal/endocrino

Existe una gran cantidad de pruebas relacionando las alteraciones endocrinas/hormonales con la lluvia radioactiva de Chernobyl. La Tabla 10 presenta datos sobre la tasa de incidencia de la diabetes mellitus Tipo I en Bielorrusia.

Tabla 10: Tasa de incidencia de la diabetes Tipo I en niños y adolescentes en Bielorrusia, 1980 – 2002 (Zalutskaya *et al.*, 2004)

	1980-1986	1987 – 2002
Territorios poco contaminados (área de Minsk)	2,25 ± 0,44	3,32 ± 0,49
Territorios muy contaminados (área de Gomel)	3,23 ± 0,33	7,86 ± 0,56*

* $P < 0.05$

La Tabla 11 presenta algunas investigaciones que muestran correlaciones entre la contaminación radioactiva de Chernobyl y el desarrollo de enfermedades hormonales/endocrinas.

Tabla II: Enfermedades hormonales/endocrinas en algunos territorios contaminados de Chernobyl

Enfermedad	Área, características	Autor
Enfermedades de la glándula tiroideas (tiroiditis autoinmune, tirotoxicosis, diabetes etc.)	Aumento desde 1992 en los territorios contaminados, Ucrania	Tron'ko et al., 1995
	Supera en un factor de 600 el nivel pre-Chernobyl, área de Gomel, Bielorrusia	Byrjukova, Tulupova, 1994
	Aumento entre 1.026.046 mujeres recientemente confinadas de territorios con más de 1 Ci/km ² , Bielorrusia	Busuet et al., 2002
	Tiroiditis autoinmune en niños aumentada casi tres veces durante los 10 años tras la catástrofe, Bielorrusia	Leonova, Astakhova, 1998
	Diabetes congénita aumentada en Bielorrusia (antes de la catástrofe no existían casos registrados.)	Marples, 1996; Zalutskaya, et al., 20 LSS 04
	Bocio infantil aumentado en un factor 7 (desde 1985) para el año 1993 en el área de Gomel, Bielorrusia	Astakhova, et al., 1995
	En Ucrania, Bielorrusia y Rusia un estudio en niños reveló enfermedades en el 38,5% (45.873 casos) en los 10 años tras el accidente	Yamashita, Shibata, 1997
	En el 47% (de 3437 niños estudiados) en el distrito de Mozyrskiy del área de Gomel, Bielorrusia	Vaskevich, Chernyshova, 1994
	La mitad de los niños del área de Bryansk, Rusia	Kashirina, 2005
Enfermedades del sistema endocrino	7601 casos en niños (entre ellos 284 casos de cáncer) en 1998 - 2004, área de Bryansk, Rusia	Karevskaya et al., 2005
	Aumento de un factor cinco en el 2002, en niños de los distritos contaminados del área de Tula, Rusia	Sokolov, 2003
Concentración de hormonas	Excede en un factor 2,6 el nivel promedio de las áreas en los distritos contaminados del suroeste, población adulta, área de Bryansk, Rusia	Sergeeva et al., 2005
	Múltiples casos de desequilibrios hormonales en los primeros dos años tras la catástrofe en los territorios fuertemente contaminados, Ucrania	Stepanova, 1995
	Disminución del nivel de testosterona en los territorios altamente contaminados, Bielorrusia	Lialykov et al., 1993
	Aumento de la concentración de las hormonas T4 y TCG y disminución de la T3 en los distritos contaminados de las áreas de Gomel y Vitebsk, Bielorrusia	Dudynskaya, Suryna, 2001
	Aumento de nivel de insulina en chicos y chicas, y del nivel de testosterona en chicas en los territorios contaminados, Bielorrusia	Antiipkin, Arabskaya, 2001; Leonov, 2001
	Aumento de los niveles de cortisol en mujeres embarazadas paralelo con el nivel de Cs137 incorporado	Duda, Kharkevich, 1996
	Nivel de cortisol, tiroxina, progesterona correlacionado con el nivel de contaminación radiactiva, Bielorrusia	Sharapov, 2001
Prolactinemia	Nivel de cortisol elevado en los territorios con 1 - 15 Ci/km ² , y disminuido en territorios con una mayor contaminación en los recién nacidos sanos, áreas de Gomel y Mogyliv, Bielorrusia	Danil'chik et al., 1996; Petrenko, et al., 1993
	17,7 % de las mujeres estudiadas en edad reproductiva, en los territorios rusos radiactivamente contaminados	Strukov, 2003



En 1993 más del 40% de los niños estudiados del área de Gomel en Bielorrusia tenían aumentada la glándula tiroides. Según estimaciones expertas, en Bielorrusia hasta 1,5 millones de personas corren el riesgo de tener una patología de la glándula tiroides (Goffmann, 1994a; Lipnick, 2004).

8. Alteraciones inmunológicas

La radiación adicional, incluso a un nivel bajo, ataca al sistema inmune. En la Tabla 12 presentamos los resultados de más investigaciones importantes llevadas a cabo durante los últimos años en Ucrania, Bielorrusia y Rusia.

Tabla 12: Alteraciones de la inmunidad en algunos de los territorios contaminados de Chernobyl

Enfermedad	Características, área	Autor
Cambios en la inmunidad humoral y celular	Disminución de la respuesta inmune en adultos sanos en los territorios contaminados de Bielorrusia y Rusia	Soloshenko, 2002; Kyriľ'chik, 2000; Dubovaya, 2005
	Aumento de un factor cinco en las alteraciones de la inmunidad y el metabolismo en niños de los distritos contaminados del área de Tula, Rusia	Sokolov, 2003
	Niños en los territorios contaminados, Rusia	Terletzkaya, 2003
	En niños sanos viviendo en territorios contaminados de Bielorrusia	Soloshenko, 2002; Kyriľ'chek, 2000;
Nivel de inmunoglobulinas	Cambios en el nivel de inmunoglobulinas A, M y G al comienzo de la lactancia en mujeres de los territorios contaminados con Cs-137 a un nivel de 5 Ci/km ² en las áreas de Gomel y Mogyľiov, Bielorrusia	Iskrytskiy, 1995; Zubovich et al., 1998
Mantenimiento de los linfocitos T y B	Disminución del nivel en adultos de las áreas contaminadas de Bielorrusia	Bandajevsky, 1999
Resistencia a infecciones y otras enfermedades	Disminución en las áreas contaminadas de Bielorrusia	Bortkevich et al., 1996
Disminución del sistema inmune	45 % de los niños en los territorios contaminados de Ucrania	Gurmanchuk et al., 1995
	Únicamente tras siete años desde la catástrofe se produjo una normalización de varias características del sistema inmune en los niños, Ucrania	Kharytonyk et al., 1996
	En bebés en los territorios con un nivel de contaminación de más de 5 Ci/km ² , Bielorrusia	Petrova et al., 1993
Tonsillitis, linfadenopatías	Un aumento de la frecuencia y la manifestación (45,4% entre los 468 niños y adolescentes estudiados), en los territorios más contaminados, Ucrania	Bozhko, 2004
Inmunidad anti-cáncer	Disminuida en niños de territorios altamente contaminados, y también entre los evacuados, Bielorrusia	Nesterenko et al., 1993
Alergias	Más del doble a las proteínas de la leche de vaca entre 1313 niños de Bielorrusia en los territorios con una contaminación de 1-5 Ci/km ² de Cs-137 en comparación con los territorios menos contaminados (36,8% y 15,0%)	Bandajevsky et al., 1995, 1995a; Bandajevsky, 1999

Las consecuencias típicas de las alteraciones de sistema inmune en los territorios radiactivamente contaminados son una inmunodeficiencia y, debido a un aumento de la frecuencia e intensidad de cualquier enfermedad aguda y crónica, se observa en todos los territorios contaminados de Chernobyl. Algunas veces este debilitamiento del sistema inmune en estos territorios radiactivamente contaminados se denomina "SIDA de Chernobyl".

9. Envejecimiento prematuro

Se produce un envejecimiento prematuro entre los individuos de los territorios radiactivamente contaminados de Ucrania: su edad biológica excede a su edad real en unos 7 – 9 años (Mezhzherin, 1996). En los territorios con una contaminación superior a 15 Ci/km² en Cs-137 en Bielorrusia la edad promedio de las mujeres y los hombres que mueren de ataques al corazón es ocho años menor que el promedio en todo Bielorrusia (Antypova, Babichveskaya, 2001).

El abanico de enfermedades comúnmente consideradas exclusivas de los ancianos son típicas en los niños de cualquiera de los territorios altamente contaminados. La actividad del sistema inmune en estos niños es similar al tipo de actividad del sistema inmune que se experimenta en la tercera edad (Mezhzherin, 1996). La patología del epitelio del sistema digestivo en niños de las áreas contaminadas de Bielorrusia también muestra similitudes con las personas ancianas (Nesterenko, in litt.). Entre los 69 niños y adolescentes hospitalizados en Bielorrusia en 1991 - 1996 con alopecia, más de 70% provenían de territorios contaminados (Morozevich et al., 1997).

10. Crecimiento del ritmo de mutación

Existen muchos estudios que muestran un amplio abanico de aberraciones cromosómicas en los territorios radiactivamente contaminados de Chernobyl. Un examen citogenético de los habitantes en la Zona de 30 km muestra que la frecuencia de las células aberrantes y las aberraciones cromosómicas para los habitantes de esa zona es significativamente superior que la de los residentes de la región de Kiev, mientras que los valores de este último grupo se encuentran por encima de los niveles espontáneos y pre-Chernobyl (Tabla 13, Tabla 14).



Tabla 13: Frecuencia comparativa (por 100 linfocitos) de células aberrantes y aberraciones cromosómicas en Ucrania y en el Mundo

	Células aberrantes	Aberraciones cromosómicas	Autores
Ucrania, principios de los 70	No disponible	1.19 ± 0.06	Bochkov <i>et al.</i> , 1993
Ucrania, antes de 1986	1.43 ± 0.16	1.47 ± 0.19	Pilinska <i>et al.</i> , 1999
Nivel general del mundo, 2000	2.13 ± 0.08	2.21 ± 0.14	Bochkov <i>et al.</i> , 2001
Ucrania, región de Kiev 1998-1999	3.20 ± 0.84	3.51 ± 0.97	Bezdrobna <i>et al.</i> , 2002
Zona de 30-km, 1998-1999	5.02 ± 1.95	5.32 ± 2.10	

Tabla 14: Frecuencia (por 100 células) de aberraciones cromosómicas entre los habitantes y residentes de la Zona de Exclusión del área de Kiev (Bezdrobna *et al.*, 2002)

	Zona de 30-km	Área de Kiev
Tipo cromátida	3.14 ± 0.24	2.33 ± 0.12
Fragmentos	1.59 ± 0.20	0.89 ± 0.12
Anillos dicéntricos + céntricos	0.33 ± 0.06	0.13 ± 0.03
Monocéntricos anormales	0.23 ± 0.05	0.12 ± 0.03
Tipo cromosómico total	2.16 ± 0.24	1.18 ± 0.13

Existe un aumento del nivel de algunas de las aberraciones cromosómicas entre los habitantes de la Zona de 30-Km. a lo largo del tiempo (Tabla 15).

Tabla 15: Dinámica de la frecuencia (por cada 100 células) en diferentes tipos de aberraciones cromosómicas en los linfocitos entre los residentes de la Zona de 30 Km. (los mismos 20 individuos) (Bezdrobna *et al.*, 2002)

	1998 - 1999	2001
Roturas	3.00 ± 0.33	3.53 ± 0.40
Intercambios	0.16 ± 0.07	0.29 ± 0.07
Anillos dicéntricos + céntricos	0.39 ± 0.09	0.45 ± 0.09
Tipo cromosómico total	2.58 ± 0.35	1.63 ± 0.16*

* $P < 0.05$

Una comparación de los resultados de los análisis citogenéticos mencionados, junto con muchos otros presentados en la Tabla 16, nos permite deducir la activación de la mutagénesis en las regiones con cualquier nivel de contaminación radiactiva por Chernobyl.

Tabla 16: Ejemplos de aberraciones cromosómicas y otros defectos genéticos causados por la lluvia radioactiva de Chernobyl

Carácter	Característica, área	Autor
Frecuencia de las aberraciones cromosómicas en células somáticas	Aumento de un factor 2-4 en los territorios a una contaminación mayor que 3 Ci/km ² , Ucrania, Rusia	Bochkov, 1993
	Aumento en los territorios radiactivamente contaminados, Bielorrusia, Ucrania	Nesterenko, 1996, Goncharova, 2000; Maznik, Vinnikov, 2002; Maznik, 2003; Lyazuk <i>et al.</i> , 1994, Sevan'kaev <i>et al.</i> , 1995; Ivanenko <i>et al.</i> , 2004
	Correlacionado con el nivel de contaminación radioactiva en el área Ivano-Frankovsk, Ucrania	Sluchick <i>et al.</i> , 2001
	Más en células de cáncer de tiroides en células somáticas normales en los territorios contaminados	Polonetskaya <i>et al.</i> , 2001
Frecuencia de las aberraciones cromosómicas en células somáticas	Mayor en niños irradiados <i>in útero</i> , Ucrania	Stepanova, 1995; Stepanova <i>et al.</i> , 2002
	Para niños viviendo en territorios con 15 Ci/km ² , las aberraciones cromosómicas inestables permanecieron en un nivel elevado durante 16 años; las aberraciones estables se desarrollaron durante ese periodo	Pilinska <i>et al.</i> , 2003
Número de mitosis (índice mitótico)	Menor en los distritos contaminados del área de Bryansk, Rusia	Pelevina <i>et al.</i> , 1996
Mutaciones en ADN satélite	Aumento de un factor 2 en niños cuyos padres vivían en el territorio contaminado de la región de Mogyliyov en Bielorrusia; correlacionado con el nivel de contaminación, Bielorrusia	Dubrova, Jeffreys, 1996; Dubrova, 2002; Dubrova <i>et al.</i> , 1996; 1997, 2002
Aberraciones cromosómicas y mutaciones ADN satélite	Más en niños con cáncer de tiroides	Melnov <i>et al.</i> , 1999
Mutaciones cromosómicas de novo.	Aumento en los territorios contaminados, Bielorrusia	Lazjuk <i>et al.</i> , 2001

II. Infección e infestación

En los territorios radiactivamente contaminados de Chernobyl (en comparación con los territorios no contaminados) se ha observado un aumento de la morbilidad por toxicosis intestinal, gastro-enteritis, disbacteriosis, sepsis, virus de la hepatitis y virus respiratorios (Batyan, Kozharskaya, 1993; Kapytonova, Kryvitskaya, 1994; Nesterenko *et al.*, 1993; Kul'kova *et al.*, 1996; Busuet *et al.*, 2002; Antonov, Ostreiko, 1995; Goudkovsky *et al.*, 1995). Presentamos varios ejemplos de dichos estudios en la Tabla 17.



Tabla 17: Ejemplos de algunas enfermedades infecciosas y parasitarias en los territorios radiactivamente contaminados de Chernobyl.

Enfermedad	Característica, área	Autor
Infecciones del virus del herpes	Activo en los territorios radiactivamente contaminados, Bielorrusia	Matveev <i>et al.</i> , 1993; Voropayev <i>et al.</i> , 1996
Tricocefaliasis (Trichocephalis trichiurus)	Aumento correlacionado con la densidad de la contaminación radioactiva en las áreas de Gomel y Mogyliv, Bielorrusia	Stepanov, 1993
Pneumocistis (Pneumocystis carinii)	Aumento en los niños de los territorios contaminados, Rusia	Lavdovskaya <i>et al.</i> , 1996
Cryptosporidiosis (Cryptosporidium parvum)	Elevado en los territorios radiactivamente contaminados de las áreas de Bryansk, Mogyliv y Gomel de Rusia y Bielorrusia	Lavdovskaya <i>et al.</i> , 1996
Tuberculosis (Mycobacterium tuberculosis)	Aumento de la frecuencia e intensidad en las áreas contaminadas de Bielorrusia	Belookaya, 1993
	Incidencia de formas resistentes a los medicamentos y formas tempranas en los territorios contaminados de Bielorrusia	Borschevsky, 1996
Hepatitis vírica	Aumento de un factor dos (por encima del nivel promedio de Bielorrusia) en los territorios contaminados de las áreas de Gomel y Mogyliv, durante los 6 – 7 años que siguieron a la catástrofe	Matveev, 1993
	Aumento entre adultos y adolescentes de los territorios contaminados del área de Vitebsk, Bielorrusia	Zhavoronok <i>et al.</i> , 1998
Infección por Citomegalovirus (CMV) (Cytomegalovirus hominis)	Activo en mujeres embarazadas en los territorios radiactivamente contaminados, Bielorrusia	Matveev, 1993

Se produce microsporia (*Microsporum* sp.) en los territorios radiactivamente contaminados de las áreas de Bryansk (Rusia) con una mayor frecuencia y de una forma más virulenta (Tabla 18)

Tabla 18: Casos de microsporia (por 100.000 individuos) en tres distritos con una elevada contaminación radioactiva del área de Bryansk, Rusia, 1998 - 2002 (Rudnytzkyi *et al.*, 2003).

Año	Distritos contaminados	Distritos "limpios"
1998	56,3	32,8
1999	58,0	45,6
2000	68,2	52,9
2001	78,5	34,6
2002	64,8	23,7

12. Salud infantil

Se han observado aumentos de la morbilidad general de los niños, así como aumentos de enfermedades extrañas en los territorios contaminados por Chernobyl de Ucrania, Bielorrusia y Rusia (Nesterenko et al., 1993).

En Bielorrusia, se llevaron a cabo inspecciones únicas de los mismos años en 1995 - 1998 y en 1998 - 2001 (Arynchin et al., 2002). Un grupo (n = 133, 10,6 años) provenía de los territorios altamente radio-contaminados, y el segundo (n = 186, Noé,5 años) de los territorios menos contaminados. En la Tabla 19 presentamos los resultados de las auto-evaluaciones de su salud hechas por los propios niños, y en la Tabla 20 presentamos los resultados de las inspecciones clínicas.

Tabla 19: Dinámica de las quejas de salud (%) de los niños, de los territorios de Bielorrusia con una elevada y una baja irradiación (Arynchin et al.,2002)

	Territorios altamente irradiados		Territorios con una baja irradiación	
	1995-1998	1998 – 2001	1995-1998	1998 - 2001
Quejas totales	72.2	78.9	45.7 **	66.1 *, ***
Debilidad	31.6	28.6	11.9 **	24.7*
Mareos	12.8	17.3	4.9 **	5.8 ***
Dolor de cabeza	37.6	45.1	20.7 **	25.9 ***
Síncope	0.8	2.3	0	0
Sangrado nasal	2.3	3.8	0.5	1.2
Fatigabilidad	27.1	23.3	8.2 **	17.2*
Arritmia cardiaca	1.5	18.8*	0.5	.8 *, ***
Dolor de estómago	51.9	64.7*	21.2 **	44.3 *, ***
Eructos	9.8	15.8	2.2 **	12.6*
Acidez estomacal	1.5	7.5*	1.6	5.8*
Inapetencia	9.0	14.3	1.1 **	10.3*
Erupciones alérgicas	1.5	3.0	0.5	5.8*

* $P < 0.05$; ** $P < 0.05$; *** $P < 0.05$.

Tabla 20: Dinámica de los síndromes clínicos (%) y diagnóstico para los mismos niños (véase Tabla 19) de los territorios de Bielorrusia con una elevada y una baja irradiación (Arynchin et al., 2002). Queda patente que los niños de los territorios altamente radio-contaminados realmente sufren en un grado mucho mayor de varias patologías.

Síndromes clínicos y diagnóstico	Territorios altamente irradiados		Territorios con una baja irradiación	
	1995 – 1998	1998 – 2001	1995 - 1998	1998 - 2001
Gastritis crónica	44.2	36.4	31.9	32.9
Duodenitis crónica	6.2	4.7	1.5	1.4
Gastro-duodenitis crónica	17.1	39.5*	11.6	28.7*
Disquinesia biliar	43.4	34.1	17.4 **	12.6 ***
Síndrome vegeto-vascular y cardiaco	67.9	73.7	40.3 **	52.2 ***
Síndrome asteno-neurótico	20.2	16.9	7.5 **	11.3
Amigdalitis crónica	11.1	9.2	13.6	17.2 ***
Caries	58.9	59.4	42.6 **	37.3 ***
Periodontitis crónica	6.8	2.4	0 **	0.6

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.005$.



Prácticamente todas las formas de nosología estudiadas son más preponderantes en el primer grupo en comparación con el grupo de control durante el primer y el segundo examen. Los datos de la Tabla 19 y la Tabla 20 proporcionan un cuadro convincente de un claro empeoramiento de la salud de los niños en los territorios contaminados.

La Tabla 21 presenta algunos ejemplos de otras investigaciones llevadas a cabo sobre la salud de los niños en los territorios contaminados.

Tabla 21: Espectro de enfermedades no cancerosas en niños de los territorios radiactivamente contaminados por Chernobyl

Enfermedad	Característica, área	Autor
Morbilidad infantil total	Aumento de un factor 2,9 de 1986 a 2001, Ucrania	Moskalenko, 2003
	Crecimiento más intenso en los territorios contaminados del área de Kaluga, Rusia	Ignatov <i>et al.</i> , 2001
	Aumento de un factor dos sobre la media en el área de Bryansk en los territorios contaminados en 2004	Sergeeva <i>et al.</i> , 2005
Morbilidad de recién nacidos	Crecimiento anual en Bielorrusia de 9,5%; mayor en el área más contaminada del Gomel	Dzykovich <i>et al.</i> , 1996
Disminución de peso de los recién nacidos	Irradiados <i>in útero</i> , Ucrania	Stepanova, 1995; Zakrevsky <i>et al.</i> , 1993
Tamaño de la cabeza	Menor en recién nacidos de los territorios contaminados de Ucrania y Bielorrusia	Loganovsky, 2005; Akulich <i>et al.</i> , 1993
Ritmo más bajo de desarrollo físico	Irradiados <i>in útero</i> , Ucrania	Ushakov <i>et al.</i> , 1997
	En los territorios contaminados, Bielorrusia	Sharapov, 2001
Nacimientos prematuros	Más frecuentes en los territorios contaminados, Bielorrusia	Tsymlyakova, Lavrent'eva, 1996
Niños inválidos	351,9 (por 10 000), 1998 – 1999 en tres distritos contaminados del área (173,8 en el área de Bryansk, 160,7 en Rusia)	Komogortseva, 2001
Ritmo de crecimiento	Retraso en los territorios radiactivamente contaminados, Bielorrusia	Antipkin, Arabskaya, 2001
Cataratas	Correlación entre el nivel de la frecuencia y la intensidad con la contaminación radioactiva de los territorios, Bielorrusia	Paramey <i>et al.</i> , 1993; Edwards, 1995; Goncharova, 2000;
	Correlación entre la frecuencia y el nivel de Cs-137 incorporado, área de Gomel, Bielorrusia	Bandajevsky, 1999
Enfermedades de la retina	Incidencia del 6,2% en 1985, y del 17,0% en 1989 (4797 niños de dos distritos contaminados del área de Gomel (Cs-137 hasta 23 Ci/km ²), Bielorrusia.	Byrich <i>et al.</i> , 1999

12.1. Enfermedades del sistema respiratorio en los niños

Las enfermedades de sistema respiratorio se produjeron en todos los territorios radiactivamente contaminados de Chernobyl (Tabla 22).

Tabla 22: Enfermedades del sistema respiratorio en los niños de los territorios contaminados por Chernobyl

Enfermedad	Característica, área	Autor
Síndrome respiratorio	30 % de los niños en los territorios contaminados en los primeros meses tras la catástrofe, Ucrania	Stepanova, 1995
	Correlación de la frecuencia con el nivel de contaminación radioactiva en el área de Gomel, Bielorrusia	Goudkovsky <i>et al.</i> , 1995
	Los niños que en el momento de la catástrofe tenían 0-4 años, sufrieron con mayor frecuencia en los territorios con 15-40 Ci/km ² que en los territorios con 5-15 Ci/km ²	Kul'kova <i>et al.</i> , 1996
Sofocación (asfixia)	En la mitad de los 345 recién nacidos estudiados irradiados <i>in útero</i> , Ucrania	Zakrevsky <i>et al.</i> , 1993
Conductibilidad bronquial	En el 53,6% de los niños en los territorios contaminados (estudiados más de 110.000) comparado con el 18,9% en los territorios poco contaminados, 1986 - 1987, Ucrania	Stepanov <i>et al.</i> , 1995
Broncoespasmo latente	En el 69,1% de los niños de los territorios contaminados (entre más de los 110.000 estudiados) comparado con el 29,5% en los territorios menos contaminados, 1986 - 1987, Ucrania	
Asma bronquial	Mayor número de casos en los territorios contaminados, Bielorrusia	Dzykovich <i>et al.</i> , 1996; Sitnikov <i>et al.</i> , 1993
	Más grave en los territorios contaminados, Rusia	Terletskaia, 2003
Bronquitis crónica	Más grave en los territorios contaminados, Rusia	
Patología nasofaríngea crónica	Más frecuente en un factor 1, 5-2 en los territorios contaminados, Bielorrusia	Dzykovich <i>et al.</i> , 1996; Sitnikov <i>et al.</i> , 1993
Enfermedades respiratorias agudas	Aumento de un factor dos en aquellos irradiados <i>in útero</i>	Nesterenko, 1996



12.2. Enfermedades del sistema sanguíneo y linfático en los niños

Las enfermedades del sistema cardiovascular en los niños se produjeron más frecuentemente en los territorios contaminados. La Tabla 23 presenta los datos sobre la dinámica de la disminución de la tasa de formación de sangre en los niños tras la catástrofe en Bielorrusia.

Tabla 23: Disminución de la tasa de formación de sangre en niños de Bielorrusia (Gapanovich et al., 2001)

	1979-1985	1986 – 1992	1993
Casos totales de afecciones pre-leucemia	65	98	78
Número anual de casos	9,3	14,0	15,6
Parámetro estandarizado (por 10.000)	0,60 ± 0,09	0,71 ± 0,1*	
	1,00	1,46 *	1.73*

Los datos sobre las enfermedades del sistema respiratorio de los niños en los territorios radiactivamente contaminados se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24: Incidencia de las enfermedades del sistema sanguíneo y linfático en niños en los territorios contaminados por Chernobyl

Enfermedad	Característica, área	Autor
Alteraciones del ritmo cardiaco	En más del 70% de los niños con una edad promedio de un año, en los territorios con 5-20 Ci/km ² , Ucrania	Tsybul'skaya <i>et al.</i> , 1992
Alteraciones de la regulación vegetativa de la actividad cardiaca	En los niños de los territorios contaminados de Bielorrusia	Nedvetskaya, Lialykov, 1994; Sykorenskyi, Bagel', 1992; Goncharik, 1992
Hipertensión arterial	Correlacionada con un nivel de Cs-137 incorporado en el área de Gomel, Bielorrusia	Kienya, Ermolitsky, 1997
Número de linfocitos B y T	Correlacionado con el nivel de Cs-137 incorporado las áreas de Mogyliv y Gomel, Bielorrusia	Dzykovich <i>et al.</i> , 1996; Nesterenko, 1996; Bandajevsky, 1999; Khmara <i>et al.</i> , 1993;
	En niños de 10-13 años de edad en los territorios altamente contaminados del área de Kursk, Rusia	Alymov <i>et al.</i> , 2004
Linfopenia	Aumento de los casos en los territorios contaminados, Bielorrusia, Rusia	Lukianova, Lenskaya, 1996; Sharapov, 2001; Vasyna <i>et al.</i> , 2005
Bradycardia	Más frecuente en niños y adolescentes de los territorios contaminados, Ucrania	Kostenko, 2001
Hiperplasia linfoide	Incidencia del 30% en niños de los territorios altamente contaminados en los primeros meses tras la catástrofe, Ucrania	Stepanova, 1995
Enfermedad hematológica	Incidencia del 90% en niños de los territorios altamente contaminados en los primeros meses tras la catástrofe, Ucrania	Stepanova, 1995
	Aumento de la frecuencia entre 1.220.424 recién nacidos en los territorios con más de 1 Ci/km ² , Bielorrusia	Busuet <i>et al.</i> , 2002
	3,7 - 6,9 veces más (en comparación con otras áreas) en los tres distritos más contaminados del área de Bryansk, Rusia	Komogortseva, 2001
	Aumento de más de un factor dos en 2002 en los distritos altamente contaminados del área de Tula, Rusia	Sokolov, 2000
Conductividad cardiaca	El nivel de alteración correlacionado con la contaminación radioactiva de los territorios, Bielorrusia	Bandajevsky, 1997, 1999
Elasticidad de los vasos arteriales	Disminución en todos los niños (incluyendo los niños "sanos") en los territorios contaminados de las áreas de Gomel y Brest, Bielorrusia	Arynchin <i>et al.</i> , 1996

1.2.3. Enfermedades del sistema dental

Las enfermedades de sistema dental en los niños son más frecuentes en los territorios radiactivamente contaminados por Chernobyl (Tabla 25).



Tabla 25 Incidencia de las enfermedades dentales en niños en los territorios contaminados por Chernobyl

Enfermedad	Característica, área	Autor
Caries	Aumento del número de casos y de la intensidad en los niños y adolescentes de los territorios más contaminados, Bielorrusia y Rusia	Mel'nichenko, Cheshko, 1997 Sevbitov, 2005
Resistencia del esmalte al ácido	Disminuida en los territorios más contaminados, Bielorrusia	Mel'nichenko, Cheshko, 1997
Paradontosis	Mayor intensidad en aquellos irradiados <i>in útero</i> , Rusia	Sevbitov, 2005
Combinaciones de anomalías del sistema dental	Mayor intensidad en aquellos irradiados <i>in útero</i> ; mayor frecuencia en los territorios contaminados, Rusia	Sevbitov, 2005

La frecuencia de algunas enfermedades dentales está relacionada con el nivel de contaminación radiactiva (Tabla 26).

Tabla 26 Frecuencia de anomalías dentales (%) en niños en territorios con diferentes niveles de contaminación radiactiva (áreas de Tula y Bryansk, Rusia),* (Sevbitov et al., 1999).

	Hasta 5 Ci/km ²	5-15 Ci/km ²	15-45 Ci/km ²	Niños nacidos
Anomalías dentales	3,7	2,4	2,8	Antes de 1986 (n = 48)
	4,2	4,6	6,3	Después de 1986 (n = 82)
Anomalías de la alineación de dientes	0,6	0,4	0,6	Antes de 1986 (n = 8)
	0,6	0,6	1,7	Después de 1986 (n = 15)
Oclusión	2,6	2,4	2,2	Antes de 1986 (n = 39)
	4,4	5,2	6,3	Después de 1986 (n = 86)
Normal para su edad	5,3	5,7	3,1	Antes de 1986 (n = 77)
	2,6	2,0	0,6	Después de 1986 (n = 28)

* 5 Ci/km² - Don, área de Tula (183 personas); 5 - 15 Ci/km² - Uzlovaya, área de Tula (183 personas); 15 - 45 Ci/km² - Novozybkov, área de Bryansk (178 personas).

12.4. Malformaciones congénitas

Las malformaciones congénitas, tales como el labio leporino y el paladar hendido, la duplicación de los riñones, la polidactilia, anomalías del desarrollo del sistema nervioso y sanguíneo, amelia (ausencia de uno o varios miembros), anencefalia, espina bifida, atresia esofágica y anorectal, malformaciones múltiples etc., han aumentado en los territorios

radiactivamente contaminados por Chernobyl (Lazjuk *et al.*, 1997; 1999; Surykov, 1996; Goncharova, 2000, Ibragimova, 2003; Dubrova *et al.*, 1996, y muchos otros).

La Tabla 27 presenta la frecuencia de malformaciones congénitas en los niños que nacieron 1-3 años tras la catástrofe en 15 distritos con más de 15 Ci/km² de contaminación por Cs-137, y en la Tabla 28 los datos generales a lo largo de todo Bielorrusia.

Tabla 27: Frecuencia de las malformaciones congénitas (por cada 1000 nacimientos vivos) en los 15 distritos de las áreas de Gomel y Mogilyov, Bielorrusia, que nacieron antes y después de la catástrofe de Chernobyl (Nesterenko, 1996)

	1982 - 1985	1987 - 1989
Área de Gomel		
Braginsky	4.09 ± 1.41	9.01 ± 3.02
Buda-Koshelevsky	4.69 ± 1.21	9.33 ± 2.03*
Vetkovsky	2.75 ± 1.04	9.86 ± 2.72
Dobrushinsky	7.62 ± 1.96	12.58 ± 2.55
El'sky	3.26 ± 1.35	6.41 ± 2.42
Kormyansky	3.17 ± 1.20	5.90 ± 2.08
Lel'tchitsky	3.28 ± 1.16	6.55 ± 1.98
Loevsky	1.56 ± 1.10	3.71 ± 2.14
Khoyniksky	4.37 ± 1.16	10.24 ± 2.55*
Chechersky	0.97 ± 0.69	6.62 ± 2.33*
Área de Mogelyov		
Bykhovskiy	4.00 ± 1.07	6.45 ± 1.61
Klymovichsky	4.77 ± 1.44	3.20 ± 1.43
Kostjukovichsky	3.00 ± 1.22	11.95 ± 2.88 **
Krasnopol'sky	3.33 ± 1.49	7.58 ± 2.85
Slavgorodsky	2.48 ± 1.24	7.61 ± 2.68
Cherykovsky	4.08 ± 1.66	3.59 ± 1.79
Todos los territorios	3.87 ± 0.32	7.19 ± 0.55 ***

* $P > 0.05$; ** $P > 0.01$; *** $P > 0.001$

Tabla 28: Incidencia de las malformaciones congénitas (por cada 1000 nacimientos vivos) en los territorios con diferentes grados de contaminación radiactiva por Chernobyl, Bielorrusia (Lazjuk *et al.*, 1999)

	≥15 Ci/km ² , 17 distritos		<1 Ci/km ² , 30 distritos	
	1982-1985	1987 - 1995	1982-1985	1987 - 1995
Anencefalia	0,28	0,44	0,35	0,49
Espina bífida	0,58	0,89	0,64	0,94*
Labio leporino o paladar hendido	0,63	0,94	0,50	0,95*
Polidactilia	0,10	1,02*	0,26	0,52*
Amelia	0,15	0,49*	0,20	0,20
Síndrome de Down	0,91	0,84	0,63	0,92*
Malformaciones múltiples	1,04	2,30*	1,18	1,61*
Total	3,87	7,07*	3,90	5,84*

* $P > 0.05$



La Tabla 29 presenta los datos sobre la incidencia de las malformaciones genéticas en los territorios contaminados, tales como Bielorrusia, Rusia y Ucrania (para otros países véase el artículo de Inge Schmitz-Feuerhake en este mismo libro).

Tabla 29: Incidencia de las malformaciones congénitas en los territorios contaminados por Chernobyl

Carácter	Característica, área	Autor
Malformaciones congénitas del sistema nervioso central	Aumento entre los recién nacidos que murieron entre 1987 y 1995 en las áreas contaminadas, Bielorrusia	Dzykovich, 19 y 96
	Aumento de la frecuencia de la hidropesía cerebral - 19,6 %, tumor cerebral (meduloblastoma) - 59,6 % de 1987 a 1992, Ucrania	Orlov, 1993
Todos los casos de malformaciones congénitas registrados	Aumento de los abortos legales en las áreas contaminadas, Bielorrusia	Lazjuk <i>et al.</i> , 1997
	Aumento en los territorios contaminados de las áreas de Bryansk y Tula, Rusia	Ljaginskaja, Osypov, 1995; Ljaginskaja <i>et al.</i> , 1996;
	Aumento de un factor dos entre los niños irradiados en los meses 4-6 <i>in útero</i> , respecto a los irradiados antes y después, Bielorrusia	Lomat', 1996
	Aumento de un factor 1,8 en los territorios contaminados entre 1985 y 1999 en el área de Zhytomir, Ucrania	Fedoryshin <i>et al.</i> , 2001
	Aumento anual de hasta 2500 con un pico en 1990, Ucrania, Bielorrusia	Golubchikov <i>et al.</i> , 2002; Orlov, 1995; Goncharova, 2000; Lazjuk <i>et al.</i> , 1997
Síndrome de Down	Aumento entre aquéllos irradiados <i>in útero</i> , Ucrania	Stepanova, 1995
	Aumento de los territorios más contaminados del área de Bryansk, Rusia	Kapustina, 2005
	Aumento entre los abortos en los territorios más contaminados, Bielorrusia	Ljaginskaja <i>et al.</i> , 1997
	Aumento de la frecuencia en enero de 1987 en las áreas de Gomel y Minsk, Bielorrusia	Lazjuk <i>et al.</i> , 2002
Malformaciones congénitas oculares	Aumento de un factor cuatro en 1988-1989 en comparación con 1961-1972 en el área de Gomel, Bielorrusia	Byrich <i>et al.</i> , 1999

12.5. Enfermedades mentales

Las enfermedades del desarrollo intelectual en los niños irradiados *in útero* y/o provocadas por la irradiación en los territorios contaminados son las consecuencias más trágicas del impacto de la catástrofe de Chernobyl sobre la salud (véase también el artículo de Konstantin Loganovsky en este libro). Los niños irradiados no han podido seguir el ritmo de los otros niños (Tabla 30).

Tabla 30: Número de niños (%) con desviaciones del desarrollo intelectual en los territorios radiactivamente contaminados de Ucrania, Bielorrusia y Rusia (Medical consequences..., 1995; Prilipko et al., 1995)

Grupo de niños	Tests			Grado de enfermedades nerviosas	
	«Dibujo de un hombre»	Matrices progresivas de Raven	«Diccionario británico»	Escala de Ratter A(2)	Escala de Ratter B(2)
Bielorrusia (n = 1861)					
Contaminado	3.2	17.2	31.6	42.7	34.3
Limpio	3.0	15.1	20.6	26.6	33.3
Rusia (n = 1025)					
Contaminado	5.7	5.9	12.9	50.0	50.0
Limpio	4.7	2.0	2.7	33.3	33.3
Ucrania (n = 1347)					
Contaminado	4.3	10.9	7.2	53.9	63.2
Limpio	2.6	3.5	4.9	29.9	33.5

Los niños con una edad de 6-7 años nacidos en mayo-febrero de 1987 cuyas madres fueron evacuadas de una zona con más de 40 Ci/km², o vivieron en una zona de 5-40 Ci/km² irradiados *in útero*, sufrieron una mayor frecuencia de alteraciones neuróticas, patologías del sistema nervioso central y retrasos del desarrollo mental en comparación con los niños de las áreas no tan contaminadas ("limpias") de Bielorrusia (Tabla 31).

Tabla 31: Influencia de la irradiación *in útero* sobre el desarrollo intelectual de los niños, Bielorrusia (Gaiduk et al., 1994; Kolominsky, Igumnov, 1994)

Carácter	Irradiados (n = 154)	Grupo de control (n = 90)
Enfermedades neuróticas	36,40 ± 3,88	13,30 ± 3,58*
Síndrome asténico	53.5	15.6**
Distonía vegetativa	76.6	33.3*
Patología orgánica del SNC	20,80 ± 3,15	6,70 ± 2,63**
Retraso del desarrollo mental	18,80 ± 3.15	7,80 ± 2,82*
Patología EEG: tipo lento	31.2	2.2

* $P > 0.01$; ** $P > 0.001$.

Algunas publicaciones que testifican el impacto de la irradiación de Chernobyl sobre el desarrollo intelectual y mental han sido brevemente enumeradas en la Tabla 32.



Tabla 32 Resumen de los datos sobre el impacto de la irradiación de Chernobyl sobre el desarrollo psicológico de los niños.

Carácter	Características, área	Autor
Retraso de la habilidad para hablar, disminución del desarrollo psico-emocional, cociente intelectual bajos	En niños irradiados <i>in útero</i> , Bielorrusia, Ucrania	Belookaya, 1993; Bugaev <i>et al.</i> , 1993; 1995; Basył'chik, Lobach, 1995; Nyagu, Loganovsky, 1998; Kolominsky <i>et al.</i> , 1999; Basył'chik <i>et al.</i> , 2001; Nyagu <i>et al.</i> , 2002
Desviaciones en el desarrollo mental	En niños de 5-6 años irradiados <i>in útero</i> , Ucrania	Pasechnik, Chuprykov, 1993;
	En casi el 30% de los irradiados <i>in útero</i> , Ucrania	Stepanova, 1995
	Más frecuente en aquellos irradiados <i>in útero</i> (comparación de 895 niños que fueron nacidos entre 1984-1990) en el área de Tula, Rusia	Ermolyna, Suchotina, 1995
Retraso del desarrollo mental, alteraciones de la memoria, inmadurez para la escuela	Irradiados <i>in útero</i> , Ucrania	Zapesochnyi <i>et al.</i> , 1995
Patología orgánica del cerebro	2 % de los irradiados <i>in útero</i> entre los evacuados, Ucrania	Nyagu, Loganovsky, 1998
Disminución del desarrollo psicomotor	Entre aquellos irradiados <i>in útero</i> durante las semanas 8 - 25 de embarazo, ciudad de Novozybkov, área de Bryansk, Rusia	Ulyanova <i>et al.</i> , 1995
Características de reacciones neurológicas	Diferencias entre los niños de 12-13 años de edad de los territorios muy contaminados y menos contaminados del área de Bryansk, Rusia	Korsakov, 2005
Epilepsia y afecciones relacionadas con la epilepsia	Aumento en los niños evacuados de la ciudad de Pripyat, Ucrania	Chuprykov <i>et al.</i> , 1996
Deficiencia intelectual	Niños de 7-9 años de edad, correlación con el nivel de irradiación <i>in útero</i> , Bielorrusia, Ucrania	Stepanov <i>et al.</i> , 1993; Igumnov <i>et al.</i> , 1993
Retraso de 0,5-1,5 años en el desarrollo del habla; un retraso del desarrollo psicomotor; disminución del umbral convulsivo, retraso del desarrollo psicomotor	Irradiados <i>in útero</i> (370 niños, estudiados a la edad de 3, 5-5 años), Bielorrusia	Tereschenko <i>et al.</i> , 1992
Esquizofrenia	Mayor tasa entre los niños nacidos en los territorios contaminados	Ermolyna., 1994
	Aumento en todos los grupos irradiados	Loganovsky, Loganovskaya, 2000

La explicación oficial de estas claras y profundas alteraciones de la habilidad mental en los niños irradiados es que todo esto es el resultado del estrés, no el impacto de la irradiación. Sin embargo, el estrés no provoca esquizofrenia, epilepsia o daños orgánicos en el cerebro.

13. El estudio de un caso: la salud post-Chernobyl de un distrito de Ucrania

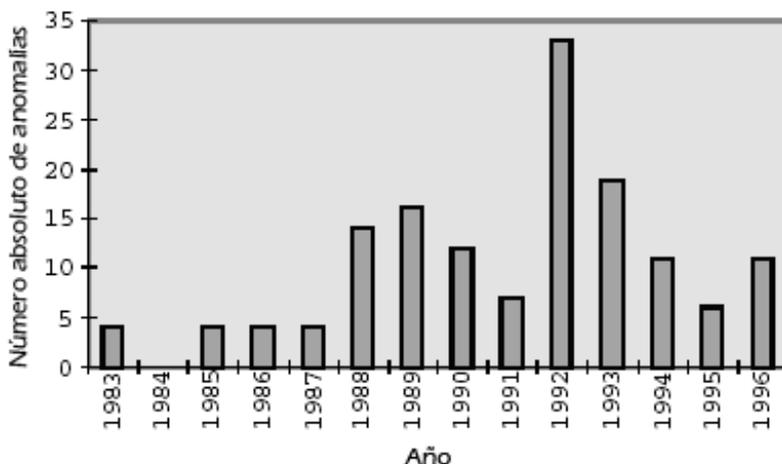
La morbilidad recién mencionada, expresada en grupos separados de enfermedades, no nos proporciona una imagen completa de la devastación sufrida en los territorios radiactivamente contaminados por Chernobyl. En un intento por captar esta imagen, la Tabla 33 presenta algunas estadísticas de salud para un distrito administrativo remoto de Ucrania del área de Zhytomir - el distrito de Lugyny. El distrito de Lugyny es un distrito administrativo situado a 110 Km. al suroeste de la central nuclear de Chernobyl. La población en 1986 era de 29.276, y en 1996 era de 22.552, incluyendo 4227 niños. En este territorio se encuentran 22 pueblos con 1-5 Ci/km² y 26 pueblos con menos de 1 Ci/km². Toda la información médica para este estudio fue recolectado por las mismas personas, con el mismo equipo y los mismos protocolos antes y después de la catástrofe en el Hospital Central del Distrito de Lugyny.

Tabla 33 Dinámica del Estado de Salud de los residentes del Distrito de Lugyny diez años después de la catástrofe de Chernobyl (Godlevsky, Nasvit, 1999).

	1984 - 1985	1995 - 1996
Duración de la vida tras el diagnóstico de un cáncer de pulmón o estómago (meses)	38 – 62	2 – 7,2
Detección de la primera fase de tuberculosis destructivas (% de tuberculosis total detectada por primera vez, por cada 100.000)	17,2 – 28,7	41,7 – 50,0
Patología endocrina (por cada 1000 niños)	10,	90 – 97
Bocio (por cada 1000 niños)	Sin registros	12 – 13
Morbilidad neonatal (por cada 1000)	25 – 75	330 – 340
Mortalidad total (por cada 1000)	10,9	15,5
Esperanza de vida	75 años	65 años

La Fig. 1 presenta la tasa anual de malformaciones congénitas en el área del distrito de Lugyny.

Fig. 1. Tasa anual de malformaciones congénitas en el área del distrito de Lugyny (Godlevsky, Nasvit, 1999).





En este capítulo he resumido únicamente una pequeña parte de los datos disponibles en materia de salud pública tras la catástrofe de Chernobyl. La observación de los datos sobre las consecuencias de la catástrofe de Chernobyl en la salud pública no deja lugar al optimismo: la mortalidad y la morbilidad en los territorios contaminados continuará creciendo.

Esta conclusión está basada (junto con otros argumentos) en lo siguiente:

- Una contribución cada vez mayor a la dosis colectiva en los territorios con una pequeña densidad de contaminación radiactiva.
- Un cada vez mayor (en vez de ser menor) impacto radiactivo (dosis y ritmo de dosis) debido a la cada vez mayor irradiación interna.
- El final del periodo de latencia para varias enfermedades cancerosas.
- La intensificación de muchas enfermedades no cancerosas como resultado del daño sufrido por el sistema inmune y el empeoramiento de la inestabilidad genómica.

Cada año se ha hecho más evidente que las consecuencias reales de esta catástrofe son mucho más extensas y graves que las predicciones hechas por los adeptos de la industria nuclear. A pesar de ello, nosotros, todavía muy lejos de comprender todas las consecuencias de la catástrofe de Chernobyl, queremos enfatizar que esta catástrofe ha tenido consecuencias a nivel global y que continuará teniéndolas durante muchos cientos de años.

Necesitamos una mejor estimación sobre las consecuencias reales de la catástrofe sobre la salud para mitigar estas consecuencias en la medida de lo posible. Pero como mínimo, es urgente que se tomen las siguientes medidas:

- Una intensificación y ampliación (en vez de una reducción - tal y como ha venido sucediendo en los últimos años en Rusia, Ucrania y Bielorrusia) de las investigaciones médicas, ecológicas y radiológicas
- Un fortalecimiento y enriquecimiento del sistema de clínicas y hospitales médicos en todos los territorios contaminados
- Una evaluación de la dosis individual real para cada persona irradiada y, con esa base, la creación un plan de apoyo médico para cada individuo.
- Los legisladores tienen que mirar a los ojos a la verdad. En vez de el eslogan pro-nuclear de “Es hora de olvidar Chernobyl”, necesitamos otro: “Es hora de encontrar una manera de vivir con Chernobyl para siempre”.

Referencias

- Akulich N.S., Gerasymovich G.I. 1993. Indices of physical development of newborns after low dose irradiation. "Belarusian Children Health under modern ecological conditions (Consequences of the Chernobyl catastrophe)". VI Pediatric Congress of Belarus, Coll. Papers, Minsk, p.9 (in Russian).
- Alexievich S. 1997. Chernobyl prayer (chronic for future). Moscow, Publ. "Ostozh'e", 223 p. (in Russian).
- Alymov N.I., Pavlov A.Yu., Sedunov S.G., Gorshenin A.V., Popovich V.I., Loskutova N.D., Belobrovkin E.A. 2004. Immune system at person living on the Chernobyl irradiated territories. Russ. Sci.- Pract. Conf.: «Med.- Biol. Problems of Radio- and Chemical Protection., 20 - 21 May, 2004, Sant-Peterburg, Russia", , Coll. Papers, Sank-Peterburg, pp. 45 - 46 (in Russian).
- Antipkin Yu.G., Arabaskaya L.P. 2001. 3rd Int. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: the results of 15 years investigations", 4 - 8 June, Kiev, Ukraine", Abstracts, Kiev, pp. 151 - 152 (in Russian).
- Antonov E.Z., Ostreiko N.N. 1995. Lymph-adenoid ring' condition and children' enterobiosis in Gomel. Int. Sci. Conf. devoted by 5-th years establishing of the State Gomel Med. Ins., 9 - 10 November, 1995, Gomel, Belarus", Materials, Gomel, pp. 86 - 87 (in Russian).
- Antypova S.I. Babichevskaya A.I. 2001. Belarusian adult mortality of the evacuees. 3rd Int. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: the results of 15-years Researches, 4 - 8 June, 2001, Kiev, Ukraine", Abstracts, Kiev, pp. 152 - 153 (in Russian).
- Arynchin A.N., Krotkaya N.A., Bortnik O.M. 1996. Brain circulation at children living on the radioactive contaminated territories of Belarus. Inter. Sci. Conf.: "10 years after the Chernobyl catastrophe (scientific aspects of problem). 28 - 29 February 1996, Minsk, Belarus", Abstracts, Minsk, p. 13 (in Russian).
- Arynchin A.N., Avhacheva T.V., Gres N.A., Slobozhanina E.I. 2002. Health State of Belarusian Children suffering from the Chernobyl Accident: Sixteen Years after the Catastrophe. In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Res. Reactor Institute, Kyoto University (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 231- 240.
- Astachova L.N., Demidchik E.P., Polyanskaya O.N. 1995. The main radiation risk' system: Thyroid carcinoma at Belarusian children after the Chernobyl accident. IV Int. Conf. : "Chernobyl catastrophe: Prognosis, prophylactics, treatment and medical-psychological rehabilitation of suffers." Collect. Materials., Minsk, pp. 119 - 127 (in Russian).
- Babych T., Lypchanska L.F. 1994. State of hypophysis - thyroid system women under low radiation impact. "Functional methods in obstetrician and gynecology", Sci.- Pract. Conf. Ukrainian obstetr.-gynecologists, 19-20 May, 1994, Donetsk, Ukraine", Abstracts, Donetsk, p. 9 (in Ukrainian).
- Baeva E.V., Sokolenko V.L. 1998. T-lymphocyte's surface marker's expression after low dose irradiation. Immunol., № 3, pp. 56 - 59 (in Russian).
- Basyl'chik S.V., Lobach I.V. 1995. Children's intellectual development after ionizing radiation of radio-Iodine nuclides in utero and in the first year of life with connection of the Chernobyl accident. Sci. Conf.: "Actual and prognosis disturbances of the psychic health after nuclear catastrophe in Chernobyl, 24 - 28 May, 1995, Kiev, Ukraine". Materials, Kiev, Assoc. "Chernobyl Doctors", p. 306 (in Russian).
- Bandajevsky Yu.I., Kapytonova E.K., Troyn E.I. 1995. Expression of allergy to cow milk proteins and cortisol level in blood at children from the radionuclides polluted territories. In: "Actual problems of Immunology and Allergology.", III Congress Belarus. Sci. Soc. Immun. Allerg., Abstracts, Grodno, p. 111 (in Russian).
- Bandajevsky Yu.I. 1999. Pathology of incorporated ionizing radiation. Gomel State Med. Inst. Minsk, 136 p. (in Russian).
- Batyan G.M., Kozharskaya L.G. 1993. Juvenile rheumatoid arthritis at children from the radioactively polluted areas. VI Byelorussian Pediatric Congr.: "Byelorussian children' health under modern ecological condition (Consequences of the Chernobyl catastrophe)." Materials, Minsk, pp. 18-19 (in Russian).



- Belookaya T.V., Koryt'ko S.S., Mel'nov S.B. 2002. Medical effects of the low doses of ionizing radiation. 4th Int. Congress on Integrative Anthropology, Materials, Sant-Peterburg, pp.24 - 25 (in Russian).
- Belookaya T. V. 1993. Dynamics of the children health status of Belarus under modern ecological conditions. "The Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of the suffers. Collection of Conf. Materials , Minsk, pp. 3-10 (in Russian).
- Bezdrobna L., Tsyaganok T., Romanova O., Tarasenko L., Tryshyn V., Klimkina L. 2002. Chromosomal Aberrations in Blood Lymphocytes of the Residents of 30-km Chernobyl NPP Exclusion Zone. In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 277 - 287.
- Byrich T.V., Birich T.A., Pesaerenco D.K. 1994. Diagnostics, clinical characters and prophylactics of the cancer' setback at adults and children. Conf.: "The Chernobyl catastrophe: prognosis, prophylactics, treatment and medical-psychological rehabilitation of the suffers. Collect. of Materials, Minsk, pp. 32 - 34 (in Russian).
- Byrich T.A., Chekina A.Yu., Marchenko L.N., Ivanova V.F., Dulub L.V. 1999. Ophthalmopathology at children are inhabit of the radioactively polluted territories of Belarus, and liquidators. Ecological Anthropology. Almanac. Minsk, Byelorussian Committee "Chernobyl Children", pp. 183 - 184 (in Russian).
- Byrjukova L.V., Tulupova M.I. 1994. Dynamics of the endocrine pathologies in Gomel area, 1995—1993. Materials Int. Sci. Symp. «Medical aspects of the radioactive impact on population in the Chernobyl polluted territories», Gomel, p. 29 (in Russian).
- Bochkov N.P. 1993. Analytical review of cytogenetic studies after Chernobyl accident. Russ. Med. Acad. Herald, # 6, cc. 51-56 (in Russian).
- Bochkov N.P., Chebotarev A.N., Katosova L.D., Platonova V.I.. 2001. Data base for quantitative characteristics of chromosomal aberrations frequency in human peripheral blood lymphocytes assay. Genetic, vol. 37, N 4, pp. 549 - 557 (in Russian).
- Bogdanovich I.P. 1997. Comparative analysis of children (0-5 years) mortality in 1994 in the radioactively polluted and clean areas of Belarus. Medical;-biolog. Effects and ways to overcomes the consequences of the Chernobyl accident. Collection of sci. papers devoted by 10th anniversary of Chernobyl accident, Minsk -Vitebsk, p. 4 (in Russian).
- Bozhko A.V. 2004. Remote results of long-time impact of low ionizing irradiation on lymphoid structures of children pharynx. Otolaryngology Herald , № 4, pp. 9-10 (in Russian).
- Bortkevich L.G., Konoplya E.F., Rozhkova Z.A. 1996. Immunotropic effects of the Chernobyl catastrophe. Conf. "10 years after the Chernobyl catastrophe: Scientific problems", Abstracts, Minsk p. 40 (in Russian).
- Borschevsky V.V., Kalechitc O.M., Bogomazova A.V. 1996. Tendencies in the tuberculosis morbidity after the Chernobyl catastrophe in Belarus. Med.-biol. aspects of the Chernobyl accident, № 1, pp. 33-37 (in Russian).
- Bugaev V.N., Lagutin A.Yu., Druzhynyna E.S. 1993. Sensor's speech infringements and vegeto-distonia at 4-5 years old children living in Kiev. Social-psychological and psycho-neurological aspects of the Chernobyl accidents consequences. Materials of the scientific Conf. of the CIS states with international participation. Kiev, p. 229 (in Russian).
- Bugaev V.N., Pyatak O.A., Lagutin A.G., Shul'zhenko V.B. 1995. Psychical health of the irradiated Ukrainian children. Materials Inter. Conf. "Actual and prognostic infringements of psychic health after nuclear catastrophe in Chernobyl", 24 - 28 May, 1995, Ukraine, Kiev., p.18 (in Russian).
- Chuprykov A.P., Chupykova E.G., Danylov V.M., Myljuta E.L. 1996. Phenomenon of paroxysmal braking at children after the Chernobyl accident. Arch. Psych., № 10 - 11, pp. 53 - 54 (in Ukraine).
- Danil'chik V.S., Ustynovich A.K., Vasylevsky I.V. 1996. Hormonal- biochemical homeostasis at the newborns in the radioactively polluted areas. Public Health, № 5, pp. 17-19 (in Russian).
- Demedchik E.P., Demedchik Yu.E., Rebeko V. Ya. 1994. Thyroid' cancer in children. Materials Inter. Sci. Sympos. «Medical aspects radioactive impact on population in the Chernobyl polluted areas». Gomel, pp. 43—44 (in Russian).

- Dubovaya N.I. 2005. Comparative analysis of allergosis' distribution among green-houses workers of Bryansk area. MaterilasInter. Sci.-pract. Conf. «Chernobyl – 20 years after. Social-Economical Problems and perspective for development of suffering territories», Braynsk, p. 156 (in Russian).
- Dubrova Y.E., Nesterov V.N., Krouchinsky N.G., Ostapenko V.A., Neumann R., Neil D.L., Jeffreys A.J. 1996. Human minisatellite mutation rate after the Chernobyl accident. *Nature*, vol. 380, April 15, pp. 683-686.
- Dubrova Y.E., Nesterov V.N., Krouchinsky N.G., Ostapenko V.A., Vergnaud G., Giraudeau F., Buard J., Jeffreys A.J. 1997. Further evidence for elevated human minisatellite mutation rate in Belarus eight years after the Chernobyl accident. *Mutat. Res.*, Vol. 381, pp. 267-278.
- Dubrova Y.E., Grant G., Chumak A.A., Stezhka V.A., Karakasian A.N. 2002. Elevated Minisatellite Mutation Rate in the Post-Chernobyl Families from Ukraine. *Am. J. Hum. Genet.*, vol. 71, pp. 800- 809.
- Dubrova, Y.E. and Plumb, M.A. 2002. Ionising radiation and mutation induction at mouse minisatellite loci: The story of the two generations. *Mutat. Res.*, # 499, pp.143–150.
- Duda V.I., Kharkevich O.N. 1996. Endocrine mechanisms of adaptations in the dynamics of gestation process at women under chronic radiation stress. «Motherhood and childhoods protection under impact of consequences of the Chernobyl catastrophe». Materials of scientific investigations, 1991-1995. Minsk, part. 1, pp. 96 – 99 (in Russian).
- Dudynskaya R.A., Surina N.V. 2001. Condition of the thyroid system of родильниц, from the radionuclides' pollution in Gomel area. 3rd Iner. Conf. " Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: Results of 15-years investigations. 4-8 June 2001 , Kiev, Ukraine". Abstracts, pp. 192 -193 (in Russian).
- Dzykovich I.B., Kornilova T.I., Kot T.I., Vanilovich I.A. 1996. Health condition of the pregnant and newborns from different areas of Belarus. Medical-Biological aspects the Chernobyl accident. № 1, pp. 16 – 23 (in Russian).
- Dzikovich I.V. 1996. Epidemiological analysis of ecologically dependent perinatal illnesses in Belarus. Sci. Congr.: "10 years after the Chernobyl catastrophe (scientific aspects of problem)", Abstracts, Minsk, p. 87 (in Russian).
- Edwards R. 1995. Will it get any worse? *New Sci.* Dec. 9. pp. 14 – 15.
- Ermolyna L.A., Sosyukalo O.D., Suchotina N.K. 1994. Low doses impact on neuro-psychical health of children (methods and preliminary results). Part 1. Social and Clinical Psychiatry, vol 4, # 1, pp. 37 - 43 (in Russian).
- Ermolyna L.A., Suchotina N.K. 1995. Comparative analysis of the neuro-psychical pathologies of group of children, irradiated in utero and in postnatal period. Materials Inter. Conf. "Actual and prognostic infringements of psychic health after nuclear catastrophe in Chernobyl. 24 – 28 May 1995. Kiev, Ukraine", Kiev, p. 310 (in Russian).
- Evetz L.V., Lyalykov S.A., Ruksha T.V. 1993. Characters of immune infringements at children in connection of spectrum of the isotopic pollution of territory. Conf. "Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of sufferers". Collection of Materials. Minsk, pp. 83 – 85 (in Russian).
- Gaiduk F.M., Igumnov S.A., Shal'kevich V.B. 1994. Complex estimation of the psychical development of children suffering from radionuclides after the Chernobyl catastrophe. Social and clinical psychiatry, vol. 4, № 1, pp.. 44 – 99 (in Russian).
- Gapanovich V.M., Shuvaeva L.P., Vinokurova G.G., Shapovalyuk N.K., Yaroshevich R.F., Mel'chakova N.M. 2001. Impact of the Chernobyl catastrophe to blood' depressions at Belarusian children. 3rd Iner. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl catastrophe:results of 15-years investigations. 4-8 June, 2001, Kiev, Ukraine", Abstracts, pp. 175 -176 (in Russian).
- Godlevsky I., Nasvit O. 1999. Dynamics of Health Status of Residents in the Lugyny District after the Accident at the ChNPS. In: Imanaka T. (Ed.) Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kioto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79, pp. 149 – 157.
- Golovko O.V., Izhevsky P.V. 1996. Studies of the reproductive behaviour in Russian and Belorussian populations, under impact of the Chernobyl ionizing irradiation. *Rad. Biol., Radioecol.*, vol. 36, # 1, pp. 3 – 8 (in Russian).



- Golubchikov M.V., Michnenko Yu.A., Babynets A.T. 2002. Changes in the Ukrainian public health at post-Chernobyl period. 5 Annual Sci.-Pract. Conf.: "To XXI Century - with safety nuclear technologies", Slavutich, 12-14 January, 2001". Scientific and Technological Aspects of Chernobyl, № 4, pp. 579 – 581 (in Ukrainian).
- Goncharik I.I. 1992. Arterial hypertension at inhabitant's Near-to-Chernobyl zone. Belarusian Public Health, № 6, pp. 10 – 12 (in Russian).
- Goncharova R.I. 2000. Remote consequences of the Chernobyl Disaster: Assesment After 13 Years. In: E.B. Burlakova (Ed.). Low Doses Radiation: Are they Dangerous? NOVA Sci. Publ., pp. 289 – 314.
- Gorptchenko I.I., Ivanyuta L.I., Sol'sky Ya.P. 1995. Genital System. In: Baryachtar V. G. B.Г.(Ed.). Chernobyl Catastrophe. Kiev, «Naukova Dumka» Publ., pp. 471 – 473 (in Russian).
- Goffman J. 1994a. Chernobyl accident: radioactive consequences for the existing and the future generations. Minsk, «Vysheih'saya Shkola» Publ., 576 p. (in Russian).
- Goffman J. 1994b. Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: an Independent Analysis. Translation from English Edition (1990). Social Ecological Union Publ., Moscow, vol. 1,2, 469 p. (in Russian).
- Grodzinsky D.M. 1999. General situation of the Radiological Consequences of the Chernobyl Accident in Ukraine. In: Imanaka T. (Ed.) Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-7), pp. 18 – 28.
- Gudkovskiy I.A., Kul'kova L.V., Blet'ko T.V., Nechai E.V. 1995. Children health and level of Cs-137 pollution in the invalidated territories. Intern. Sci. Conf. Devoted 5th anniversary of Gomel State Med. Inst., 9 - 10 November 1995, Гомель, Belarus", Materials, Gomel, pp. 12 – 13 (in Russian).
- Gurmanchuk I.E., Tythov L.P., Kharytonik G.D., Kozlova N.A. 1995. Comparative characteristics of immune status of the sick children in Gomel', Mogilyov' and Brest' areas. Actual problems of immunology and allergology. 3rd Congress Beloru. Sci. Society of Immunologists and Allergologists. Abstracts. Grodno, pp. 79 – 80 (in Russian).
- Health Consequences of the Chernobyl Accident. 1995. Results of the IPHECA Pilot Projects and Related National Programmes. Scientific Report of the International Programme on the Health Effects of the Chernobyl Accident. WHO. Geneva, 560
- Ibragimova A.I. 2003. Clinical data on genotoxic action of ionizing radiation. Russ. Herald Perinatol., Pediatr., vol. 48, № 6, pp. 51 – 55 (in Russian).
- Ivanenko G.F., Suskov I.I., Burlakova E.B. 2004. Glutathione level and cytogenetic characters in peripheral lymphocytes at children under low dose impact. Herald of Russ. Acad. Sci., Seria Biologia, № 4, pp. 410 – 415 (in Russian).
- Ignatov V.A., Selyvestrova O.Yu., Tsurykov I.F. 2001. Eho 15th post-Chernobyl years in Kaluga land. "Legacy of Chernobyl". Materials Sci.-Pract. Conf. "Medical-psychological , radio ecological and social-economical consequences of the Chernobyl accident in Kaluga area". Kaluga, Obninsk, # 3, pp. 6 – 15 (in Russian).
- Igumnov S.A., Sekatch N.S., Chuiko Z.A. 1993. Complex diagnostics of psychic development of children after of radioactive impact during critical period of cerebrogenesis. Conf.: "Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of the suffers". Collection of materials, Minsk, pp. 14 – 15 (in Russian).
- Imanaka T. (Ed.) 2002. Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia, Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, 297 p.
- Iskrytskyi A.M. 1995. Humoral immunity and immunological characters of human milk in the radioactively polluted areas of Belarus. «Actual problems of immunology and allergology», III Congress Belorus. Sci. Soc. Immunologists and Allergologists. Abstracts, Grodno, pp. 85 – 86 (in Russian).
- Ivanov V.K., Matveenکو E.G., Byryukov A.P. 1996. Analysis of new registered illnesses at Kaluga area's liquidators. «Legacy of Chernobyl», Materials Sci.-Pract. Conf. "Medical-psychological , radio ecological and social-economical consequences of the Chernobyl accident in Kaluga area". Kaluga, Obninsk, # 2, pp. 233-234 (in Russian).

- Ivanov V.K., Tsyb A.F., Nilova E.V. 1997. Cancer risks in the Kalyga oblast of the Russian Federation 10 years after the Chernobyl accident. *Radiat. Environ. Biophys.* Vol. 36, pp. 161-167.
- Kapustina N.K. 2005. Dynamics of Congenital malformations in Bryansk area, 1999 - 2004. *Materials Inter. Sci.-Pract. Conf.: «Chernobyl - 20 years after. Social-economical problems and perspective for development of the impacted territories»*, Bryansk, pp. 163 - 164 (in Russian).
- Kapytonova E.K., Kryvitskaya L.V. 1994. Babies morbidity structure on the radioactively polluted territories in 6 years after Chernobyl accident. *Materials Inter. Sci. Symp. «Medical Aspects of radioactive impact on populations after the Chernobyl accident»*, Gomel, p. 52 (in Russian).
- Karevskaya I.V., Kurbatskaya G.Ya., Vasil'tsova O.A., Stepunin L.A., Zubareva I.A. 2005. Dispenserization' role in the diagnostics of thyroids deceases at population of South-Western districts of Bryansk area. *Inter. Sci.-Pract. Conf.: «Chernobyl - 20 years after. Social-economical problems and perspective for development of the impacted territories»*, Bryansk, Materials, pp. 164 - 165 (in Russian).
- Kashirina M.A. 2005. Social-ecological factors of public health in the radioactively polluted territories of Bryansk area. *Inter. Sci.-Pract. Conf.: «Chernobyl - 20 years after. Social-economical problems and perspective for development of the impacted territories»*, Bryansk, Materials, pp. 166 - 167 (in Russian).
- Kharytonik G.D., Tytov L.P., Gurmanchuk I.E., Ignatenko S.I. 1996. Character and dynamics immunological characters at children living during seven years in the condition "clean" territories of Bragin district. *Sci. - Pract. Conf. "Remote consequences of irradiation for immune and haemopoetic systems. 7 - 10 October 1996, Kiev, Ukraine"*, Abstracts, Kiev, pp. 59 - 60 (In Ukrainian).
- Khomich G.E., Lysenko Yu.V. 2002. Blood vessels' reographic characters of legs after change of spase position at girls with increasing vessel tonus and living in the radioactively polluted zone. *Brest State Univ., Brest*, 6 p. (in Russian).
- Khmara I.M., Astakhova L.N., Leonova L.L. et al. 1993. Indices of immunity in children suffering with autoimmune thyroiditis. *J. Immunol.* № 2, pp. 56-58.
- Kienya A.I., Ermolitskiy N.M. 1997. Vegetative component of child organism' activity with different level of incorporated Cs-137. In: *Bandajevsky Yu.I. (Ed.) Structural and functional effects of incorporated radionuclides*, Gomel, pp. 61 - 82 (in Russian).
- Kolominsky Ya.L., Igumnov S.A. 1994. Social-psychological factors impact on psychical development of children 6-7 years old, from the Chernobyl territories. *Inter. Conf. "Social-psychological rehabilitation of people suffering from ecological and thechnogenic catastrophes"* Abstractes, Gomel, p. 33 (in Russian).
- Kolominsky Y., Igumonov S., Drozdovitch V. 1999. The psychological development of children from Belarus exposed in the prenatal period to radiation from the Chernobyl atomic power plant. *J. Child Psychol., Psychiat.* Vol. 40, № 2, pp. 299-305.
- Комогортсева Л.К. 2001. Report for Bryansk Duma . prepared by representative L. K. Komogortseva on base on data from Bryansk Committee of Public Health and Bryansk Statistical Bureau. 31 января 2001 г., MS, 4 p. (in Russian).
- Korsakov A.V. 2005. Comparisons of circulatory and neurological reactions of children from the ecologicvally, radioactively and toxically unsafe territories. *Inter. Sci.-Pract. Conf.: «Chernobyl - 20 years after. Social-economical problems and perspective for development of the impacted territories»*, Bryansk, Materials, pp. 171- 173 (in Russian).
- Krapivin N.N. 1997. Chernobyl in Lypetsk: yesterday, today and tomorrow ... Lypetsk, 36 p. (in Russian).
- Kul'kova L.V., Ispenkov E.A., Gutkovsky I.A., Voinov I.N., Ulanovcskaya E.V., Skidanenko G.I., Maevsky G.A., Yunhel' V.V. 1996. Epidemiological monitoring children health on the radionuclides' polluted territories of Gomel area. *Med. Radiol. And Radioact. Safety*, № 2, pp. 12 - 15 (in Russian).
- Kulakov V.I., Sokur A.L., Volobuev A.L. et al. 1993. Female reproductive functions in areas affected by radiation after the Chernobyl power station accident. *Environ. Health Perspect. Suppl.*, Vol. 101.



- Kyra E.F., Tsvelev Yu.V., Greben'kov S.V., Gubin V.A., Chernichenko I.I. 2003. Woman reproductive health in the radioactively polluted territories. *Military-Medical J.*, vol. 324, № 4, pp. 13 – 16 (in Russian).
- Kyril'chek E.Yu. 2000. Characters of immune status and immune-rehabilitation of children on the radionuclides' polluted territories (clinic-laboratory investigation, 1996-1999). Thesis, Dr. Med., Minsk State Med. Inst., Minsk, 21 p. (in Russian).
- Lavdovskaya M.V., Lysenko A.Ya., Basova E.N., Lozovaya G.A., Baleva L.S., Rybalkyna T.N. 1996. Ionizing radiation' impact on the distribution of cryptosporidiosis and pneumocystosis. *Phraseology*, № 2, pp. 153 – 157 (in Russian).
- Lazjuk G.I., Kirillova I.A., Nikolaev D.L. 1994. Dynamics of congenital pathologies in Belarus and the Chernobyl catastrophe. Conf.: Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of the suffers". Collection of materials, Minsk, pp. 167 - 183 (in Russian).
- Lazjuk G.I., Nikolaev D.L., Novikova I.V. 1997. Changes in registred congenital anomalies in the Republic of Belarus after the Cghernobyl accident. *Stem Cells*, 15, Suppl. 2, pp. 255 – 260.
- Lazjuk G.I., Nikolaev D.L., Novikova I.V., Polityco A.D., Khmel R.D. 1999. Belarusian population radiation exposure after Chernobyl accident and congenital malformations dynamics. *Int. J. Rad. Med.* # 1, pp. 63-70.
- Lazjuk G., Satow Y., Nikolaev D., Novikova I. 1999. Genetic Consequences of the Chernobyl Accident for Belarus Republic. In: Imanaka T. (Ed.) *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-7), pp. 174 - 177.
- Lazjuk G.I., Naumchik I.V., Rumyantseva N.V., Polytyko A.D., Khmel' R.D., Egorova T.M., Kravchuk Zh.P., Verje P., Robert V., Satov Yu. 2001. Main results of studied of genetical consequences of the Chernobyl catastrophe at Belarus population. 3rd Inern. Conf. " Medical consequences the Chernobyl catastrophe: results of 15-years investigations. 4-8 June 2001, Kiev, Ukraine". *Abstarctcs*, pp. 221 – 222 (in Russian).
- Lazjuk G.I., Zatsepin I.O., Verje P., Ganier B., Robert E., Kravchuk Zh.P., Khmel' R.D. 2002. Down' Syndrom and ionizing radiation: reason-effect or bychance connetions. *Rad. Biol., Radioecol.*, vol. 42, № 6, pp. 678 – 683 (in Russian).
- Leonova T.A., Astakhova L.N. 1998. Autoimmune thyroiditis at pubertal girls. *Public Health*. № 5, pp. 30 – 33 (in Russian).
- Ljaginskaja A.M., Osipov V.A. 1995. Comparison of estimation of reproductive health of population from contaminated territories of Bryansk and Ryazan areas of the Russian Federation. In: "Radioecological, Medical and Socio-economical Consequences of the Chernobyl Accident. Rehabilitation of Territories and Populations", Moscow. Abstracts, p. 91 (in Russian)..
- Ljaginskaja A.M., Izhewskij P.V., Golovko O.V., 1996. The estimate reproductive health status of population exposed in low doses in result of Chernobyl disaster,. In: IRPA 9. Proceedings of the International Congress on Radiation Protection, Volume 2. pp. 62 – 67.
- Ljaginskaja A.M., Golovko O.V, Osipov V.A. et al. 1997. Criteria for estimation of early deterministic effects in exposed populations, In: Third Congress of Radiation Research, Moscow. pp. 73-74 (in Russian).
- Lialykov S.A., Evets E.V., Makarchik A.V. 1993. Peculiarity of the endocrine status of the children after long-time low doses irradiation. Conf.: "Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of suffers". Collection of Materials, Minsk, pp.. 68 – 70 (in Russian).
- Lipnik B. 2004. The Earth and Radiation: realyty terrifyer than numbers.. (<http://www.pravda.ru/science/planet/environment/47214-0>)
- Lisiany I N.I., Ljubich L.D. 2001. Role of the neuro-immune reactions for development of the post-radiation encephalopathy after low dose impact. 3rd Inter. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: results of 15-years investigations, 4-8 июня 2001, Kiev, Ukraine." Abstracts, Kiev, p. 225 (in Russian).
- Loganovsky K.N. 1998. Schizophrenic characters at persons after ionizing irradiation as result of the Chernobyl catastrophe. 2nd Inter. Conf. " Remote medical consequences of the

- Chernobyl catastrophe, 1– 6 June 1998, Kiev, Ukraine”, Kiev, Abstracts, p. 78 (in Russian).
- Loganovsky K.N. 1999. Clinic- epidemiological aspects psychiatric consequences of the Chernobyl catastrophe. Social and clinical psychiatry, vol. 9, # 1, pp. 5 – 17 (in Russian).
- Loganovsky K. 2005. Health of children irradiated in utero. (<http://stopatom.slavutich.kiev.ua/2-2-7.htm>).
- Loganovsky K.N., Loganovskaya T.K. 2000. Schizophrenia spectrum disorders in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. Schizophr. Bull., Vol. 26, pp. 751-773.
- Lomat' L.N. Antipova S.I., Metel'skaya M.A. 1996. Illnesses of children suffering from the Chernobyl catastrophe, 1994. Medical-biological consequences of the Chernobyl accident. № 1. pp. 38 – 47 (in Russian).
- Lukomsky I.V., Protas R.N., Alexeenko Yu.V. 1993. Peculiarity of the neurological diseases of the adult population in the zone of the tight radiation control. "Impact of radionuclides' pollution on public health: clinical-experimental study". Collection of Sci. papers, Vitebsk State Med. Institute , Vitebsk, pp. 90–92 (in Russian).
- Lukianova A.G., Lenskaya R.V. 1996. Dynamics of cytological-chemical characters of lymphocytes from the peripheral blood at Chernobyl children, 1987 -1995. Hematology and Transfusiology. vol. 41, № 6, pp. 27 – 30 (in Russian).
- Malko M.V. 2002. Chernobyl Radiation-induced Thyroid Cancers in Belarus. In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 240- 256.
- Malko M.V. 2004. Radiogenic thyroid cancer in Belarus as consequences of the Chernobyl accident. In: Med.-biol. Problems radio- and chemical protection. Collect. of Papers Russ. Sci. conf., Sank-Petersburg, 20 – 21 May, 2004. pp. 113-114 (in Russian).
- Manak N.A., Rusetskaya V.G., Lazjuk D.G. 1996. Analysis of blood circulatory illnesses of Belarus population .Medical-biological aspects of the Chernobyl accident. № 1, pp. 24 – 29 (in Russian).
- Marples D.R. 1996. The decade of despair. Bull. Atomic Sci., May/June, pp.22–31.
- Matveev V.A., Voropaev E.V., Kolomiets N.D. 1995. Role of the herpes virus infections in the infant mortality of Gomel territories with different density of radionuclides pollution. Actual problems of immunology and allergology. III Congress Belarus. Sci. Soc. Immun., Allergol. Grodno, Abstracts, p. 90 (in Russian).
- Maznik N.A., Vinnikov V.A. 2002. Level of chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes at evacuees and living in the radioactively polluted territories after the Chernobyl accident. Rad. Biol., Radioecol., vol. 42, № 6, pp. 704 – 710 (in Russian).
- Mel'nichenko E.M., Cheshko N.N. 1997. Condition of children tooth and stomathological support in the regions of radioactive pollution. Public Health, № 5, pp. 38 – 40 (in Russian).
- Mel'nov S.B., Senerichina S.E., Savitsky V.P., Dudarenko O.I. 1999. Medical- genetical aspects of the thyroid cancer at children after the Chernobyl accident. In: Ecological Anthropology. Almanac. Minsk, Belarus Committee "Chernobyl Children" , pp. 293 – 297 (in Russian).
- Mezhzherin V.A. 1996. Civilization and Noosphaera. Book 1. Kiev, 144 p. (in Russian).
- Miksha Ya.S., Danylov I.P. 1997. Consequences of the chronic impact by ionizing irradiation on the haemopoiesis in Gomel area. Public Health, № 4. pp. 19 – 20 (in Russian).
- Morozevich T.S., Gres' N.A., Arynchnyn A.N., Petrova V.S. 1997. Some eco-pathogenic problems of disturbances of the hair growth at Byelorussian children. Actual problems of medical rehabilitation of population suffering from the Chernobyl catastrophe. Materials Sci.- Pract. Conf. devoted by 10 anniversary Republic Radiation medicine dispenser, 30 June 1997, Minsk. Pp. 38 – 39 (in Russian).
- Moskalenko B. 2003. Estimation of consequences of the Chernobyl catastrophe for Ukrainian public health. The World Ecological Herald, vol. XIV, № 3 - 4, pp. 4 – 7 (in Russian).
- Nagornaya A.M. 1995. Adult population health of Zhytomir area, which suffer from radioactive impact after the Chernobyl accident and living in the strict control radiation zone (by National register data). «Public health problems and perspectives of Zhytomir area», Materials Sci.- Pract. Conf. devoted 100-years anniversary O.F. Gerbachevsky' hospital, Zhytomir, 14 September, 1995”, Zhytomir, pp. 58 – 60 (in Ukrainian).



- Nedvechskaya V.V., Lialykov S.A. 1994. Cardio-interval-graphical investigation of the nervous system at children from the radioactively polluted territories. *Belarusian Public Health*, № 2, pp. 30 – 33 (in Russian).
- Nesterenko V.B., Yakovlev V.A., Nazarov A.G. (Eds.). 1993. Chernobyl catastrophe. Reasons and consequences (Expert conclusion). Part 4. Consequences for Ukraine and Russia. Minsk, "Test" Publ., 243 p. (in Russian).
- Nesterenko V.B. 1996. Scale and consequences of the Chernobyl catastrophe for Belarus, Ukraine and Russia. Minsk, «The Right and Economics» Publ., 72 p.(in Russian).
- Nyagu A.I. 1995. Nervous system. In: Barhyar V.G. . (Ed.). Chernobyl catastrophe. Kiev, "Naukova Dumka" Publ., pp. 458 - 459 (in Russian).
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N. 1998. Neuro-psychiatric effects of ionizing irradiation. Kiev, Scientific Center of Radiation Medicine Ukrainian Academy of Medical Science, 370 p. (in Russian).
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Loganovskaya T.K., Repin V.S., Nechaev S.Yu. 2002. Intelligence and Brain Damage in Children Acutely Irradiated in Utero As a Result of the Chernobyl Accident. In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 202 – 231.
- Okeanov A. E., Yakimovich G. V., Zolotko N. I., Kulinkina V. V. 1996. Dynamics of malignant neoplasms incidence in Belarus, 1974-1995. Biomedical aspects of Chernobyl NPP accident. No. 1, pp. 4 - 14 (in Russian).
- Okeanov N.N., Yakimovich A.V. 1999. Incidence of malignant neoplasms in population of Gomel Region following the Chernobyl accident. *Int. J. of Radiat. Medicine*, vol. 1, No 1, pp. 49 –54 (cit. by R.I. Goncharova, 2000).
- Okeanov A.E., Sosnovskaya E.Y., Priatkina O.P. 2004. A national center registry to asses trends after the Chernobyl accident. *Swiss Med. Weekly*, # 134, pp. 645 – 649.
- Omelianetz N.I., Kartashova S.S., Dubovaya N.F., Savchenko A.B. 2001. Cancer mortality and its impact on life expectancy in the radioactively polluted territories of Ukraine. 3rd Inter. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: results of the 15-years investigations. 4 - 8 June 2001, Kiev, Ukraine". Abstracts, Kiev, pp. 254 – 255 (in Russian).
- Omelianetz N.I., Klement'eva A.A. 2001. Mortality and longevity analysis of Ukrainian population after the Chernobyl catastrophe. 3rd Inter. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: results of the 15-years investigations. 4 - 8 June 2001, Kiev, Ukraine". Abstracts, Kiev, pp. 255 – 256 (in Russian).
- Orlov Yu.A. 1993. Dynamics of congenital malformations and primitive neuro-ectodermal tumors. Social-psychological and psycho-neurological consequences of the Chernobyl catastrophe. Materials Sci. Conf. CIS states with inter. Participation, Kiev, pp. 259 -260 (in Russian).
- Orlov Yu.A. 1995. Neuro-surgery pathologies' structure at children in post-Chernobyl period. Materials Inter, Sci. Conf. "Actual and prognostic infringements of psychic health after the nuclear catastrophe in Chernobyl, 24 -28 May, 1995. Kiev, Ukraine", Kiev, "Chernobyl Doctors" Assoc., p. 298 (in Russian).
- Orlov Yu.A., Verchogliadova T.L., Plavsky N.V., Malysheva T.A., Shaversky A.V., Guslitzer L.N. 2001. CNS tumors at children (Ukrainian morbidity for 25 years). 3rd Inter. Conf. "Medical consequences of the Chernobyl catastrophe: results of the 15-years investigations. 4 - 8 June 2001, Kiev, Ukraine". Abstracts, Kiev, pp. 258 (in Russian).
- Paramey V.T., Saley M.Ya., Madekin A.S., Otlivanchik I.A. 1993. Lens condition at people living in the radionuclides polluted territories.
- Pasechnik L.I., Chuprykov A.G. 1993. Impact of radiation factor into formation of the children' neuro-psychical sphere. In: "Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of suffers", Collection of Conf. Materials, Minsk, pp. 15–16 (in Russian).
- Paramonova N.S., Nedvetskaya V.V. 1993. Physical and sexual development indices of children under long-term impact of low doses irradiation. In: "Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of suffers", Collection of Conf. Materials, Minsk, pp. 62–64 (in Russian).

- Pelevina I.I., Afanasiev G.G., Gotlib V.Ya., Serebryanyi A.M. 1996. Cytogenetical changes in peripheral blood at people living in the Chernobyl polluted areas. In: E.B. Burlakova (Ed.). Consequences of the Chernobyl catastrophe. Public health. Moscow, Center for Russian Ecological Policy, pp. 229 – 244 (in Russian).
- Petrenko S.V., Zaitzev V.A., Balakleevskaya V.G. 1993. Hypóphysis- adrenal system at children living in the radionuclides' polluted territories. Belarusian Public Health, N° 11, pp. 7 - 9 (in Russian).
- Petrova A.M., Maistrova I.N., Zafranskaya M.M. 1993. Infant' immune system in the territories with different levels of Cs-137 soil pollution. In: "Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of sufferers", Collection of Conf. Materials, Minsk, pp. 74–76 (in Russian).
- Pilinska M.A. 1999. Cytogenetic effects in somatic cells of people have suffered from the Chernobyl catastrophe as biomarkers of the low dose ionizing radiation impact. Inter. J. Rad. Med. , N° 2, pp. 60 – 66 (in Russian).
- Pilinska M.A., Dyb'skyi S.S., Dyb'ska O.B., Pedan L.R. 2003. Somatic chromosomal mutagenesis at children living in the radionuclides' polluted territories of Ukraine during post-Chernobyl period. Report Nat. Sci. Acad. Ukraine, N° 7, pp. 176 – 182 (in Ukrainian).
- Podpalov V.P. 1994. Formation hypertonic disease in population of the radioactively unsafe territories. In: "Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of sufferers", Collection of Conf. Materials, Minsk, pp. 27–28 (in Russian).
- Polonetskaya S.N., Chakolva N.N., Demedchik Yu.E., Michalevich L.S. 2001. Cytogenetical analysis of the normal and tumor thyroid gland cells in vivo. 4th Congress on Radiation Researches. Rad. Biol. Radioecol., Rad. Safety. Moscow, 20 – 24 November 2001, Abstracts, vol.1, p. 257 (in Russian).
- Prilipko L.L., Nyagu A.I., Kozlova I.A., Gaiduk F.M., Loganovsky K.N., Podcorytov V.S., Plachinda Yu.I., Antipchuk E.Yu. 1995. Scientific results of researches on pilot project programme IFECA «in utero brain' infringements». Materials Inter. Sci. Conf. "Actual and prognostic infringements of psychic health after the nuclear catastrophe in Chernobyl, 24 -28 May, 1995. Kiev, Ukraine", Kiev, "Chernobyl Doctors" Assoc., p. 316 (in Russian).
- Prokopenko N.A. 2003. Cardio-vascular and nervous systems pathologies as synergic result of the irradiation and psycho-emotional stress at sufferings from the Chernobyl accident. Aging and longevity problems. vol. 12, N° 2, pp. 213 – 218 (in Russian).
- Prysyazhnyuk A.Ye., Grishtshenko V.G., Fedorenko Z.P., Gulak L.O., Fuzik M.M. 2002. Review of Epidemiological Finding in Study of Medical Consequences of the Chernobyl Accident in Ukrainian Population In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto Univ. Res. Reactor Inst. (KURRI-KR-79), Kyoto, pp. 188 – 287.
- Pshenichnikov B.V. 1996. Low doses radioactive irradiation and radiation sclerosis. Kiev, «Soborna Ukraina» Publ., 40 p. (in Russian).
- Pysarenko S.S. 2003. On man sterility in XX Century. Herald New Med. Technology., vol. 10, N° 3, pp. 106 – 107 (in Russian).
- Romanenko A., Lee C., Yamamoto S. et al. 1999. Urinary bladder lesions after the Chernobyl accident: immune-histochemical assessment of proliferating cell nuclear antigen, cyclin D1 and P 21 waf1/Cip. Japan J. Cancer Res., vol. 90, pp. 144 - 153.
- Rudnytzkyi E.A., Sobolev A.V., Kiseleva L.F. 2003. People illnesses by microsporidias in the radionuclides' zone. Problems Med. Micol., vol. 5, N° 2, pp. 68 (in Russian).
- Sevan'kaev A.V., Zhloba A.A., Potetnya O.I., Anykyna M.A., Moiseenko V.V. 1995. Cytogenetic observations at children and adolescens living in the radionuclides polluted territories of Bryansk area. Rad. Biol., Radioecol., vol 35, # 5, pp. 596 – 611 (in Russian).
- Sevbitov A.V., Pankratiova N.V., Slabkovskaya A.B., Scatova E.A. 1999. Tooth – jaw' anomalies at children after impact of the "Chernobyl factor". Ecological anthropology. Almanac. Minsk, Belarusian committee «Chernobyl children», pp. 188 -191 (in Russian).
- Sevbitov A.V. 2005. Stomatological characters of the clinical manifestations of the remote effects of irradiation. Thesis, Doc. Med. Sci., Central Stomatological Inst., Moscow, 51 p. (in Russian).



- Sergeeva M.E., Muratova N.A., Bondarenko G.N. 2005. Demographic peculiarities in the radioactively polluted zone of Bryansk area. *Materials Inter. Sci. – Pract. Conf.: «Chernobyl - 20 years after. Socio-economical problems and perspectives for development of suffering territories»*, Bryansk, pp. 302 – 304 (in Russian).
- Sharapov A.N. 2001. Regulations of the endocrine – neuro-vegetative' interconnections at children living in the low doses radionuclides pollution territories after the Chernobyl accident. Thesis, Doc. Med., Sci. Inst.Pediat., Child. Surgery, Moscow, 53 p. (in Russian).
- Shilko A.N., Taptunova A.I., Iskritzkiy A.M., Tschadystov A.G. 1993. Frequencies and etiology sterility and невынашивания in the Chernobyl factors impacted territories. Conf.: "Chernobyl catastrophe: diagnostics and medical-psychological rehabilitation of sufferers.", Collection of Materials, Minsk, p. 65 (in Russian).
- Sitnikov V.P., Kunitskiy V.S., Bakanova V.A. 1993. Clinical-immunological expressions of the oto-pharynx deceases at children from the Chernobyl zone. Radionuclides pollution impact to public health clinical-experimental study). Collection of Sci. Papers , Vitebsk State Med. Inst., Vitebsk, pp. 127–130 (in Russian).
- Sluchik V.M., Kovalchuk L.E., Bratyvnych L.I., Shutak V.I. 2001. Cytogenetic effects of the low dose of ionizing radiation and chemical factors (15 years after the Chernobyl). 3rd Inter. Conf. " Med. Consequences of the Chernobyl catastrophe: results 15-years researches. 4 - 8 June 2001, Kiev, Ukraine", Abstracts, Kiev, p. 290 (in Russian).
- Sokolov V.V. 2003. Retrospect estimation irradiated doses at the Chernobyl radioactively polluted territories. Thesis, Doc. Thechn. Sci. , Tula State University, Tula, 36 p. (in Russian).
- Sokolovskaya Ya. 1997. One more Chernobyl impact. Radiation Pstruck do not only heart and blood, but brain. «Izvestia», 3 October, p.5 (in Russian).
- Soloshenko EN. 2002. Immune homeostasis at the dermatitis patients, which suffers from radioactive irradiation during the Chernobyl accident. Ukrainian J. Hematol. Transfusiol., № 5, pp. 34 – 35 (in Ukrainian).
- Souchkevitch G. 1996. WHO tracks health effects. Monitor, vol. 4, №1, pp. 4–5.
- Sources and effects of Ionizing radiation. 2000. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly. Annex J. Exposure and effects of the Chernobyl accident. United Nations, New York, 155 p.
- Sources and effects of Ionizing radiation. 2000. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly. Annex G. United Nations, New York, 130 p.
- State of Health at Bryansk population suffering from the Chernobyl accident. 1999. Collection analytical and statistical materials, 1995 - 1998. Bryansk, Department of Public Health, Bryansk Administration (<http://www.miac.brk.ru>).
- Stepanov A.V. 1993. Analysis of the Trichocephalosis occurrence in the radioactively polluted territories. Radionuclides pollution' impact in public health (clinical-experimental study). Collection of Sci. papers, Vitebsk State Med. Inst., Vitebsk, pp. 120 – 124 (in Russian).
- Stepanova E.I., Davidenko O.A. 1995. Children haemopoetic system' reactions on the unhealthy Chernobyl accident' impact. III Ukr. Congr. Hematol. Transfusiol. 23-25 May, 1995, Sumy, Ukraine", Kiev, p. 134 (in Ukrainian).
- Stepanova E.I., Misharina Zh.A., Vdovenko V.Yu. 2002. Remote cytogenetics effects at in utero irradiated children after the Chernobyl accident. Rad. Biol., Radioecol., vol. 42, № 6, pp. 700 – 703 (in Russian).
- Strukov E.L. 2003. Hormonal regulation of the cardio-circular diseases and some endocrine dysfunctions at persons suffering by the Chernobyl factors and in Sank-Petersburg population. Thesis Doc. Med., All-Russian Center for Extr. Rad. Medicine, Sank-Petersburg, 42 p. (in Russian).
- Surykov B.T. 1996. Chernobyl: 10 years the largest technological catastrophe in history. Ecology and Life, № 1. pp. 31–36 (in Russian).
- Sykorenskiy A.V., Bagel' G.E. 1992. Primordial arterial hypotonic at children of Gomel and Mogiliev areas and perspectives of their improvement in the summer camps. Improvement and sanitary treatment of persons suffering from radiation impact. Abstracts, Republican Conf., Minsk - Gomel, pp. 59 – 60 (in Russian).

- Tereschenko V.M., Geetz V.I., Perevosnikov O.N, Litvinetz L.A. 1991. Age characteristics of the Cesium level at inhabitants of Narodychesky district of Zhytomir area. *Probl. Rad. Medicine*, Kiev, pp. 99 – 103 (in Russian).
- Terletzkaya R.N. 2003. Lung' chronic diseases at children after long-time living under low dose impact. *Rus. Herald Perinatol., Pediatrics*, vol. 48, № 4, pp. 22 – 28 (in Russian).
- Tron'ko N.D., Tchaban A.K., Oleinik V.A., Epstein E.V. 1995. Endocrine system. In: Baryachtar V.G. (Ed.). *Chernobyl catastrophe*. Kiev, "Naukova Dumka" Publ., pp. 454 – 456 (in Russian).
- Tsybul'skaya I.S., Suhanhova L.P., Starostin B.M., Mitryukova L.B. 1992. Functional condition of the cardio-vascular system at children early ages under the low dose irradiation chronic impact. *Motherhood and Childhood*, vol. 37, № 12, pp. 12 – 20 (in Russian).
- Ulyanova O.S., Mashneva N.I., Ponomarev A.V., Sukal'skaya S.Ya. 1995. Psychomotoric development of children, with different impact in utero Chernobyl irradiation. *Inter. Conf. "Actual and prognostic infringements of psychic health after nuclear catastrophe in Chernobyl, 24 - 28 May, 1995, Kiev, Ukraine"*, Materials, Kiev, "Chernobyl Doctors" Assoc., p. 318 (in Russian).
- Utka V.G., Scorkina E.V., CSadretdinova L.Sh. 2005. Medical-demographic dynamics in South-Western districts of Bryansk area. *Materials Inter. Sci. – Pract. Conf. «Chernobyl – 20 years after. Socio-economical problems and perspective for development suffering territories»*, Bryansk, pp. 201 – 203 (in Russian).
- Ushakov I.B., Arlaschenko N.I., Dolzhanov A.Ya., Popov V.I. 1997. Chernobyl: radiation psychophysiology and human ecology. *State Sci. Inst. Avia, Space Med.*, Moscow, 247 p. (in Russian).
- Ushakov I.B., Karpov V.N. 1997. Brain and radiation (100 anniversary of radio-neurobiology). *State Inst. Avia, Space Medicine*, Moscow, 74 p. (in Russian).
- Ushakova T.N., Aksel' E.M., Bugaeva A.R., Maikova S.A., Durnoe L.A., Poliakov V.G., Symonov A.F. 2000. Peculiarities of the cancer tumors illnesses at children of Tula area after the Chernobyl catastrophe. In: «Chernobyl: Duty and courage», vol. I (<http://www.iss.niit.ru/book-4/glav-2-26.htm>) (in Russian).
- Vasyna T.I., Zubova T.N., Tarasova T.G. 2005. Some hematological characters at children, living in the territories polluted after Chernobyl accident. *Inter. Sci.- pract. Conf. «Chernobyl – 20 years after. Social-economical problems and perspectives for development of suffering territories»*, Bryansk, pp. 152 – 154 (in Russian).
- Vaskevich A.Yu., Chernyshova V.I. 1994. Mozyr city' children health under low intensive radioactive pollution. *Belarusian Children health in the modern ecological conditions (Chernobyl consequences)*. Collection of materials, V1 pediatric Congress of Belarus. Gomel, pp. 27 - 29 (in Russian).
- Voropaev E.V., Matveev V.A., Zhavoronok S.V., Naralencov V.A. 1996. Activation of Herpesvirus infection after the Chernobyl accident. *Sci. conf. "10 years after the CChernobyl catastrophe: scientific aspects"*, Abstracts, Minsk, p. 65 (in Russian).
- Vovk U.B., Mysurgyna O.A. 1994. Estimation radioactive pollution and doses of irradiation from the Chernobyl accident in the Global scale. *Inter. Conf. "Nuclear Accidents and Future of Energetic. Chernobyl Lessons (Paris, France, 15 – 17 April, 1991)"*, Selected Papers, Minsk, pp. 120 - 144.
- Yamashita S., Shibata Y., (Eds.). 1997. Chernobyl: A Decade. *Proc. Fifth Chernobyl Sasakava Med. Coop. Symp.*, Kiev, 14 - 15 October, 1996, Elsevier Sci. Publ., Amsterdam.
- Zalutskaya A., Bornstein S.R, Mokhort T., Garmayev D. 2004. Did the Chernobyl incident cause an increase in Type 1 diabetes mellitus incidence in children and adolescents? *Diabetologia*, vol. 47, pp. 147-148.
- Zhavoronok S.V., Kalinin A.L., Grimbaum O.A., Chernovetskyi M.A., Babarykyna N.Z., Ospovat M.A. 1998. *Gepatovirus B, C, D, G markers at suffering from the Chernobyl catastrophe populations*. *Public Health*, № 8, pp. 46 – 48 (in Russian).
- Zakrevsky A.A., Nikulina L.I., Martynenko L.G. 1993. Early postnatal adaptation of newborns whose mothers were under radiation impact. *Sci.- Pract. Conf.: "Chernobyl and Public Health"*. Kiev, Abstracts, Part 1, p. 116 (in Russian).
- Zapesochnyi A.Z., Burdyga G.G., Tsybenko M.V. 1995. Irradiation in utero and intellectual development: complex science-metrical analysis of information flows. *Materials Inter. Conf. "Actual and prognostic infringements of psychical health after nuclear catastrophe in*



- Chernobyl. 24 – 28 May 1995. Kiev, Ukraine”, Kiev, p. 312 (in Russian).
- Zubovich V.K., Petrov G.A, Beresten’ S.A., Kil’chevskaya E.V., Zemskov V.N. 1998. Human milk characters and babies health in the radioactively polluted areas of Belarus. Public Health, № 5, pp. 28 – 30 (in Russian).
- Yablokov A.V. 1997. Nuclear mythology. Ecologist’ note on Nuclear Industry. Moscow, “Nauka” Publ., 272 p. (in Russian).
- Yablokov A.V. 2001. Myth on insignificance of the Chernobyl catastrophe consequences. Moscow< Center for Russ. Ecol. Policy Publ., 112 p. (in Russian).

¿Es Seguro Vivir en los Territorios Contaminados con Radioactividad? Consecuencias del accidente de Chernobyl 20 años después

E.B. Burlakova¹ y A.G. Nazarov²

¹Intituto Emanuel de Física Bioquímica, Academia de las Ciencias Rusas, Moscú

²Comité de Moscú "Union of Chernobyl"

(Traducido por **T. A. Sapego**)

Introducción

El criterio principal para determinar la gravedad de cualquier catástrofe, natural o tecnogénica, es su impacto sobre la salud de la gente y las condiciones de habitabilidad continuada en los territorios afectados. La catástrofe de Chernobyl, que es la más grave en la historia de la humanidad, ha sido tratada de manera ambigua. Existen esfuerzos conocidos de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) y el Ministerio de Energía Atómica de la Federación Rusa (Minatom) para subestimar las consecuencias del accidente de la central nuclear de Chernobyl sobre la salud de los liquidadores (trabajadores de limpieza del accidente de Chernobyl) y de los residentes de las regiones afectadas. Tal y como se muestra en este libro (véase Capítulo 6), los expertos de la IAEA, apoyados activamente por los dirigentes del Minatom y el Ministerio de Salud de la URSS y apelando a los resultados de su "experiencia independiente" (1988), declararon que los territorios dentro de la zona del accidente de Chernobyl eran adecuados para vivir de manera segura. Se han oído afirmaciones similares en declaraciones efectuadas por los dirigentes de la IAEA actualmente, 20 años tras el accidente. Conocemos la actitud de los residentes de las regiones afectadas a esas declaraciones de que se puede vivir de manera "segura" en la zona de Chernobyl; en 1988-1989, movimientos públicos y organizaciones sociales demandaron la revelación de la información secreta respecto al accidente de Chernobyl, la implementación de medidas para la descontaminación de las áreas afectadas y la prestación de ayuda estatal para los individuos que han sufrido las consecuencias de la catástrofe.

Los estudios de los efectos de la radiación sobre la salud de los liquidadores y la población de la zona de la central nuclear de Chernobyl fueron iniciados por diversas instituciones médico-biológicas casi inmediatamente tras el accidente. Uno de los primeros científicos que comenzó estudios estacionarios sobre las consecuencias genéticas de la catástrofe fue V.A. Shevchenko, un eminente genetista de radiación ruso, que murió de cáncer hace no mucho.

Durante los primeros años tras el accidente de Chernobyl muchos de los aspectos de los efectos de la radiación sobre el organismo humano permanecieron confusos. Los estudios requerían un gran número de experimentos de laboratorio sobre animales; experimentos que involucraban diversos aspectos de los efectos de la radiación fueron llevados a cabo en muchos institutos de investigación de la Academia de las Ciencias y otras instituciones. Entre 1987-1998, en el Instituto Emanuel de Física Bioquímica, Academia de las Ciencias Rusas, se llevaron a cabo varios estudios sobre el efecto de una irradiación de baja dosis y bajo nivel sobre los parámetros biofísicos y bioquímicos del aparato genético y las membranas de las células de los órganos de los animales expuestos.



Actualmente, los datos experimentales obtenidos están siendo analizados y generalizados. Pedimos perdón al lector por la abundancia de términos científicos en este trabajo que podrían ser familiares únicamente a especialistas o radiobiólogos. Más adelante convertiremos las conclusiones y los resultados experimentales que creemos que son de importancia teórica a un lenguaje de más fácil comprensión para los no especialistas. Algunos de los conceptos puramente científicos; argumentaciones metodológicas radiobiológicas y datos tabulares pueden ser omitidos en una primera lectura por un no especialista. Sin embargo, creemos necesario publicarlos en este libro como nuevo material teórico - datos acumulados durante más de 10 años de estudios experimentales, proporcionando pruebas y confirmación de las deducciones y las conclusiones efectuadas.

Análisis y Generalización de los Datos Experimentales

Hemos investigado los parámetros estructurales del genoma (mediante el método de unión del ADN a filtros de nitrocelulosa), los parámetros estructurales de las membranas nucleares, microsomal, mitocondrial y plasmáticas (sináptica y de eritrocitos) (mediante el método de sondas de spin localizadas en diversas capas de las membranas), la composición y grado de oxidación de los lípidos de las membranas, y la actividad funcional de las células - la actividad de las enzimas, la relación entre las formas isozímicas (isoenzimas) y las propiedades de regulación [1, 2, 3].

También hemos investigado el efecto de la irradiación de bajo nivel sobre la sensibilidad de las células y los biopolímeros a la acción subsiguiente de varios factores dañinos, incluyendo la irradiación de alta dosis. Los animales son expuestos a una fuente de radiación gamma por ^{137}Cs a ritmo de dosis de 41.6×10^{-3} , 4.16×10^{-3} , y 0.416×10^{-3} mGy. Las dosis variaron de 6×10^{-4} a 1.2 Gy.

Como resultado de los estudios llevados a cabo, se efectuaron las siguientes conclusiones:

1. La dependencia del efecto con la dosis de la radiación podría ser no-lineal, no-monotónica, y polimodal.
2. Las dosis que provocan efectos extremos dependen del ritmo de la dosis de radiación (intensidad).
3. La irradiación de baja dosis provoca cambios (principalmente un aumento) en la sensibilidad a la acción de otros factores dañinos.
4. Los efectos dependen de los parámetros iniciales de los objetos biológicos.
5. En rangos determinados de dosis, la irradiación de bajo nivel es más efectiva en lo que respecta a los resultados de su acción sobre un organismo o una población que la radiación aguda de alto nivel.

Explicamos la dependencia no-lineal y no-monotónica entre la dosis y el efecto que hemos obtenido en nuestros experimentos con una irradiación de baja dosis y bajo nivel mediante cambios en la relación entre los daños sufridos, por una parte, y la reparación de los daños, por otra parte [4]. Con este tipo de irradiación los sistemas de reparación o bien no se inician (inducen), o funcionan de manera inadecuada, o son iniciados con un retraso, es decir, cuando el objeto expuesto ya ha recibido daños por radiación.

Resulta difícil predecir la dependencia del efecto con la dosis, que es el resultado de la interacción de varios subsistemas, cuando cada uno de los subsistemas es sensible a diversos factores y exhibe sus propias características de respuesta a distintas dosis.

Hablando en general, no se puede esperar un aumento monotónico en el efecto resultante de la radiación con la dosis, debido a que el factor determinante no es únicamente la reacción de cada subsistema individual sino el signo (dirección) y la característica de su interacción.

En particular, los experimentos mostraron que los efectos de la radiación sobre un organismo, junto con su acción directa sobre los subsistemas biológicos estructurales y funcionales, movilizan y activan los sistemas protectores de reparación, adaptación, etc., cuyo papel de regulación es la compensación y minimización del efecto directo de la irradiación, la restauración de las funciones, y la reparación de los daños. Tras el inicio de los procesos de reparación, el efecto resultante (residual) depende de la relación entre los procesos directos (irradiación) e inversos (restauración y compensación), que son diferentes para cada dosis específica de irradiación.



Recientemente, la ausencia de la reparación (el mecanismo de reparar los daños) a bajas dosis de irradiación ha sido demostrada a nivel celular, y se confirmó el carácter complejo de la dependencia con la dosis [5, 6]. Previamente, hemos publicado un esquema de la dependencia de los daños con la dosis de irradiación, que muestra las diferencias para diferentes rangos de dosis (véase [1, 2, 4]). Según este esquema, las características cuantitativas eran similares a dosis que diferían en varios órdenes de magnitud; en algunos rangos de dosis el efecto era contrario.

Los resultados obtenidos y apoyados por numerosos experimentos son importantes porque la dependencia con la dosis recién mencionada hace posible llegar a conclusiones sobre el carácter radiogénico o no-radiogénico de los cambios observados en un organismo irradiado. Junto con la inmensa mayoría de los investigadores, creemos que es indisputable concluir que un aumento monotónico, casi lineal, en el efecto de la irradiación sobre un organismo con distintas dosis es (o, en el momento actual de conocimiento sobre los efectos a altas dosis, podría ser) prueba de su naturaleza radiogénica.

Sin embargo, los resultados de muchos años de estudios experimentales no apoyan la conclusión contraria: que la ausencia de una dependencia directa entre la dosis y su carácter no-monotónico sea una prueba de la ausencia de una relación entre el efecto y la radiación. En nuestra opinión esta relación y la naturaleza radiogénica del efecto son igual de indisputables, tal y como es el caso con las altas dosis: es simplemente que este carácter de la dependencia dosis-efecto parece natural en el caso de la irradiación de baja dosis y bajo nivel.

Frecuentemente, para los procesos que juegan un cierto papel dañando las biomacromoléculas, uno debería considerar su participación no únicamente en los eventos de daños o de restauración, sino también su papel en la red de las células de regulación que determinan el carácter de la respuesta a la irradiación. Por ejemplo, las especies de oxígeno activo podrían participar en procesos metabólicos normales, en los daños por radiación (o moléculas ADN, proteínas, lípidos, y membranas) y en los procesos de regulación en las células responsables de la división, reproducción (proliferación), diferenciación y muerte programada de las células (apoptosis).

Es difícil predecir la respuesta global resultante de una célula sin el conocimiento de la respuesta de cada uno de sus sistemas y su dependencia con la intensidad, el modo y la dosis de irradiación y la naturaleza global de su radio-sensibilidad. Sin embargo, es posible concluir que la respuesta resultante de un organismo, célula o población dependerá, en gran medida, del equilibrio de procesos contrarios, es decir, la apoptosis y la proliferación.

En un artículo de Hardy y Start [7], se ha sugerido un modelo matemático de dicho equilibrio; el modelo tiene en cuenta el comportamiento de una célula tras una irradiación: la célula podría tomar alguna de las siguientes rutas:

- Quedar destruida, con una probabilidad P (apoptosis), o
- Dividirse, con una probabilidad P (proliferación)
- O permanecen sin cambios, con una probabilidad P (sin cambios).
- El equilibrio entre estos procesos determinará el carácter de la dependencia con la dosis.

Experimentalmente, hemos estudiado la tendencia de los cambios según tres parámetros relacionados con puntos extremos en las curvas de la dependencia con la dosis:

- El tiempo que tarda el efecto en alcanzar su máximo
- La dosis necesaria para alcanzar el máximo

-y el efecto en los dos extremos, dependiendo de la intensidad de la irradiación, varió en unos dos órdenes de magnitud (de 0.06 a 0.6 y 6.0 cGy).

De las tasas de cambios de los parámetros estructurales del ADN determinamos que una disminución de la intensidad de la irradiación provoca un aumento del tiempo que tarda el efecto en alcanzar su máximo, una disminución de la dosis del efecto máximo, y una disminución del efecto en el punto extremo. Se determinaron tendencias similares para prácticamente todos los parámetros de las membranas. La excepción fueron los datos obtenidos para la intensidad de irradiación más baja, para la que se observaron los efectos máximos. Con respecto al hecho de que los efectos máximos se observaran en el momento del inicio de los sistemas de reparación, las tendencias que determinamos hacen posible concluir que cuanto más baja es la intensidad de irradiación, más tarde se ponen en marcha los sistemas de reparación.

Los resultados obtenidos son pruebas que demuestran una gran actividad biológica de la irradiación de baja dosis y de diferentes mecanismos del metabolismo celular en comparación con las altas dosis.

Otra generalización teórica de los datos experimentales, que es de gran importancia práctica, es el fenómeno que nosotros y otros autores hemos observado: el aumento de la sensibilidad de los organismos vivos irradiados con bajas dosis y el aumento de la susceptibilidad de los procesos bioquímicos a una acción subsiguiente de agentes dañinos. Este fenómeno podría explicarse de manera plausible por una inestabilidad del genoma provocada por la radiación.

Es destacable que la reestructuración del genoma y, como resultado de ello, los cambios en la accesibilidad del material genético a los efectos de regulación, juegan un papel importante en estos procesos. En nuestro trabajo [8] y en el trabajo de otros investigadores [9, 10], se observó la expresión de los genes de regulación (inicio, inducción, o comienzo de funcionamiento) tras una irradiación de baja dosis y bajo nivel a un organismo. Esta observación es realmente importante porque los cambios en la sensibilidad a la acción de otros factores dañinos tras una exposición de baja dosis podría ser (y en realidad es) la causa de múltiples enfermedades y alteraciones en la capacidad de adaptación del ser humano. Debe señalarse que estos procesos están estrechamente relacionados con el envejecimiento, que es un proceso también caracterizado por un aumento de la sensibilidad a los factores dañinos, y la probabilidad de morir de estos factores aumenta con la edad.

No pretendemos proporcionar una explicación completa en lo que respecta a los cambios de los procesos bioquímicos y biofísicos que se producen en los organismos expuestos a bajas dosis. Sin embargo, los datos que presentamos aquí muestran que estos cambios podrían provocar varias enfermedades somáticas. Para determinar la naturaleza radiogénica de estas enfermedades no es necesario llevar a cabo cálculos matemáticos de la dependencia de los efectos con la dosis a lo largo de todo el rango de dosis recibidas. El criterio para llegar a una conclusión respecto a la naturaleza radiogénica de las enfermedades



debería basarse en considerar las alteraciones específicas provocadas por la radiación en el metabolismo celular a los niveles de célula, población, órgano, y organismo.

Es importante estudiar el efecto de la irradiación de bajo nivel a nivel de población. El principal efecto detectado en varios sistemas es un cambio (aumento) en los cambios de muchos índices de población y una disminución de la estabilidad, incluyendo la adaptación. Por ejemplo; en una población humana expuesta, el número de personas cuyos glóbulos rojos no proporcionan una respuesta adaptativa a exposiciones subsiguientes ha aumentado [11]. La correlación entre los índices, que es más pronunciada para grupos que han recibido bajas dosis de radiación, varía. Nuestros estudios muestran que la correlación entre los índices del estado antioxidante e inmune de los liquidadores de la central nuclear de Chernobyl habían cambiado [1].

Los cambios en la estructura de población provocados por la radiación provocan una respuesta impredecible de la población a varios eventos. En el trabajo de A.P. Akif'ev et al. [12], una aparentemente población sana de descendientes de una *Drosophila* expuesta exhibían lo que se denomina una 'crisis de población' en una de sus generaciones y fue destruida por una ley distinta a la de las demás generaciones. En el trabajo de I.I. Pelevina et al. [13], se demostró que 15 generaciones de células irradiadas con dosis de 10 a 50 cGy "recuerdan" la irradiación y responden a los estímulos externos de manera diferente que las células de control.

Según A.A. Yarilin [14], la radiación ionizante de bajo nivel es una fuente de señales biológicamente significativas. Habiendo analizado los cambios del sistema inmune desde este punto de vista, el autor llegó a la conclusión de que las señales inadecuadas causadas por una irradiación de bajo nivel provocaban alteraciones en la organización espacial del sistema inmune y en sus funciones de integración el organismo. En un sentido, el efecto es parecido al envejecimiento del sistema inmune en el organismo.

En este trabajo, se ha prestado mucha atención a las reacciones de los radicales libres provocadas por la irradiación, en particular la promoción de los lípidos de oxidación y los cambios asociados a la composición y la actividad funcional de las membranas, la reestructuración del aparato de la membrana, el aumento de la concentración de los radicales libres en varios componentes de las células, la actividad antioxidante de las enzimas de regulación, los cambios en las propiedades fisicoquímicas y la regulación de la actividad del genoma (expresión y represión de genes).

En los experimentos con animales y en los estudios de los parámetros bioquímicos de los elementos formales y el plasma sanguíneo del ser humano, se observaron tendencias comunes en lo que respecta a los efectos de la irradiación de baja dosis y bajo nivel, específicamente alteraciones en las correlaciones entre la oxidabilidad y las propiedades antioxidantes de los lípidos y entre los cambios estructurales en los lípidos localizados en varias porciones de las membranas [15]. Estos cambios provocan una pérdida de las funciones de regulación de las membranas. Se observaron tendencias similares en los cambios estructurales en el ADN y en el genoma [16]. Actualmente, hay varios trabajos publicados que verifican el papel crucial de las funciones de señalización de las especies de oxígeno activo en la red de regulación de la respuesta celular a impactos dañinos, radio-sensibilidad e inestabilidad del genoma.

Por lo tanto, los cambios en la composición, la estructura, y la actividad funcional de las membranas son síntomas primarios de alteraciones en el metabolismo celular y un factor de predicción en el desarrollo de una enfermedad.

Estas tendencias se deducen de la generalización de una serie de experimentos y tienen un carácter biológico común. Por lo tanto, pueden utilizarse para analizar el estado de salud de los residentes de Chernobyl y resolver la cuestión de si es o no seguro vivir en los territorios contaminados por la radiación dentro de la zona del accidente de Chernobyl.

Tabla I. Parámetros del estado antioxidante de los liquidadores antes y después de un mes de terapia con vitaminas

Parámetro	Control	Liquidadores antes de la terapia	Liquidadores después de la terapia
DBpl (enlaces dobles en lípidos en plasma, número de DB/mg lípidos 1018)	0.32	0.27	0.39
DBer (enlaces dobles en lípidos eritrocitos, número de DB/mg lipids 1018)	0.303	0.15	0.47
Vitamina E	20.9	15.59	21.59
Vitamina A	2.99	2.67	2.82
Glutation reducido	19.53	20.34	15.32
SOD (superóxidodismutasa)	125.41	137.53	105.30
GP (glutation peroxidasa)	7.2	9.28	4.93
GR (glutation reductasa)	5.12	5.75	5.97
Hem1 (hemolisis de eritrocitos)	7.23	5.79	8.65
Hem2 (hemolisis de eritrocitos tras el comienzo del POL)	7.62	11.32	11.04
MDA1 (dialdehído malónico en eritrocitos)	1.93	3.90	1.89
MDA2 (dialdehído malónico en eritrocitos tras el comienzo del POL)	1.95	2.58	1.89
τ cl (tiempo de correlación rotatoria en la sonda de spin N1 en las membranas de los eritrocitos)	1.08	2.06	1.04
Parámetro	Control	Liquidadores antes de la terapia	Liquidadores después de la terapia
τ cll (tiempo de correlación rotatoria en la sonda de spin N2 en las membranas de los eritrocitos)	1.94	2.22	1.63
CP (ceruloplasmina)	1.23	0.80	0.86
TF (transferina)	0.78	1.03	0.77
Radicales libres con un factor-g de 2.0	0.69	2.03	1.14

La Tabla I muestra algunos índices del estado de salud de los liquidadores que trabajaron en la zona del accidente de la central nuclear de Chernobyl en el periodo 1986-1987.



Junto con los parámetros del estado antioxidante de los liquidadores, hemos medido los parámetros del estado inmune, que observamos que también tenían valores por debajo de lo normal, incluso cinco años después de la irradiación [3]. En diferentes momentos después del accidente, hemos investigado los eritrocitos y el plasma sanguíneo de 104 liquidadores que trabajaron en Chernobyl entre 1986-1987 y recibieron una dosis de radiación de 0,1 a 150 cSv. Hemos observado una disminución del nivel de los antioxidantes (tocoferol, vitamina A, ceruloplasmina), un aumento de la concentración de los productos de las reacciones de los radicales libres y un alto nivel de radicales libres, una membrana más rígida, y una rotura de la correlación entre la oxidabilidad y la actividad antioxidante y la viscosidad de los componentes lipídicos y proteicos.

A algunos de los liquidadores se les administró antioxidantes (vitaminas) durante un mes, y después fueron reexaminados. Se observó que el 70% de los índices del estado antioxidante e inmune eran normales tras la terapia antioxidante.

Fue importante examinar a los liquidadores de varias edades distintas para determinar su reacción a las dosis de irradiación recibidas. En realidad, el nivel de disminución de los antioxidantes y la actividad de las enzimas antioxidantes protectoras varía con la edad. Seis años después del accidente determinamos la dependencia con la edad de la actividad de las enzimas antioxidantes clave en la sangre (superóxido dismutasa, glutatión peroxidasa, y glutatión reductasa) de los liquidadores con edades entre 25 y 60 años. El grupo de control lo formaron 35 hombres y mujeres del mismo grupo de edad.

Para los liquidadores, las enzimas del ciclo del glutatión fueron las más sensibles a la relación de la radiación de baja dosis con el sistema antioxidante. Los cambios en todos los puntos del sistema antioxidante de los liquidadores provocan la formación de un estado pro-oxidativo. Según nuestros datos, las dosis por encima de la media provocan un efecto dañino prolongado sobre el sistema antioxidante. Como ya se ha mencionado, registramos una disminución de la actividad SOD y GP en los liquidadores de edad media y una disminución drástica de la actividad GR en los liquidadores mayores de 55 años a lo largo de todo el rango de dosis estudiado. Previamente, habíamos mostrado que los cambios pre-cáncer en el metabolismo celular están caracterizados por una disminución de la relación SOD/GP y un bajo nivel de actividad GR. Registramos ambos índices para los liquidadores de mayor edad.

Los resultados obtenidos en este trabajo sobre las consecuencias futuras de la irradiación de bajo nivel y baja dosis sobre el sistema antioxidante de protección de las personas muestra que los miembros más sensibles de una población son los niños y las personas jóvenes por debajo de los 30 años; la gente de mediana edad es la más resistente a la irradiación. Esta conclusión debe tenerse en cuenta cuando se determinen grupos de alto riesgo para las personas que trabajan en industrias que involucran una irradiación crónica de bajo nivel.

Respecto a la gente joven, la irradiación de baja intensidad a bajas dosis provoca un desequilibrio en el sistema antioxidante, que es característico de un organismo en envejecimiento [17].

En los trabajos de L.S. Baleva *et al.*, algunos de estos parámetros fueron medidos para los niños que vivían en los territorios contaminados. Se detectó un aumento de la concentración de los productos de la oxidación por peróxidos de los lípidos, así como una menor actividad de las enzimas antioxidantes del ciclo glutatión. Los cambios más drásticos se detectaron en los niños nacidos en 1986-1987 que siguieron viviendo dentro de los territorios contaminados con radionucleidos [18]; también se detectaron desviaciones graves de los

valores normales para los niños que nacieron antes de 1986 que sobrevivieron al accidente y permanecieron dentro de los territorios contaminados (Tabla 2).

Tabla 2 Monitorización biológica de niños de la región de Bryansk

(Baleva y Sipyagina [18])

Parámetros	Grupos de niños			
	Nacidos antes del 4 julio, 1986	Irradiación <i>in utero</i> 1986-1987	Desarrollo intrauterino bajo condiciones de fondo de radiación elevado 1988	Control
MDA, nmol/ml	4.55±0.04	4.96±0.05	4.49±0.07	3.56±0.01
Hidroperóxidos, a.u./ml	2.06±0.03	1.89±0.05	1.81±0.06	1.5±0.02
AOA, %	30.86±0.14	29.34±0.18	33.1±0.21	34.2±0.28
GP	.69±0.07	2.81±0.12	3.38±0.18	3.94±0.20
SOD	121.9±8.8	61.4±6.3	114.0±9.2	85.2±5.1
CP, a.u.	53.1±5.7	69.8±3.3	112.3±6.5	86.1±8.7
Fe (3+), TF a.u.	72.8±6.5	78.9±5.1	55.2±5.6	56.0±4.8
α-1 antitripsina, a.u./ml	11.72±0.45	3.89±0.39	8.91±0.51	23.71±0.31
ADN extracelular en plasma sanguíneo (mg/ml)	5.91±0.37	7.87±0.58	3.08±0.36	4.51±0.25
Contenido de endonucleasa en plasma sanguíneo, a.u.	36.8±1.1	55.2±1.3	49.1±1.5	42.0±1.2

El Centro de Investigación Radiológico Médico, Academia de las Ciencias Médicas Rusa, lleva a cabo una monitorización constante del estado de salud de los liquidadores y los residentes de las regiones contaminadas.

Los reconocimientos (1991-1996) revelan una agravación drástica de la salud de los liquidadores durante este periodo. En 1991, alrededor del 20% de los liquidadores fueron asignados al Grupo I (aparentemente sanos); el 50% al Grupo II; y el 27% al Grupo III. En 1996, únicamente el 8% estaban aparentemente sanos (Grupo I) y el 68% de las personas tenían tres o más enfermedades crónicas (Grupo III). En 2002-2003 se registró una situación aún más grave. Entre los liquidadores que vivían en Moscú y en la región de Moscú, ninguno de ellos estaba aparentemente sano; el 100% tenían tres o más enfermedades crónicas. En St. Petersburgo y la región de Leningrado, el 85% fueron asignados al Grupo III. La cifra de liquidadores inválidos era del 37% (31% en 1991); la invalidez relacionada con Chernobyl ascendía al 95%. Las causas más frecuentes de la invalidez eran enfermedades del sistema nervioso central (70%), del sistema de circulación sanguínea (23%), y del aparato locomotor (6%). Se registró polimorbilidad, es decir tres o más enfermedades crónicas, en el 51% de las personas [19].

Una comparación de los datos obtenidos en el Centro Médico Obninsk en 1993 y en 2003 sobre diferentes enfermedades entre los liquidadores y la población de Rusia (por 100.000 habitantes) mostró que estas tendencias persisten [20, 21], lo que resulta evidente si observamos la Tabla 3.



Tabla 3 Proporción de la morbilidad de los liquidadores respecto a la población de Rusia (1993 y 2003)

Clase de enfermedades	Proporción 1993 [20]	Proporción 2003 [21]
Neoplasias	0.9	-
Enfermedades malignas	1.6	-
Enfermedades endocrinas	18.4	-
Enfermedades de los órganos de la sangre y hematopoyéticos	3.6	4.55
Enfermedades mentales	9.6	9.95
Enfermedades del sistema de la circulación sanguínea	4.3	-
Enfermedades gastrointestinales	3.7	1.9
Todo tipo de enfermedades	1.5	1.59

Los grupos de casos incipientes entre los liquidadores exceden los de la población de Rusia en un factor entre 5 y 10 con respecto a las enfermedades del sistema nervioso central y las enfermedades cardiovasculares. Los datos de tres regiones rusas, donde se llevó a cabo un análisis de las enfermedades crónicas en 2001-2003 (Tabla 4) fueron amablemente proporcionados por Dr. I.V. Oradovskaya.

Tabla 4 Tasa de incidencia de enfermedades crónicas en liquidadores (datos de monitorización) en 2001-2003 [21]

Enfermedades		Moscú+ región		St.Petersb.+ región		Krasnoyarsk región	
		2003	2002	2003	2002	2003	2002
		n=110	n=133	n=104	n=108	n=74	n=194
Enfermedades del sistema de la circulación sanguínea		98.18	85.71	85.58	72.22	85.14	81.44
1	Aterosclerosis + enfermedad hipertensiva	82.72	56.39	63.46	47.22	58.11	44.32
2	Enfermedad coronaria	71.81	48.87	40.38	43.52	36.49	26.80
3	VVD (Distonía Vegetovascular), NCD (Distonía Neurocirculatoria)	13.64	25.56	14.42	13.89	21.62	25.77
4	CVD (Enfermedad cardiovascular: Encefalopatía discirculatoria)	86.36	49.62	59.62	42.59	71.62	51.03
Patologías de las esferas nerviosa y mental		80.0	41.99	34.62	25.93	82.43	40.72
5	Síndrome asténico, neurastenia	53.63	20.30	15.38	9.26	13.51	9.28
6	Síndrome de alta fatigabilidad	62.72	19.55	17.31	18.52	78.38	22.68
7	Enfermedades orgánicas del craniocerebrum	14.54	12.78	5.77	2.78	25.68	14.43
8	Polineuropatía	9.09	3.03	0.96	—	2.70	4.12
Enfermedades de los órganos digestivos		96.36	72.18	66.35	52.78	64.87	63.92
9	Enfermedades del tracto gastrointestinal (gastritis crónica, gastroduodenitis, úlcera de estómago y el duodeno)	95.45	51.88	56.73	47.22	47.30	42.27
10	Colecistitis crónica, colecistopancreatitis	49.09	40.60	25.96	20.59	45.95	41.24
11	Hepatitis grasa y distrofia hepática	17.27	5.26	9.62	5.56	16.22	8.69

Enfermedades del sistema músculo esquelético		100.0	66.17	53.85	53.7	52.70	52.06
12	Osteocondrosis deformante de la columna vertebral	91.81	56.39	48.08	46.30	48.65	44.32
13	Poliartritis crónica, osteoartrosis	39.09	14.29	1.92	6.48	8.11	7.22
14	Osteoartrosis	31.82	12.78	10.58	6.48	1.35	1.56
Otras patologías crónicas							
15	Enfermedades venosas	8.17	6.79	15.39	10.19	4.05	4.12
16	Caries múltiples	10.0	6.02	0	3.72	1.35	4.12
17	Enfermedades de la tiroides	42.72	30.08	26.92	26.85	24.39	22.16
18	Patología no-infecciosas de la visión	50.0	9.77	8.65	8.33	16.22	6.19
19	Cataratas provocadas por la radiación	8.18	3.76	0	4.63	2.70	2.06
20	Patología no-infecciosa de la audición	6.36	1.50	0.96	0.93	4.05	1.55
21	Eczema dishidrótico no-alérgico	3.63	0.75	—	—	—	
22	Urolitiasis	26.36	16.03	10.58	11.11	13.51	7.22
23	Pielonefritis crónica	4.54	—	—	—	1.35	0.52
24	Diabetes mellitus tipo II	4.54	3.01	0	0.93	2.70	2.06
25	Tumores benignos	35.45	14.10	12.50	16.67	13.51	4.12
26	Estados tras la resección de tumores malignos	2.72	1.50	3.85	2.78	4.05	4.12
27	Aparentemente sanos	0	0	0	0	0	2.06
28	Polimorbilidad (3 y más enfermedades)	100.0	84.21	86.54	72.22	77.03	74.23
29	Enfermedades crónicas (total)	100.0	96.99	100.0	89.81	86.49	97.94
30	Invalidez	35.45	33.08	26.92	25.93	43.24	38.66
	Incluyendo: Grupo I	0.9	0.75	0	0.93	4.05	1.55
	Grupo II	25.45	23.31	20.19	13.21	18.92	18.04
	Grupo III	9.09	8.27	5.77	12.04	20.27	19.07
31	Enfermedades generales	19.09	19.08	5.77	3.72	5.41	3.61
32	Total	54.55	51.13	32.69	29.63	48.65	42.27

Es evidente observando la Tabla 4, que prevalecen las enfermedades específicas de las personas de edad mediana. En efecto, la edad de los liquidadores era varios años menor de lo que se esperaría de la evaluación de su estado de salud.

En los trabajos de A.F. Tsyb y V.K. Ivanov, *et al.* [22], se consideró la dependencia con la dosis de las enfermedades distintas del cáncer.

Los estudios dieron como resultado la determinación de dependencias estadísticamente significativas con la dosis para toda la cohorte de liquidadores estratificada por edad en el momento de la llegada a la zona, la fecha de llegada, y la región de residencia con respecto a las siguientes clases no oncológicas de enfermedades:

- Enfermedades del sistema endocrino [ERR = 0.58 con IC del 95% (0.30 y 0.87)];
- Enfermedades mentales [ERR = 0.40 con IC del 95% (0.17 y 0.63)];
- Enfermedades del sistema nervioso central y órganos de los sentidos [ERR = 0.35 con IC del 95% (0.19 y 0.52)];
- Enfermedades de los órganos alimentarios [ERR = 0.24 con IC del 95% (0.05 y 0.43)];



- Enfermedades cerebrovasculares [ERR = 1.17 con IC del 95% (0.45 y 1.88)];
- Hipertensión esencial [ERR = 0.52 con IC del 95% (0.07 y 0.98)].

Los resultados obtenidos deberían considerarse como preliminares y requerirían una verificación. Más estudios sobre la cohorte de liquidadores elegida determinarán la ambigüedad en la evaluación cuantitativa de los resultados y será posible aislar el componente de la radiación en las patologías teniendo en cuenta todos los factores de riesgo para las naturalezas radiogénicas y no-radiogénicas.

Los médicos extranjeros se inclinan a atribuir todos los problemas de salud de los liquidadores y de la población (niños y adultos) a fallos en la atención médica y en los registros, o a condiciones sociales adversas. Sería injusto ignorar la dureza de las condiciones de vida de las personas que viven en Rusia. Sin embargo, una comparación local de los contingentes irradiados y no-irradiados que viven bajo las mismas condiciones y que incluso se dedican a trabajos duros o dañinos posibilita el sacar una conclusión sobre la contribución obvia de la irradiación al detrimento de la salud de la población irradiada, en particular en el caso de los niños y los liquidadores. Ya hemos mencionado que la relación de los efectos con las dosis de la irradiación de bajo nivel no obedece necesariamente las mismas leyes que la irradiación de altas dosis y que el efecto podría no únicamente ser no-lineal sino que también podría ser no-monotónico. Por lo tanto, el detectar la naturaleza radiogénica de los efectos de las altas y las bajas dosis debería ser diferente; no se pueden utilizar los mismos criterios y los mismos enfoques. El criterio para determinar la correlación dosis-efecto debería estar basado en los datos de la epidemiología molecular. Actualmente, un enfoque prometedor es la búsqueda de una relación entre las enfermedades somáticas y las alteraciones citogenéticas en el organismo de las personas irradiadas. El número de estudios en el que esta relación ha sido detectada está creciendo rápidamente.

Conclusión

Una serie de estudios experimentales médico-biológicos, bioquímicos, biofísicos, y citogenéticos llevados a cabo durante el período post-Chernobyl con la utilización de datos sobre los efectos del accidente de la central nuclear de Chernobyl sobre la salud de los liquidadores y la población de las regiones de tradición contaminadas de Ucrania, Rusia, y Bielorrusia ha revelado dos efectos biológicos comunes. Uno de ellos muestra, con un alto nivel de confianza estadística, el papel y el efecto de las bajas dosis de irradiación de bajo nivel sobre el ser humano y los entes vivos. Otro, estrechamente relacionado con el primero, muestra el aumento de la sensibilidad de los objetos expuestos a una irradiación de bajo nivel a otros factores dañinos incluyendo dosis de irradiación más elevadas.

Al examinar estos efectos hemos descubierto otros que muestran varios aspectos y fenómenos específicos de los impactos de la radiación de baja dosis. En particular:

- La correlación entre los efectos destructivos de la irradiación y la restauración (reparación) de los daños.
- El papel de protección decisivo de las membranas celulares; la gran importancia de la estabilidad antioxidante y el estado inmune respecto a los efectos de las bajas dosis.
- La complicada naturaleza de la dependencia de los efectos con la dosis que involucra la interacción de varios subsistemas.

- La naturaleza informativa (de señalización) del estrés biológicamente significativo causado por la radiación de bajo nivel.
- Características específicas en la respuesta de una población a la acción de las bajas dosis.
- Otros, descritos en este trabajo.

Aunque algunos de estos resultados requieren más estudios, las tendencias y los fenómenos descubiertos podrían convertirse en una base teórica para efectuar prognosis sobre el estado de salud de las víctimas del accidente de Chernobyl y recomendaciones para mejorar la situación actual.

Los resultados de los exámenes y las monitorizaciones biológicas de los niños y los adultos de Chernobyl apuntan inequívocamente a un deterioro constante, rápido, y dramático (para una vida humana individual) de la salud de todas las víctimas causado por el impacto de la radiación del accidente de Chernobyl. El efecto se manifiesta en los procesos relacionados con un rápido envejecimiento del organismo y en el desarrollo de lo denominado polimorbilidad, es decir un complejo de tres o más enfermedades crónicas, entre las víctimas de la de radiación. Actualmente, el alcance de esta patología entre los liquidadores que viven en Moscú y la regiones de Moscú es del 100%; y para la región de Leningrado es del 85%.

Un resultado importante de los estudios llevados a cabo es la evaluación de los efectos de la irradiación de bajas dosis sobre las personas de diferentes categorías de edad. Los más resistentes a la irradiación son las personas de edad mediana - los niños y los jóvenes menores de 30 años y las personas mayores de 60 son los menos resistentes. Esto es un resultado práctico importante; hace posible determinar la prognosis para las tasas de empleo real para una población de varios grupos de edad en la regiones radio-contaminadas y para el caso de las industrias que involucran una irradiación de bajo nivel.

La cuestión que se menciona en el título de este artículo - si es seguro vivir en los territorios contaminados por la radiación - es controvertido y fue provocado por la postura de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA). Durante muchos años y particularmente en la última declaración (2005) [23], los dirigentes y expertos de la IAEA han intentado convencer al mundo de sus ideas o, más exactamente, han exigido (sin argumentos convincentes) que la comunidad mundial acepte su palabra sobre la seguridad de vivir dentro de las regiones contaminadas por el accidente de Chernobyl, así como sobre el "exceso" de las medidas tomadas por el gobierno para prestar una asistencia adecuada a la población de las regiones afectadas.

Cualquier investigador sin prejuicios, y sin ataduras con intereses corporativos, que haya estado en los lugares de residencia de las víctimas de Chernobyl, especialmente en las regiones remotas de Rusia (Ucrania y Bielorrusia) considerará asombrosas las declaraciones sobre la excesiva cantidad de medidas. Desde un punto de vista científico, puede afirmarse que no hay pruebas convincentes de que se hayan tomado medidas excesivas, y que al contrario, no se cumplen ni las condiciones mínimas necesarias para la seguridad de las personas que viven en esta regiones - las víctimas de la irradiación de bajo nivel. No existe una atención médica adecuada o un apoyo social dirigido a mejorar estas condiciones de vida.

Quizás, es una de las lecciones más importantes del accidente, que es la catástrofe más grave de la historia, que cualquier catástrofe es siempre irreversible, tanto para el ser humano como para la naturaleza. Consecuentemente, la cuestión sobre la viabilidad de vivir de manera segura dentro de los territorios contaminados con la radiación no tiene ni siquiera sentido. Es relativamente seguro vivir, pero no en Chernobyl.



Referencias

- Akif'ev A.P., Obukhova L.K., and izmailov D.M., *Vestnik Rus.Akad.Nauk.*, 1992, vol. 32, vol. 5, pp. 82-92. (in Russian)
- Amundson S.A., Lee R.A., Koch-Paiz C.A., et al., *Differential Responses of Stress Genes to Low Dose Rate Irradiation*, *Mol. Cancer Res.*, 2003, 1 (6), pp. 445-452.
- Baleva L.S., Sipyagina A.P., in the book "20 Years after Chernobyl Catastrophe", 2006 (in press). I.V.
- Burlakova E.B., Goloshchapov A.N., Gorbunova N.V., et al., *Radiats. Biol. Radioecol.*, 1996, vol. 36, no. 4, pp. 610-631. (in Russian)
- Burlakova E.B., Goloshchapov A.N., Gorbunova N.V., Gurevich S.M., Zhizhina G.P., et al., *Radiats. Biol. Radioecol.*, 1996, vol. 36, no. 4, pp. 610-631. (in Russian)
- Burlakova E.B., Goloshchapov A.N., Zhizhina G.P., and Konradov A.A., *New aspects of effects of low doses of low-level irradiation*, *Radiats. Biol. Radioecol.*, 1999, vol.32, no. 1, pp. 26-34. (in Russian)
- Burlakova E.B., *Low Intensity Radiation: Radiobiological Aspects*, *Rad. Protection Dosimetry*, 1995, vol. 62, no. 1/2, pp. 13-18. (in Russian)
- Burlakova E.B., *Some specific features of action of low dose irradiation*, *Proceedings of the 24th Annual Meeting of the European Society of Radiation Biology*, 1992, p. 88.
- Burlakova E.B., Treshchenkova Yu.A., and Goloshchapov A.N., *Radiats. Biol. Radioecol.*, 2003, vol. 43, no. 3, pp. 320-323. (in Russian)
- Crompton N.E.A., Izsahin M., Schweizer P. et al., *Strahlenther. Oncol.*, 1997, Bd. 2, S. 58.
- Hardy K. and Stark J., *Mathematical models of the balance between apoptosis and proliferation*, *Apoptosis*, 2002, vol. 3, pp. 373-381.
- Hooker A.M., Bhat M., Day T.K. et al., *Rad. Res.*, 2004, no. 162, pp. 447-452.
- Ivanov V.K., Chekin S.Y., Parshin V.S., et al., *Non-cancer thyroid diseases among children in the Kaluga and Bryansk regions of the Russian Federation exposed to radiation*.
- M. Martin, F. Crechert, B. Ramount, and J-L. Lefaix, *Activation of c-fos by Low-Dose Radiation: Mechanism of the Adaptive Response in Skin Cells*, *Radiat. Res.*, 141, 118 (1995).
- Mil Ā.Ā., Erokhin V.N., Kasparov V.V., et al., *Biofizika*, 2001, no. 46 (2), pp. 548-572. (in Russian)
- Oradovskaya I.V., in the book "20 Years after Chernobyl Catastrophe", 2006 (in press).
- Pelevina I.I., Afanas'ev G.G., Gotlib V. Ya., and Serebryanyi A.B., in the book "Consequences of the Chernobyl accident: Human health" *Ioscow, Center of Ecol. Pol.* 1996, pp. 229-244. (in Russian)
- Pelevina I.I., Aleshchenko A.V., Gotlib V.Ya., et al., *Radiats. Biol. Radioecol.*, 2004, vol. 44, no. 3, pp. 278-282. (in Russian)
- Radiation and risk *Bulletin of the National Radiation-Epidemiology Register*, Moscow-Obninsk, 1996, no. 8. (in Russian)
- Report of IAEA experts., Vienna, 2005.
- Vartanyan L.S., Gurevich S.M., Kosachenko A.I., et al., *Age-related effects of low doses of ionizing radiation on the state of enzymic AO system of blood of participants of liquidation of consequences of the Chernobyl accident*, *Uspekhi gerontologii*, 2004, no. 14, pp. 48-54. (in Russian)
- Yarilin A.A., *Radiats. Biol. Radioecol.*, 1997, vol. 37, no. 4, pp. 597-603. (in Russian)

Trastornos mentales, psicológicos y del sistema nervioso central: Comentarios críticos sobre el informe del Grupo de expertos “HEALTH” sobre Chernobyl de la ONU

Konstantin N. Loganovsky, MD, PhD, Dr. en Medicina y Ciencia

Departamento de Psiconeurología Radiológica, Instituto de Radiología Clínica,

Centro de Investigación de Medicina Radiológica,

Academia de Ciencias médicas de Ucrania,

Melkinov 53, 04050, Kiev, Ucrania

Tel.: 380-44-452-1803; fax: 380-44-451-2330

e-mail: logan@rcrm.kiev.ua; psycho@rcrm.kiev.ua; psycho@ln.ua

Traducción de Laura Llamas Fraga, con la colaboración de Dan Calvo SantaOlalla (Facultad de Traducción y Documentación, Universidad de Salamanca)

Antecedentes

Existe una opinión internacional generalizada según la cual el impacto en la salud mental que ocasionó el accidente de Chernobyl es el problema más importante de la salud pública. El Grupo de Expertos “HEALTH” del Foro sobre Chernobyl de la ONU (EGH) ha señalado los siguientes cuatro ámbitos de interés relacionados entre sí: los síntomas relacionados con el estrés, los efectos en el cerebro en desarrollo, los trastornos cerebrales orgánicos en los limpiadores expuestos a altas radiaciones y los suicidios. Durante más de un siglo, ha existido un acalorado debate sobre si el Sistema Nervioso Central (SNC) es o no vulnerable a la radiación ionizante. Después del bombardeo atómico de Japón y especialmente tras del accidente de Chernobyl, los intereses de investigación sobre trastornos cerebrales por radiación han aumentado no tablamamente en todo el mundo, así como también las contradicciones en lo que concierne a la sensibilidad del cerebro a la radiación.

A pesar de las estimaciones de UNSCEAR 2000 (Apéndice J), cuyos expertos reconocieron solo las consecuencias psicosociales del accidente de Chernobyl, el Instituto francés de radioprotección y seguridad nuclear (IRSN) investiga la sensibilidad del SNC a las dosis bajas: “Hoy en día se reconoce que el SNC es un órgano radiosensible cuyo grado de disfunción puede cuantificarse en parámetros electrofisiológicos, bioquímicos y/o de conducta. Las anomalías en las funciones del SNC que vienen definidas por estos parámetros pueden darse cuando todo el cuerpo se expone a dosis bajas de radiación (...)” (Gourmelon et al, 2005 — *Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire, Fontenay-aux-Roses*).

Sin duda, los limpiadores del accidente de Chernobyl padecen el riesgo más alto de sufrir trastornos neuropsiquiátricos debido a la gran cantidad de factores, tanto radioactivos como no radioactivos, a los que estuvieron expuestos como consecuencia de la catástrofe. Sin embargo, hasta ahora existe un vacío de conocimiento en lo que respecta a la evaluación basada en pruebas del estado de salud mental de los limpiadores. Hay muchas contradicciones acerca de la exposición a dosis bajas (<1 Sv) como, por ejemplo, si supone un factor de riesgo para padecer trastornos neuropsiquiátricos, en especial trastornos de tipo esquizofrénico o el Síndrome de Fatiga Crónica (SFC). No hay datos suficientes sobre los siguientes temas: los efectos y los indicadores de la radiación en el cerebro y la relación dosis-respuesta.



En la actualidad, se encuentra disponible el documento de trabajo del 31 de agosto de 2005 para la elaboración del Informe del EGH del Foro sobre Chernobyl de la ONU (*Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programme*). Sin embargo, este documento presenta numerosas lagunas e incluso errores en cuanto a la presentación de los trastornos mentales, psicológicos y del SNC. Los objetivos principales de este documento son los siguientes: por un lado, debatir la información actualmente disponible y sus limitaciones en lo que concierne a las secuelas mentales que produjo el accidente de Chernobyl y los trastornos neuropsiquiátricos de la radiación ionizante; y, por otro lado, analizar las investigaciones y medidas destinadas a mejorar la asistencia a la salud mental tanto de los supervivientes del accidente de Chernobyl como de las víctimas de posibles accidentes radioactivos futuros.

Trastornos relacionados con el estrés

Existe un consenso general en lo que respecta a los trastornos relacionados con el estrés posteriores al accidente de Chernobyl. Tal y como se muestra en el capítulo 15 del Informe del EGH del Foro sobre Chernobyl de la ONU, la población expuesta de Chernobyl mostró mayores niveles de depresión y de ansiedad (incluyendo síntomas de estrés post-traumático), así como una serie de síntomas físicos sin explicación médica, en comparación con los grupos control (Viinamaki *et al*, 1995; Havenaar *et al*, 1997a; Bromet *et al*, 2000). También existen estudios que demuestran que las poblaciones expuestas presentaban el doble de casos con síntomas de ansiedad que los grupos control y que estas primeras eran entre 3 y 4 veces más propensas a mostrar múltiples síntomas físicos sin explicación y una mala salud subjetiva (Havenaar *et al*, 1997b; Allen and Rumyantseva; 1995; Bromet *et al*, 2002).

Se observó que las consecuencias en la salud mental de la población general fueron en su mayoría subclínicas y que no presentaban los síntomas necesarios como para ser considerados trastornos psiquiátricos (Havenaar *et al*, 1997b). Aún así, estos síntomas subclínicos tuvieron importantes repercusiones en las conductas relacionadas con la salud, en el uso de la asistencia médica y en la observancia de las normas de seguridad (Havenaar *et al*, 1997a; Allen and Rumyantseva, 1995). En cierta medida, estos síntomas derivaron de que los afectados creían que el accidente había afectado gravemente su salud y porque un médico les había diagnosticado un “problema de salud relacionado con el accidente de Chernobyl”.

En la cohorte de liquidadores (n=507) se ha observado un nivel muy alto de trastornos mentales (84,42%). Este nivel es notablemente más alto al de los habitantes de zonas contaminadas por radiación de la Federación Rusa (60,9%), así como al de poblaciones de áreas “limpias” (47%). Al contrario de lo que sucede en las poblaciones donde predominan los trastornos subclínicos, en los liquidadores la proporción de trastornos mentales clínicamente significativos es bastante grande; sobre todo, los somáticos y depresivos. (Rumyantseva *et al*, 1998).

Daños cerebrales *in utero*

Si está comúnmente aceptado que el cerebro adulto es vulnerable a la radiación, resulta evidente que un cerebro en desarrollo sea extremadamente radiosensible. Se han realizado estudios epidemiológicos en supervivientes a la bomba atómica de Hiroshima y Nagasaki que estuvieron expuestos *in utero* que confirman que el cerebro en desarrollo de un feto es vulnerable a lesiones por radiación. Se detectaron retrasos mentales graves, descensos

del coeficiente intelectual (CI) y peor rendimiento académico, así como también una incidencia de casos de microcefalia y ataques, especialmente en los niños que estuvieron expuestos a radiación entre las semanas 8–15 y 16–25 de gestación (Otake y Shull, 1984, 1998; Publicación 49 de la CIPR, 1986; Shull, 1997; Shull y Otake, 1999). Recientemente, se han vuelto a evaluar los datos sobre la dosimetría y se ha determinado que el umbral de dosis para desarrollar retraso mental tras haber sido expuesto a irradiación intrauterina durante las semanas 8–15 de gestación es de 0,06-0,31 Gy y que durante las semanas 16-25 de gestación es de 0,28–0,87 Gy (Otake *et al*, 1996). No obstante, todavía sigue abierta al debate la cuestión en cuanto al aumento de la prevalencia de la esquizofrenia entre los supervivientes expuestos antes de nacer a la radiación de la bomba atómica (Imamura *et al*, 1999).

En cuanto a los efectos de la radiación en el cerebro de prenatales, actualmente se cree que cuando un feto se expone a 1Sv durante las semanas de gestación 8-15, su CI se reduce en 30 puntos. En consecuencia, se entiende que cada 100 mSv de irradiación el CI baja en no más de 3 puntos. Entre las semanas 8-15 de gestación, el exceso de retraso mental grave es de 0,4 por 1 Sv y, en menor medida, durante las semanas 16–25 (Comisión Europea sobre Protección contra la Radiación 100, 1998; Publicación 84 de la CIPR, 2000). Así, las personas que estuvieron expuestas a radiación durante el periodo de gestación presentaron los siguientes trastornos neurológicos basados en pruebas: una disminución de la inteligencia relacionada con la dosis que puede incluso alcanzar el retraso mental, microcefalia y ataques. El deterioro del CI depende del periodo de cerebrogénesis en el que se haya producido la exposición. Sin embargo, a día de hoy todavía existe un debate en cuanto a otros trastornos neurológicos por radiación en embriones, tales como la esquizofrenia y la epilepsia.

Obviamente, se ha mostrado un gran interés por el cerebro en desarrollo de los niños que estaban en periodo de gestación cuando ocurrió el accidente (Nyagu *et al*, 1993, 1996a,b, 1998, 2002a; Igumnov, 1996; Kolominsky *et al*, 1999; Kozlova *et al*, 1999; Loganovskaja y Loganovsky, 1999; Igumnov, Drozdovitch, 2000). Cabe decir que la dosis más baja de exposición a radiación que provocó retraso mental en los hijos de los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki fue más elevada que la dosis más alta de la que se tenga noticia entre la población de Chernobyl. No obstante, existe la creencia general de que los cerebros de los niños de Chernobyl que estuvieron expuestos a radiación presentaban lesiones. Por este motivo, la Organización Mundial de la Salud llevó a cabo el denominado Proyecto Piloto sobre Daños Cerebrales *In-Utero* en el marco del Programa Internacional sobre los trastornos en la Salud del Accidente de Chernobyl (IPHECA).

Sin embargo, a pesar de nuestras numerosas objeciones, en la página 132 del capítulo 15 del Informe del EGH del Foro sobre Chernobyl de la ONU (documento de trabajo del 31 de agosto de 2005) se puede leer todavía una interpretación errónea de los hechos: “«Así, la OMS llevó a cabo un estudio piloto sobre daños cerebrales *in-utero* y NO ENCONTRÓ tasas elevadas de retraso mental entre los niños expuestos en comparación con los grupos control»”. De hecho, debe ser como se cita a continuación (Organización Mundial de la Salud, 1996, p. 402):

“..3 Los análisis de los resultados de las investigaciones realizadas en los tres países han demostrado lo siguiente:

- La incidencia de retraso mental leve en el grupo principal de niños es más alta en comparación con la del grupo control.



- Se detectó una tendencia al alza en casos de trastornos de conducta, así como también se observaron así como en cambios en los problemas emocionales de los niños del grupo principal.
- La incidencia de nervios límite y de trastornos psicológicos en los padres del grupo principal es más alta en comparación con la de los grupos control.

4. Partiendo de la base de estas investigaciones, es imposible llegar a la conclusión de que exista algún tipo de relación entre *un aumento en el número de niños con retraso mental* y la radiación ionizante del accidente de Chernobyl. Los resultados obtenidos son difíciles de interpretar y requieren verificación. Es necesario continuar con las investigaciones epidemiológicas bien planeadas y el seguimiento dosimétrico del proyecto (Organización Mundial de la Salud, 1996)”.

La conclusión principal a la que se ha llegado basándose en la puesta en práctica del Proyecto Piloto «Daños Cerebrales *In-Utero*» del IPHECA es la siguiente: “*En algunos de los niños expuestos in utero se detectan atrofas mentales, así como desviaciones en las reacciones emocionales y de conducta. Todavía se desconoce hasta qué punto ha influido la radiación en la aparición de estos cambios fisiológicos puesto que no hay datos dosimétricos individuales*”.

(Organización Mundial de la Salud, 1996, p. 415)

En realidad, tal y como figura en el Informe del EGH, se han llevado a cabo recientemente dos estudios bien estructurados a base de tests neuropsicológicos y ninguno de ellos encontró diferencias sistemáticas entre los niños expuestos *in utero* (Litcher *et al*, 2000; Bar *et al*, 2004). En el estudio de Litcher *et al*. (2000) se demostraba que el 31% de las madres de los niños evacuados creían que sus hijos tenían problemas de memoria en comparación con el 7% de los grupos control incluso a pesar de que los resultados de los tests neuropsicológicos y de las calificaciones escolares fuesen prácticamente iguales. No obstante, en lo que respecta a las medidas que se emplearon a la hora de realizar el estudio, cabe decir que en Ucrania no se disponía ni datos dosimétricos ni de datos normativos (Bromet *et al*, 2000; Litcher *et al*, 2000). Además, las pruebas de CI se realizaron de manera selectiva, pues las únicas funciones cognitivas que evaluó Litcher *et al*. (2000) fueron la inteligencia espacial (Subtest de Relaciones Simbólicas del Test de Detroit), la atención y la memoria; excluyendo la inteligencia verbal. No están disponibles las pruebas de CI verbal, total y de ejecución.

Usando los criterios de CIE-10 y algunas pruebas adicionales, Igumnov (1996) demostró que los trastornos mentales de los niños irradiados *in utero* fueron consecuencia de factores predominantemente sociodemográficos y socioculturales. Las siguientes observaciones se atribuyeron a factores sociales y psicológicos: una mayor prevalencia a padecer trastornos emocionales y del lenguaje y del habla en desarrollo específico; un CI total medio más bajo y un mayor número de casos de CI límite en prenatales expuestos de Bielorrusia. Concluyeron que no existe relación alguna entre la irradiación en periodo prenatal, el CI y el deterioro de la salud mental en niños (Igumnov, 1999; Kolominsky *et al*, 1999). Cabe mencionar que en el Anexo J. (“Exposiciones y trastornos del accidente de Chernobyl”) del Informe UNSCEAR 2000 de la Asamblea General se defiende esta postura. Por lo tanto, se estimó que los factores sociopsicológicos y socioculturales desfavorables probablemente hayan desempeñado un papel importante en el origen del rendimiento intelectual límite y de los trastornos afectivos de los niños de Bielorrusia expuestos *in utero* (Igumnov & Drozdovitch, 2004).

En cuanto a los niños expuestos a radiación desde los 0 a los 1,5 años, hay datos que ponen de manifiesto una correlación entre la dosis tiroidea (hasta dosis de 0,5 Gy) y una disminución de la inteligencia (Bazyltchik *et al*, 2001). El CI medio del subgrupo de niños expuestos a una radiación alta (dosis tiroidea *in utero* >1 Gy) fue más bajo en comparación con el CI medio de todo el grupo expuesto (Igumnov and Drozdovitch, 2000). Los prenatales irradiados, especialmente aquellos expuestos entre las semanas 8–15 de gestación, presentaron un mayor número de trastornos funcionales y orgánicos en el SNC, un CI límite y un EEG (electroencefalograma) anormal; consecuencias que estaban asociadas tanto a factores psicosociales como a las dosis de radiación (Gayduk *et al*, 1994). Los niños irradiados *in utero* presentaron los índices más altos de morbilidad mental y eran más propensos a mostrar inteligencia límite y retraso mental asociados a la radiación *in utero* (Remolina *et al*, 1996). El nivel de la hormona que estimula la tiroides (TSH) crece a medida que aumenta la dosis tiroidea fetal con un umbral de 0,3 Sv. Por este motivo, se planteó la hipótesis de que la disfunción del sistema pituitario-tiroideo inducida por la radiación hubiese sido un mecanismo biológico de importancia en el origen de los trastornos mentales de los prenatales irradiados (Nyagu *et al*, 1996a,b, 1998). Asimismo, debido a la disfunción de las estructuras cerebrales límbicas-reticulares del hemisferio izquierdo, también se planteó la hipótesis de que, en periodo prenatal, el hemisferio izquierdo fuese más vulnerable a la radiación que el derecho (Loganovskaja and Loganovsky, 1999). En un grupo de prenatales expuestos se observaron las siguientes características: discrepancias en cuanto al CI verbal y el CI de ejecución junto con un decremento del CI verbal; una mayor frecuencia de patrones electroencefalográficos de bajo voltaje, así como una mayor frecuencia de actividad epileptiforme en el EEG; disfunciones lateralizadas hacia el hemisferio izquierdo; un aumento ($p < 0,001$) de la actividad δ y β y un descenso ($p < 0,001$) de la actividad α y θ ; una mayor frecuencia de trastornos de paroxismos y trastornos mentales orgánicos; disfunciones autónomas somatoforme; y, por último, trastornos emocionales, del desarrollo psicológico y de la conducta. Así, las disfunciones cerebrales resultaron etiológicamente heterogéneas (Nyagu *et al*, 2002a).

Sin embargo, no se investigaron las posibles correlaciones que podrían tener estas disfunciones con las dosis de radiación. Además, se encontraron contradicciones tanto en los resultados obtenidos en la evaluación de la salud mental de los niños expuestos *in utero*, como en la etiología de los trastornos neuropsiquiátricos observados. Por ambos motivos, la Iniciativa franco-alemana por Chernobyl ha llevado a cabo un riguroso estudio dentro del marco del Proyecto N°3 llamado *Health Effects on the Chernobyl Accident* (“Las repercusiones en la Salud que ocasionó el Accidente de Chernobyl”) sobre los posibles trastornos que podría haber provocado la radiación cerebral en prenatales como consecuencia del accidente de Chernobyl.

Efectos neuropsiquiátricos

Cabe mencionar que, en la actualidad, continúa siendo escasa la información sobre los efectos neuropsiquiátricos que figura en el Informe del EGH del Foro sobre Chernobyl de la ONU (documento de trabajo del 31 de agosto de 2005) a pesar de las continuas y numerosas aportaciones que hemos hecho a través de la web apoyándonos en estudios médicos basados en pruebas.



Radiación en la infancia y en la niñez

Cada vez resulta más evidente que la radioterapia en el SNC durante la infancia y la niñez puede ocasionar, a largo plazo, trastornos cognitivos severos y de la función endocrina. Sin embargo, gracias a la mejora de los tratamientos para combatir el cáncer infantil, las tasas de supervivencia a esta enfermedad son cada vez mayores (Anderson, 2003). En la actualidad, todavía se cree que la dosis cerebral más baja que podría asociarse a efectos deterministas tardíos ocasionados por la exposición a radiación en la niñez es de 18 Gy. Dichos efectos podrían derivar en trastornos cognitivos, cambios histopatológicos y trastornos neuroendocrinos (UNSCEAR 1993).

Asimismo, se detectaron daños cerebrales tardíos por radiación en una cohorte de casi 20.000 israelíes 20 años después de que su cuero cabelludo hubiese sido irradiado en la niñez (radiación de rayos X en la cabeza para el tratamiento de la tiña del cuero cabelludo - *tinea capitis*) en dosis medias de tan solo 1,3 Gy (Yaar *et al.*, 1980, 1982; Ron *et al.*, 1982).

Basándose en un estudio de cohorte de la población sueca, se ha comprobado recientemente el efecto que producen las dosis bajas de radiación ionizante (>100 mGy) que se reciben en la infancia (radioterapia de hemangiomas cutáneos) sobre la función cognitiva en la edad adulta (Hall *et al.*, 2004).

En un estudio retrospectivo de cohorte de la población danesa que se realizó a nivel nacional se demostró que había aumentado no tablamamente la propensión a padecer esquizofrenia y trastornos relacionados entre los supervivientes que, en su niñez o adolescencia, se sometieron a radioterapia para tratar tumores cerebrales (Ross *et al.*, 2003).

De este modo, se puede afirmar que los deterioros cognitivos relacionados con las dosis presentes en la adultez están relacionados con la exposición a radiación durante la infancia y la niñez. Los posibles umbrales de dosis para los daños cerebrales tardíos por radiación durante la infancia y la niñez son bajas (0,1–1,3 Gy). Sin embargo, las dosis mínima y máxima más pequeñas que causan trastornos neurocognitivos en el cerebro son de 2 Gy y 18 Gy respectivamente. Sin lugar a dudas, es necesario que se sigan llevando a cabo otros estudios en los que se vuelvan a evaluar los riesgos y beneficios que puede ocasionar a largo plazo la radioterapia craneal en la infancia y la niñez. Cuando las dosis de la radiación ionizante (100 mGy) a las que se expone el cerebro son equivalentes a aquellas procedentes de tomografías computarizadas del cráneo (120 mGy), el desarrollo intelectual del niño se ve afectado de manera negativa. En definitiva, deberían volver a evaluarse los riesgo y beneficios que suponen las tomografías computarizadas (Hall *et al.*, 2004).

Radiación en adultos

Algunos de los efectos deterministas de la radiación, los cuales pueden derivar en disfunciones de órganos o de tejidos, no son sólo consecuencia de la muerte celular. La disfunción puede deberse a la existencia de una interacción con las funciones de otros tejidos. Tales “efectos deterministas funcionales” incluyen cambios en el electroencefalograma y en el electrorretinograma, así como reacciones vasculares. Estos efectos pueden tener importantes consecuencias clínicas; especialmente, en el sistema nervioso (Publicación 60 de la CIPR, 1991). Normalmente, se cree que un SNC adulto es extremadamente resistente a la radiación;

sin embargo, lo cierto es que cada vez son más las pruebas que demuestran que el cerebro es muy radiosensible (Nyagu y Loganovsky, 1998).

En radiología médica, se cree que las lesiones morfológicas por radiación presentes en el SNC podrían ser consecuencia de una exposición local del cerebro a dosis >10 – 50 Gy. De hecho, se detectaron casos de necrosis cerebral por radiación debida a una exposición local del cerebro a dosis ≥ 70 Gy; en este caso, es posible desarrollar una demencia radiógena. Por otro lado, se estimó que la dosis máxima tolerada por el cerebro es de 55 – 65 Gy y que la dosis mínima tolerada es de 2 Gy (Gus'kova y Shakirova, 1989; Gutin *et al.*, 1991; Mettler y Upton, 1995). A su vez, se concluyó que, una vez que el cuerpo ha estado expuesto a dosis >100 Gy, es posible que se produzcan lesiones primarias en el SNC —enfermedad aguda por radiación (ARS) en el cerebro. Las lesiones secundarias en el SNC puede que se originen con dosis de 50 – 100 Gy —ARS; como por ejemplo, la toxemia (Gus'kova y Bisogolov, 1971). Por último, se determinó que el umbral de dosis en todo el cuerpo para que se produjeran cambios neuroanatómicos por radiación es de 2 – 4 Gy (Gus'kova y Shakirova, 1989).

Sin embargo, en estudios experimentales, se revelaron cambios morfológicos neuronales con una radiación total muy baja ($0,25$ – 1 Gy) (Alexandrovskaia, 1959; Shabadash, 1964). Por un lado, se determinó que el umbral de dosis para que se produzcan lesiones por radiación en el SNC, con lesiones primarias en neuronas, es de $0,5$ Gy (Lebedinsky and Nakhilnitskaja, 1960). Por otro lado, se observó que se producen cambios persistentes en la actividad bioeléctrica cerebral con umbrales de $0,3$ a 1 Gy y que estos cambios son cada vez más frecuentes a medida que aumenta la dosis absorbida (Trocherie *et al.*, 1984). Según estos datos, el SNC es propenso a sufrir alteraciones en su funcionamiento después de haber estado expuesto a dosis de radiación relativamente bajas (Mickley, 1987). Además, se demostró que la exposición a radiación ionizante modifica no tablamante la transmisión neural (Kimeldorf y Hunt, 1965) y que, dependiendo en gran medida de la dosis recibida, produce múltiples trastornos cerebrales y de conducta (Hunt, 1987). La radiación ionizante influye tanto en las funciones de SNC como en su comportamiento por dos motivos principales: en primer lugar, por cómo afecta directamente al sistema nervioso; y, en segundo lugar y de manera indirecta, por la reactividad del SNC a las lesiones por radiación ocasionadas en otros sistemas (Kimeldorf y Hunt, 1965; Mickley, 1987). Se ha observado también que, tras una única exposición a una radiación total de 1 – 6 Gy, el SNC padece una enfermedad lenta y progresiva por radiación (Moscalev, 1991). Según se recoge en el informe UNSCEAR 1982, tras una exposición a radiación total de 1 – 6 Gy la corteza cerebral sufre una degeneración progresiva (Vasulescu *et al.*, 1973).

Según el *Adult Health Study* (AHS) de Hiroshima, las personas a las que se les diagnosticó demencia vascular o enfermedad de Alzheimer entre 25 y 30 años después de la bomba atómica no mostraban relación significativa alguna con las dosis de radiación procedente de la explosión. En el caso de la demencia, los factores de riesgo fueron los siguientes: la edad, la tensión arterial sistólica alta, los antecedentes de apoplejía, la hipertensión y los traumatismos cerebrales, el consumo deficiente de leche y el bajo nivel educativo (Yamada *et al.*, 1999, 2003). No obstante, si se tiene en cuenta que el factor principal para desarrollar demencia vascular es el aumento de la tensión arterial (Yamada *et al.*, 1999), cabe señalar que, recientemente, este mismo estudio descubrió el principal efecto que tiene la radiación ionizante sobre el comportamiento longitudinal de la tensión arterial tanto sistólica como diastólica. Este fenómeno es compatible con el trastorno degenerativo por radiación ionizante que afecta a los vasos sanguíneos (Sasaki *et al.*, 2002). Existen análisis recientes que confirman los resultados obtenidos en estudios anteriores según los cuales ha habido un



importante aumento de la tasa de mortandad por enfermedades no oncológicas relacionadas con las dosis de radiación de la bomba atómica. En particular, cada vez son más los casos de personas con enfermedades del sistema circulatorio (Shimizu *et al.*, 1999). Esto es una prueba clara de los efectos que ocasiona la radiación en dosis $>0,5$ Sv, pues se desarrollan apoplejías, enfermedades digestivas, respiratorias y del corazón, (Preston *et al.*, 2003).

Los estudios epidemiológicos realizados en supervivientes de la bomba atómica han puesto de manifiesto un aumento de la tasa de mortandad por enfermedades no oncológicas. De hecho, el aumento que se ha producido en las tasas de mortandad y de incidencia por enfermedades cardiovasculares (ejemplo de enfermedad no oncológica) está asociado a las dosis de radiación (Kusunoki *et al.*, 1999). Se diagnosticaron problemas oncológicos en supervivientes de la bomba atómica tras haber estado expuestos a dosis $\sim 0,5$ Sv (la mitad del nivel de dosis que en estudios anteriores se consideró como el umbral de dosis). Este hecho debería suscitar un mayor interés hacia los efectos deterministas (Shimizu *et al.*, 1999; Fry, 2001; Preston *et al.*, 2003; Yamada *et al.*, 2004) y hacia la morbosidad y la mortandad no oncológicas posteriores al accidente de Chernobyl. No obstante, se señaló que la exposición a la radiación de la bomba atómica había afectado a la salud mental de los supervivientes y que la atención a la misma era de vital importancia (Honda *et al.*, 2002). La prevalencia de los síntomas de ansiedad y de somatización en supervivientes a la bomba atómica era elevada incluso 17-20 años después del bombardeo; esto pone de manifiesto la repercusión a largo plazo de los trastornos psiquiátricos que ocasionó la tragedia (Yamada e Izumi, 2002). Sin embargo, estos estudios tan sólo se centraban en los síntomas neuróticos (ansiedad y somatización). Al mismo tiempo, cabe decir que existían coincidencias entre los datos resultantes del estudio denominado *Life Span Study* (LSS) y los del registro de casos de esquizofrenia del Departamento de Neuropsiquiatría de la Facultad de Medicina de Nagasaki. Todos ellos revelaban que la prevalencia de esquizofrenia en los supervivientes de la bomba atómica es muy alta (de un 6%) (Nekane y Ohta, 1986).

Según estimaciones actuales, la prevalencia de la esquizofrenia varía de 0,9 a 6,4, siendo la prevalencia media de 1,4–4,6 por cada 1.000 personas (Jablensky, 2000). Un estudio realizado por 10 países de la OMS (Jablensky *et al.*, 1992) reveló que la incidencia de casos de esquizofrenia en Honolulu (EE.UU) era de 1,5 y en la India de 4,1 por cada 10.000 habitantes (McGrath *et al.*, 2004). La incidencia de casos de esquizofrenia en la India era la más alta a nivel mundial; cabe decir que a esta conclusión no se llegó basándose exclusivamente en el número de casos que recibieron atención psiquiátrica (Tsirkin, 1987). En la India existen zonas con un elevado fondo radiactivo natural debido a las arenas de monacita presentes en los estados de Kerala y de Madras, así como en el delta del río Ganges. Esta radiación produce una alta tasa media de dosis absorbida en aire ($1.800 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$) (UNSCEAR 2000). La franja costera de los distritos de Trivandrum y Quilon, en Kerala, tiene un fondo radiactivo natural muy alto (más de 15 mSv al año) (Rajendran *et al.*, 1992). Por lo general, se estima que las exposiciones anuales en todo el mundo a los fondos radioactivos naturales sean en dosis de 1–10 mSv, siendo 2,4 mSv la estimación actual del valor central (UNSCEAR 2000).

Desde 1990, ha habido un importante aumento en la incidencia de casos de esquizofrenia entre el personal de la zona de exclusión (ZE) de Chernobyl (limpiadores) en comparación con la población general (5,4 personas por cada 10.000 de la ZE de Chernobyl en comparación con 1,1 personas por cada 10.000 en Ucrania –año 1990) (Loganovsky y Loganovskaja, 2000).

Inmediatamente después del accidente de Chernobyl, se detectaron los siguientes efectos en los siguientes cuadros clínicos: distonía vascular (vegetativa) autónoma (DVV) y trastornos neuróticos en el cuadro clínico de ARS leve [o ARS de 1° grado] (0,8–2,1 Gy); DVV en el de ARS moderada [o ARS de 2° grado] (2–4 Gy); encefalopatía por radiación aguda, encefalopatía tóxica por radiación, psicosis aguda acompañada de alucinaciones visuales y auditivas y edema cerebral en el de ARS severa [o ARS de 3° grado] (4,2–6,3 Gy); y, por último, encefalopatía por radiación aguda, encefalopatía tóxica por radiación, hemorragia subaracnoidea-parenquimatosa, edema cerebral agudo y tumefacción en el de ARS muy severa potencialmente letal [o ARS de 4° grado] (6–16 Gy) (Torubarov *et al*, 1989).

No se observaron signos claros de daños orgánicos cerebrales durante los 3 primeros años posteriores a la exposición a la radiación en supervivientes a ARS. El deterioro de la carga mental de trabajo y la astenia eran proporcionales a la gravedad de la ARS. Las fases vegetovascular y vegetovisceral de la patología neuropsiquiátrica (correspondientes a los 3-5 años posteriores a la radiación) cambia dependiendo de la patología cerebral orgánica y somática (>5 años después de la radiación) (Nyagu *et al*, 1996c, 2002b). Estudios de seguimiento neuropsiquiátrico y neuropsicológico confirman que los pacientes con ARS presentan daños cerebrales estructurales y funcionales de carácter progresivo — encefalopatía posterior a la radiación (síndrome cerebral orgánico). Incluso pasado un tiempo considerable a la exposición a radiación, los EEGs cuantitativos permiten distinguir entre casos de ARS confirmados y no confirmados (Nyagu *et al*, 2002b; Loganovsky, 2002).

Los patrones electroencefalográficos y la distribución topográfica de la actividad bioeléctrica cerebral, tanto espontánea como provocada, de los liquidadores sobreexpuestos; sobre todo de los trabajadores fijos de la zona de Chernobyl, son muy distintos de aquellos pertenecientes a los grupos control y a los grupos de comparación (Nyagu *et al*, 1992, 1999; Noshchenko y Loganovskii, 1994; Loganovsky, 2000). Se realizaron numerosos informes sobre los consecuentes trastornos neurofisiológicos (Danilov y Pozdeev, 1994; Zhavoronkova *et al*, 1994, 1995a,b, 1998; Vyatleva *et al*, 1997), así como sobre las anomalías neuropsicológicas (Khomskaja, 1995; Zhavoronkova *et al*, 1996, 2000) y de neuroimagen (Zhavoronkova *et al*, 1994; Kharchenko *et al*, 1995; Kholodova *et al*, 1996; Voloshina, 1997) presentes en liquidadores. Dichos informes se llevaron a cabo basándose en datos clínicos sobre daños orgánicos cerebrales (Chuprikov *et al*, 1992; Krasnov *et al*, 1993; Romodanov y Vynnyts'kyj, 1993; Napreyenko y Loganovsky, 1995, 1997, 1999, 2001a,b; Nyagu y Loganovsky, 1998; Revenok, 1998, 1999; Zozulya *et al*, 1998; Morozov y Kryzhanovskaja, 1998; Lysyanj, 1998).

Se observó que tanto los trastornos neuropsiquiátricos como las patologías somáticas de los liquidadores expuestos entre 1986 y 1987 eran de carácter progresivo; sobre todo en aquellos que trabajaron durante 35 años en la ZE de Chernobyl. Asimismo, se detectó una prevalencia de trastornos neuropsiquiátricos del 80,5% en el personal que trabajó entre 1986 y 1987 y que fue irradiado con dosis >250 mSv; mientras que la prevalencia del personal irradiado con dosis <250 mSv fue del 21,4% ($p < 0.001$) (Bebeshko *et al*, 2001; Nyagu *et al*, 2003). El personal que estuvo trabajando dentro de la ZE desde 1986 es el grupo con un riesgo más alto de sufrir trastornos neuropsiquiátricos, entre los cuales predominan los trastornos mentales orgánicos (incluyendo los sintomáticos) (F00— F09) (Loganovsky, 1999). Los que recibieron dosis de radiación tanto moderadas como altas (>0,3 Sv), incluidos los pacientes con ARS, presentaban una cantidad mucho mayor de síndromes esquizofreniformes, así como de disfunciones del sistema límbico en la zona frontotemporal izquierda (Loganovsky, 2000a; Loganovsky y Loganovskaja 2000). Una parte considerable del personal, especialmente aquellos que siguieron con su trabajo en los años 90, desarrolló una patología que presentaba



los síntomas característicos del Síndrome de Fatiga Crónica (SFC). De este modo, se estableció la hipótesis de que podía desarrollarse el SFC tras una exposición a dosis bajas o muy bajas de radiación en combinación con estrés psicológico (Loganovsky *et al*, 1999, Loganovsky, 2000b).

No obstante, es necesario que estudios colaborativos internacionales confirmen los resultados. Además, sería conveniente que se demostrase la base biológica de todas las relaciones que aquí se establecen.

Suicidios

En el Informe del EGH del Foro sobre Chernobyl de la ONU ya se señalaba el suicidio como la causa principal de muerte entre los trabajadores estonios encargados de la limpieza (Rahu *et al*, 1997). Las tasas de mortalidad por suicidio ajustadas por edad entre los limpiadores de Chernobyl eran más elevadas en comparación con las de la población general de Lituania (Kesminiene *et al*, 1997). Conviene que en los estudios sobre limpiadores de otros países se llegue a las mismas conclusiones. No obstante, se requiere que para estos estudios se utilice una metodología estandarizada a la hora de investigar las causas de los suicidios, pues cabe la posibilidad de que muchas muertes por suicidio no se clasifiquen como tales.

Resumen

Tal y como se señaló en el Informe del EGH del Foro sobre Chernobyl de la ONU, las siguientes causas dificultan la correcta interpretación de los resultados: la complicada sucesión de estresantes acontecimientos que desató el accidente, las evidentes consecuencias que trajo consigo la etiqueta oficial que se le colgó a la población afectada como «víctimas de Chernobyl», los múltiples factores de estrés que se dieron en la antigua Unión Soviética antes y después del accidente y, por último, las distintas maneras que tiene cada cultura para expresar los sentimientos de angustia.

Al mismo tiempo, no se puede ignorar la cada vez más abundante cantidad de datos sobre efectos cerebrales por radiación. En este sentido, se incluyen las siguientes:

- Enfermedades no oncológicas en supervivientes de la bomba atómica expuestos a dosis de 0,5 Sv (Shimuzu *et al*, 1999; Preston *et al*, 2003).
- Pruebas epidemiológicas sobre deterioro cognitivo relacionado con la dosis después de someterse a radioterapia en la niñez con posibles umbrales de dosis para los daños cerebrales tardíos por radiación con dosis cerebrales bajas (0,1–1,3 Gy) (Yaar *et al*, 1980, 1982; Ron *et al*, 1982; Hall *et al*, 2004).
- Trastornos cognitivos y emocionales (oms, 1996; nyagu *et al*, 1998, 2002a; kolominsky *et al*, 1999; loganovskaja y loganovsky, 1999; igumnov y drozdovitch, 2000), así como anomalías neuropsicológicas (nyagu *et al*, 1996a,b, 1998, 2002a; loganovskaja y loganovsky, 1999) en prenatales expuestos a radiación.
- Síndrome cerebral orgánico en pacientes con ars que estuvieron expuestos a radiación (nyagu *et al*, 2002b; loganovsky, 2002), así como anomalías de carácter neurofisiológico, neuropsicológico y de neuroimagen en liquidadores, según datos clínicos neuropsiquiátricos sobre daños orgánicos cerebrales en donde predominan los trastornos esquizofreniformes y las disfunciones del sistema límbico en la zona

frontotemporal izquierda causados por la exposición continua a radiación tanto a dosis moderadas como altas (>0,3 sv) (loganovsky, 2000a, 2002; loganovsky y loganovskaja, 2000).

- Esquizofrenia y trastornos relacionados (nakane y ohta, 1986; imamura et al, 1999; loganovsky y loganovskaja, 2000).
- Estrés psicológico combinado con el síndrome de fatiga crónica causado por la exposición a dosis bajas o muy bajas de radiación (loganovsky et al, 1999, loganovsky, 2000b).

Sin duda, es necesario que estudios colaborativos internacionales confirmen el diagnóstico de estos trastornos relacionados con la exposición a la radiación ionizante. Además, su base biológica debería ser explicada.

Estado actual de las pruebas

Posibles efectos en los cerebros de prenatales

Resulta complicado extrapolar los datos de Japón a la situación vivida en Chernobyl después del accidente. Así, las dosis fetales causadas por el accidente de Chernobyl fueron mucho menores; sin embargo, las dosis tiroideas fetales fueron mucho mayores debido al yodo radiactivo que emitió el reactor nuclear. Mientras que después del accidente de Chernobyl la población seguía expuesta a radionucleidos (yodo radiactivo y Cs 137, en su mayoría), la población de Japón estuvo sumamente expuesta a radiación procedente de rayos γ y de neutrones. No obstante, en Japón no hubo exposición específica de la tiroides a yodo radiactivo. Sin embargo, puesto que cada ciudad sufrió un impacto radiobiológico distinto, es difícil predecir las consecuencias radiobiológicas del accidente de Chernobyl basándose en los resultados obtenidos a partir de los estudios japoneses (Nyagu et al, 2004b).

Se han observado numerosas contradicciones tanto en los resultados obtenidos a partir de la evaluación de la salud mental de los prenatales expuestos a radiación, como en la etiología de los trastornos neuropsiquiátricos observados. Por este motivo, la Iniciativa franco-alemana por Chernobyl ha llevado a cabo una profunda investigación sobre los posibles trastornos que podría haber causado la radiación en la salud mental de los niños expuestos *in utero*. Esta investigación se ha desarrollado dentro del marco del Proyecto N°3 llamado *Health Effects on the Chernobyl Accident* ("Las repercusiones en la Salud que ocasionó el Accidente de Chernobyl"). Un grupo de 154 niños nacidos entre el 26 de abril de 1986 y el 26 de febrero de 1987, hijos de madres que fueron evacuadas de Pripyat a Kiev, y un grupo de 143 escolares de Kiev fueron evaluados mediante la Escala de Inteligencia de Wechsler para Niños (WISC) y los cuestionarios de Achenbach y Rutter A (2). Las habilidades verbales de las madres se analizaron con la Escala de Inteligencia Wechsler para adultos (WAIS) y los síntomas de depresión, ansiedad y somatización se detectaron con la Escala Autoaplicada de Depresión de Zung (SDS), el cuestionario de Trastorno de Estrés Postraumático (PTSD) y el Cuestionario General de Salud de Goldberg (GHQ-28). La reconstrucción de las dosis individuales de los niños se llevó a cabo teniendo en cuenta la exposición a la radiación tanto interna como externa. Se aplicaron las directrices especificadas en la publicación 88 de la CIPR para el cálculo de las dosis internas efectivas fetales, tanto cerebrales como tiroideas, de ambos grupos de niños. Un total de 52 niños procedentes de Pripyat (33,8%) estuvieron expuestos *in*



utero a una dosis tiroidea >1 Sv; 20 de ellos (13,2%) estuvieron expuestos *in utero* a dosis fetales >100 mSv. Los prenatales expuestos presentaban un porcentaje mucho mayor de trastornos mentales y del sistema nervioso. El CI de los niños expuestos que se obtuvo con la aplicación de la escala completa fue inferior debido a que éstos tenían un CI verbal inferior y, por lo tanto, mostraban mayores discrepancias en cuanto a la inteligencia verbal y de ejecución. En cuanto las diferencias de CI entre los prenatales irradiados superaba los 25 puntos, se planteaba la posibilidad de que existiese algún tipo de correlación entre el CI y la dosis fetal. Tanto las madres expuestas a radiación como las madres no expuestas no mostraban diferencia alguna en cuanto a habilidades verbales; sin embargo, las primeras habían vivido muchas más situaciones estresantes y sufrido depresiones más graves, así como PTSD, trastornos somatoformes, ansiedad, insomnio y disfunciones sociales (Nyagu et al, 2004a,b,c).

Se han observado trastornos neurológicos por radiación en embriones (discordancias emocionales como consecuencia del deterioro del CI verbal) a partir de las 8 semanas de gestación, con una dosis fetal >20 mSv y una dosis tiroidea *in utero* >300 mSv. Se pueden considerar indicadores neurofisiológicos de la exposición prenatal los siguientes factores: la disminución de la actividad espectral θ sobre todo en la zona frontotemporal izquierda, el aumento de la actividad β y su lateralización hacia el hemisferio dominante; así como los trastornos de asimetría interhemisférica de los potenciales evocados visuales (PEV) y del potencial V. Las últimas semanas de gestación (entre la semana 16 y la 25) suponen el momento más crítico en cuanto al proceso de formación del cerebro. Con el accidente, el reactor nuclear expulsó yodo radiactivo y eso afectó en mayor medida a la formación del cerebro; más que la exposición externa uniforme (Loganovskaja y Nechayev 2004; Loganovskaja, 2004, 2005). Los niños mencionados anteriormente eran más propensos a padecer trastornos mentales y de personalidad debido a lesiones cerebrales o disfunciones — F06, F07; trastornos del desarrollo psicológico — F80-F89; estados aproximales (síndromes de cefalea — G44, migraña — G43, síndromes epileptiformes — G40); disfunción autónoma somatomorfe — F45.3; trastornos emocionales y de comportamiento en la niñez — F90-F99 (Napreyenko y Loganovskaja, 2004; Loganovskaja, 2005).

El Instituto Nacional de Salud (NIH) de los Estados Unidos ha financiado un estudio de seguimiento, el cual todavía se encuentra en proceso, cuyo objetivo es el de evaluar la salud física y mental de una cohorte de adolescentes de 18 y 19 años. Estos chicos y chicas solo tenían 15 meses de edad (incluidos los meses de gestación) cuando tuvo lugar el accidente y se les analizó por primera vez a los 11 años de edad. El estudio trata de averiguar si las primeras consideraciones que éstos tuvieron sobre el suceso se convirtieron en factores de riesgo para su futura salud mental. A su vez, observa las diferencias que se dan entre los dos grupos siguientes: por un lado, los adolescentes de 18 años expuestos a radiación y sus madres; y, por otro, los niños pertenecientes al grupo control de Kiev y un nuevo grupo control de población procedente de áreas urbanas no afectadas de Ucrania.

Estudios de población

A pesar de lo que hubiesen podido indicar los supervivientes de la bomba atómica, se concluyó que, en la actualidad, los datos epidemiológicos no constituyen pruebas concluyentes de que existan riesgos de padecer enfermedades circulatorias con dosis de radiación ionizante entre 0-4 Sv. Además, es necesario contar con más pruebas para poder clasificar todos los posibles riesgos (McGale y Darby, 2005).

En Ucrania, se desarrolló un estudio transversal con una cohorte representativa de liquidadores del accidente de Chernobyl (el subproyecto 3.8.1 de la Iniciativa francoalemana por Chernobyl llamado "Base de datos sobre los trastornos psicológicos en los liquidadores ucranianos del accidente de Chernobyl"). El instrumento que se empleó para dicho estudio fue la Entrevista Diagnóstica Internacional Compuesta (*Composite International Diagnostic Interview*, CIDI), una entrevista psiquiátrica estandarizada y estructurada. Ya se han publicado los primeros resultados del estudio (Romanenko et al, 2004); revelan lo siguiente: se ha multiplicado por dos la prevalencia de trastornos mentales (36%) en liquidadores en comparación con la población general ucraniana (20,5%); a su vez, ha aumentado de manera considerable la prevalencia de depresión (24,5%) en liquidadores en comparación con la población general ucraniana (9,1%) (Demyttenaere et al, 2004). Todos estos datos permanecen abiertos a nuevas investigaciones. No obstante, este estudio presenta una limitación: se centra exclusivamente en la evaluación de trastornos psicológicos y excluye aquellos trastornos mentales graves.

En comparación con los grupos control, los evacuados presentaron muchos más problemas de salud y, en general, consideraban que su estado de salud era peor. La relación entre el estrés y la enfermedad era el doble de fuerte en los evacuados (odds ratio = 6,95) que en los grupos de control de Kiev (odds ratio = 3,34); sin embargo, en el estudio nacional, esta relación resultó ser la más débil (odds ratio = 1,64). Los resultados confirman la persistencia y la falta de especificación de los trastornos médicos de carácter subjetivo que tuvo el accidente de Chernobyl; además, plantean la posibilidad de que los sucesos traumáticos ocasionan graves secuelas en la salud de las personas pertenecientes a grupos vulnerables o desfavorecidos (Adams et al, 2002; Bromet et al, 2002).

En los afectados de 1986-1987 se observan patologías somáticas y trastornos neuropsiquiátricos de carácter progresivo; especialmente, en aquellos que trabajaron de 3 a 5 años en la ZE de Chernobyl. Los que trabajaron en esa zona entre 1986 y 1987 presentaban una tasa de prevalencia de trastornos neuropsiquiátricos del 80,5% con dosis >250 mSv; mientras que la tasa de prevalencia de sus compañeros era del 21,4% ($p < 0,001$) con dosis <250 mSv (Nyagu et al, 2003).

Se ha descubierto que desde el año 1990 ha aumentado la tasa de incidencia de casos de esquizofrenia entre el personal mencionado anteriormente en comparación con la población general: en total, 5,4 de estos trabajadores por cada 10.000 habitantes y 1,1 personas pertenecientes a la población general por cada 10.000 habitantes. El riesgo relativo fue de 2,4 entre 1986 y 1997 y de 3,4 entre 1990 y 1997. Se ha llegado a dicha conclusión al establecer una relación entre las personas que trabajaban y vivían en la ZE de Chernobyl y un aumento en la tasa de incidencia de casos de esquizofrenia (entre 2,4 y 3,4) en comparación con la población general.

A diferencia de la población general, en el personal de la ZE de Chernobyl con cuadros psicóticos se observó un noTabla aumento en el porcentaje de casos de esquizofrenia. Además, se detectó una clase de esquizofrenia poco frecuente en el personal que había trabajado en la zona entre los años 1986 y 1987. Los que recibieron dosis altas o moderadas de radiación (>0,3 Sv) presentaban muchos más trastornos esquizofreniformes, así como disfunciones del sistema límbico en la zona frontotemporal izquierda. Se ha planteado la posibilidad de que la radiación ionizante pueda ser un disparador ambiental capaz de aumentar el riesgo de padecer esquizofrenia o incluso de causar trastornos de tipo esquizofrénico (Loganovsky y Loganovskaja, 2000). Tanto para la neurociencia como para la medicina clínica



resulta de vital importancia la unión de los esfuerzos internacionales con el fin de analizar y organizar todos los estudios que se hayan llevado a cabo en este ámbito (Loganovsky et al, 2005). Se han evaluado los riesgos que presentan los liquidadores de padecer enfermedades no oncológicas por exposición a radiación (Biriukov et al, 2001; Buzunov et al, 2001, 2003). De hecho, por primera vez, se ha calculado estadísticamente el riesgo de los liquidadores de padecer algunas de estas enfermedades: trastornos mentales con un exceso relativo de riesgo (ERR) de $1/\text{Gy}=0,4$ (0,17; 0,64); trastornos neurológicos y sensoriales con un ERR de $1/\text{Gy}=0,35$ (0,19; 0,52) y trastornos endocrinos con un ERR de $1/\text{Gy}=0,58$ (0,3; 0,87). En cuanto a trastornos mentales, los riesgos más altos por radiación se detectaron en los trastornos neuróticos con un ERR de 0,82 (0,32; 1,32) (Biriukov et al, 2001). El ERR más elevado por cada Gy se detectó en las enfermedades cerebrovasculares con un ERR de $1/\text{Gy}=1,17$ con un intervalo de confianza del 95% (0,45; 1,88) (Ivanov et al, 2000). Recientemente, se calculó que la dosis media externa necesaria para padecer enfermedades cerebrovasculares era >150 mGy (con un ERR de 2,17 por cada 100 mGy/día, con un IC del 95% = 0,64; 3,69) (Ivanov et al, 2005).

Según datos extraídos del Registro Oficial ucraniano y del Registro Médico y Epidemiológico (Centro Científico de Medicina Radiológica, Kiev), el número de casos con trastornos cerebrovasculares ha aumentado entre liquidadores y evacuados. Por un lado, la exposición a bajas dosis de radiación ionizante supone un gran factor de riesgo para sufrir un envejecimiento acelerado; mientras que la exposición a dosis ≥ 250 mGy supone un gran factor de riesgo para padecer trastornos neuropsiquiátricos y vasculares. Por otro lado, cuando la tiroides se expone a dosis ≥ 300 mGy existe un gran riesgo de padecer trastornos vasculares y cerebrovasculares; mientras que cuando la dosis es ≥ 2 Gy existe un gran riesgo de padecer trastornos mentales, vasculares, cerebrovasculares y del sistema nervioso periférico. Existe una relación dosis-respuesta en cuanto a trastornos cerebrovasculares en liquidadores. El riesgo relativo de padecer enfermedades cerebrovasculares es mayor en los grupos expuestos a 0,5–0,99 Gy y 1 Gy que en el grupo expuesto a $<0,1$ Gy. Los factores de riesgo de padecer una patología neuropsiquiátrica (cerebrovascular) sin exposición a radiación son los siguientes: riesgos industriales, estrés, tabaquismo, genética y estilos de vida (Buzunov et al, 2001, 2003).

No obstante, en cuanto a los estudios que se llevaron a cabo sobre de la salud mental de los liquidadores, cabe decir que se observan muchas limitaciones. Por ejemplo, se centran sobre todo en los datos sobre trastornos mentales que registró el Sistema Nacional de Salud y no en los datos obtenidos como resultado de estudios psiquiátricos bien diseñados mediante procedimientos estandarizados de diagnóstico. Sin embargo, conviene tener en cuenta los cambios que se han producido en el sistema de psiquiatría de los países postsoviéticos y que han traído consigo las siguientes consecuencias: una enorme subestimación de los trastornos mentales; una errónea clasificación de muchos de ellos como enfermedades físicas; y/o el diagnóstico erróneo de gran parte de los mismos (“neurótico” en vez “sicótico” u “orgánico”, etc.).

Por ejemplo, según datos oficiales del Ministerio de Salud Pública de Ucrania, la prevalencia de todos los trastornos mentales registrados en la población ucraniana fue de 2,27% en 1990; 2,27% en 1995 y 2,43% en 2000. Con la *World Mental Health (WMH) Survey Initiative* (Encuesta Mundial de Salud Mental) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se evaluaron los trastornos mentales usando la versión WMH del *Composite International Diagnostic Interview* (WMH-CIDI), una entrevista psiquiátrica estandarizada y estructurada. Según los resultados que se obtuvieron con esta encuesta, en Ucrania, la prevalencia de los

trastornos WMH-CIDI que figuran en el DSM-IV (la 4^o edición del Manual Diagnóstico y Estadístico de los trastornos mentales) fue de 20,5% (un IC del 95% —17,7; 23,3%) el año anterior al accidente de Chernobyl (Demyttenaere *et al*, 2004).

Por este motivo, se puede concluir que el sistema de psiquiatría de la salud pública ucraniana subestima los trastornos mentales puesto que el porcentaje que registra de los mismos es hasta diez veces menor. Por otro lado, cabe mencionar que en los trastornos WMHCIDI/DSM-IV sólo se incluían los llamados trastornos psicológicos (ansiedad, depresión, somatización, abuso de alcohol, etc) y se excluían los trastornos mentales graves (psicosis, trastornos mentales orgánicos y retraso mental).

Trastornos neuropsiquiátricos

Entre los años 1989-1991 y 1996-2001 se desarrolló un estudio prospectivo del EEG en pacientes con ARS y en liquidadores de 1986. Los grupos control se componían de voluntarios sanos, veteranos de la guerra de Afganistán con trastornos de estrés postraumático, veteranos con lesiones cerebrales traumáticas leves y pacientes con encefalopatía hepática. Entre los años 1989-1991, se dieron cambios en los EEGs, pues presentaban una actividad paroxística que se desplazaba hacia la región frontotemporal izquierda (activación continua cortical y límbica). Sin embargo, entre los años 1996-2001, estos cambios se transformaron en patrones electroencefalográficos de bajo voltaje con exceso de actividad rápida (beta) y lenta (delta) unida a una depresión de la actividad alpha y theta (daño orgánico cerebral con inhibición de los sistemas cortical y límbico) (Loganovsky y Yuryev, 2001).

Asimismo, entre los años 1996-2001, se llevaron a cabo análisis transversales del EEG cuantitativo (qEEG) en supervivientes del accidente de Chernobyl con diagnósticos confirmados de ARS y que habían sido irradiados con dosis de 1-5 Gy. Dichos análisis revelaron los indicadores neurofisiológicos de la radiación ionizante. Los indicadores neuropsicológicos fueron los siguientes: reducción de la frecuencia dominante en la zona frontotemporal izquierda, lateralización absoluta de la actividad delta hacia el hemisferio izquierdo (el hemisferio dominante), aumento relativo de la actividad delta en las zonas frontotemporales, disminución absoluta de la actividad theta en la región temporal izquierda, disminución absoluta y relativa de la actividad alpha. Es probable que estos indicadores reflejen una disfunción cortical y límbica con lateralización hacia el hemisferio izquierdo (el hemisferio dominante) que ocasione lesiones en las regiones corticales, frontotemporales e hipocampales. Se propuso la utilización del qEEG como un nuevo método de dosimetría biológica capaz de distinguir los daños cerebrales ocasionados por radiación de aquellas debidas a otras causas. Todavía se discute acerca de la alta sensibilidad a la radiación del neocórtex cerebral y la todavía más alta sensibilidad del hemisferio dominante (Loganovsky y Yuryev, 2004).

Los cambios en la asimetría cerebral y en la interacción interhemisférica pueden ser resultado de una disfunción en las estructuras cerebrales límbicas-reticulares de la región subcortical o en las estructuras cerebrales mediobasales; sin embargo, pueden deberse también a algún tipo de lesión en la sustancia blanca cerebral o incluso en el cuerpo calloso (Zhavoronkova *et al*, 2000). Los resultados de los EEG señalan trastornos subcorticales a distintos niveles (regiones diencefálicas o troncales). Además, se observan también fallos funcionales del hemisferio derecho o izquierdo de aparición tardía tras la exposición a radiación (Zhavoronkova *et al*, 2003).



Entre los años 1995-1998 se realizó un estudio longitudinal sobre los trastornos cognitivos que había ocasionado el accidente de Chernobyl. Los grupos control se componían de ucranianos sanos que residían a varios cientos de kilómetros de Chernobyl; los grupos expuestos estaban formados por liquidadores y trabajadores forestales y agrícolas que vivían a unos 150 km. de Chernobyl. La precisión y la eficiencia de la capacidad cognitiva se evaluaron con ANAMUKR, un subconjunto de ANAM (una batería de pruebas para la evaluación neuropsicométrica automatizada). Los análisis de varianza seguidos de las comparaciones pareadas oportunas indicaron que, durante esos 4 años, los niveles medios de la capacidad de los grupos expuestos (sobre todo de los liquidadores) eran muy inferiores a los niveles de los grupos control. Con el tiempo, se han elaborado más análisis sobre la capacidad cognitiva de los grupos expuestos durante ese periodo; todos señalaron un deterioro tanto en la precisión como en la eficiencia. Estos resultados ponen de manifiesto un déficit en las funciones cerebrales como consecuencia de la exposición aguda y crónica a radiación ionizante (Gamache *et al*, 2005).

El modelo diátesis-estrés para desarrollar esquizofrenia, en el cual los factores ambientales estresantes pueden provocar una predisposición genética neurobiológica a padecer la enfermedad, constituye un ejemplo de las consecuencias que puede producir la exposición a radiación ionizante. Existen estudios análogos sobre el aumento en el número de casos con trastornos del espectro esquizofrénico como consecuencia de la exposición a radiación ionizante proveniente de distintas fuentes, ya sean bombas atómicas, pruebas de armas nucleares, el accidente de Chernobyl, la contaminación medioambiental por residuos radioactivos, la radioterapia o las zonas con un elevado fondo radiactivo natural (Loganovsky *et al.*, 2004a, 2005a). Con los resultados que se obtuvieron a partir de estudios experimentales neurobiológicos se corroboró que la esquizofrenia es una enfermedad neurodegenerativa (Korr *et al*, 2001; Gelowitz *et al*, 2002; Schindler *et al*, 2002). La exposición a radiación ionizante ocasiona daños cerebrales con disfunciones en los sistemas cortical y límbico, así como un déficit en los procesos informativos moleculares capaz de provocar trastornos de tipo esquizofrénico e incluso esquizofrenia en personas con predisposición a la enfermedad (Loganovsky *et al.*, 2004a, 2005a).

La cantidad de síntomas psicopatológicos negativos es proporcional a la dosis de radiación recibida (con dosis $>0,3$ Sv); sin embargo, los síntomas de trastorno por estrés postraumático (PTSD) presentan una relación inversa a la dosis. Las depresiones son más graves en los pacientes que padecen enfermedades agudas por radiación (ARS) más graves. Las personas que recibieron dosis $>0,3$ Sv y, sobre todos, las que padecieron ARS (>1 Sv), presentan una mayor actividad cerebral en la región frontotemporal del hemisferio dominante (el hemisferio izquierdo), así como una desaceleración en el EEG, una disminución progresiva de la potencia espectral absoluta (un EEG “plano” de bajo voltaje) con un aumento de las actividades δ y β y una disminución de las actividades θ y α . El síndrome cerebral orgánico endomorfo de la apatía y de la abulia predomina en liquidadores expuestos a dosis $\geq 0,3-0,5$ Sv mientras que la cerebrastenia u otros síndromes cerebrales orgánicos como las variantes de la cerebrastenia o la distimia predominan en liquidadores expuestos a dosis $<0,3$ Sv. Únicamente puede establecerse una relación entre los trastornos neurofisiológicos y la dosis de radiación cuando ésta es $>0,3$ Sv (umbral de dosis para dichos trastornos). Ahora bien, esta relación es mucho más fuerte cuando se trata de personas que trabajaron a largo plazo (durante más de 5 años) en la ZE de Chernobyl (Loganovsky, 2000a, 2002).

Se diagnosticó síndrome cerebral orgánico en el 62% de los pacientes con ARS confirmado que estuvo expuesto a radiación. El trastorno orgánico de la personalidad de tipo apático (F07.0) es común entre las personas que padecieron ARS. Este trastorno presenta un curso clínico progresivo y depende de la gravedad de la ARS o de la intensidad de la dosis (Loganovsky, 2002; Loganovsky *et al.*, 2005b). Los daños orgánicos cerebrales posteriores a la ARS se han comprobado mediante métodos neuropsiquiátricos, neurofisiológicos, neuropsicológicos y de neuroimagen (Loganovsky *et al.*, 2003; 2005b).

Se dan relaciones neuropsicológicas de tipo dosis-respuesta en humanos con un rango de dosis de 0,5-5 Sv — disfunciones en las interferencias de la memoria ($r=0,6$), en las asociaciones ($r=0,68$) y en la coordinación sensomotriz ($r=0,8$) (Antipchuk, 2004, 2005). Las afectaciones cerebrales que son muy posteriores a la radiación se presentan en forma de patologías en la corteza frontal y en la temporal del hemisferio dominante y en las estructuras intermedias con conexiones entre la zona cortical y subcortical. Estas patologías provocarán un mayor deterioro de la actividad mental cuando se trate de trastornos estructurales, orgánicos y físicos (Antipchuk, 2001, 2003, 2005). Las funciones acústicas, perceptivas y de la memoria, así como algunas funciones del pensamiento eran más vulnerables en liquidadores expuestos a dosis $<0,35$ Sv (Turuspekova, 2002). Se detectó una relación dosis-respuesta con respecto al deterioro de la capacidad de trabajo mental en los pacientes con ARS (>1 Sv) (Zdorenko y Loganovsky, 2002). Que el CI verbal y total sea inferior al de los grupos control o que el CI disminuya tras la exposición a radiación son algunos de los síntomas del síndrome cerebral orgánico (con una mayor actividad en hemisferio izquierdo dominante) posterior a la ARS (Loganovsky y Zdorenko, 2004).

Por lo general, se cree que el SNC es muy resistente a la radiación; sin embargo, cada vez son más las pruebas que ponen de manifiesto la enorme sensibilidad del cerebro a la radiación. Existe una relación dosis-respuesta entre la dosis y las características morfométricas y de neuroimagen de los daños orgánicos cerebrales; comienza a darse con 0,3 Sv y aumenta en proporción a la dosis. Mediante una resonancia magnética (IRM) cerebral, se detecta una relación del tipo dosis-respuesta en la neuroimagen en los humanos, considerándose ésta como una medida de la radiación de la neuroimagen. Un valor de 1–5 Sv indica un índice de contraste de la cápsula interna izquierda de $r=-0,86$ y un índice de contraste de la materia blanca del lóbulo parietal izquierdo de $r=-0,41$; y un valor de 0,3–5 Sv indica un índice de contraste de la cápsula interna izquierda de $r=-0,3$. Estos datos revelan los daños orgánicos cerebrales por radiación que sufrieron las víctimas del accidente de Chernobyl que estuvieron sobre-expuestas, y corroboran los riesgos que supone la radiación para el cerebro, así como la gran sensibilidad del cerebro a la radiación (Bomko, 2004a, 2005). La atrofia cortical de los hemisferios cerebrales y las lesiones en las vías neuronales del hemisferio dominante son las características morfométricas de neuroimagen de los daños orgánicos cerebrales causadas por la radiación ionizante del accidente de Chernobyl (Bomko, 2004b, 2005).

Los daños cerebrales producidos por la exposición temprana a radiación como consecuencia del accidente de Chernobyl se caracterizan por la presencia de daños orgánicos de origen atrófico en la materia gris y blanca con una afectación predominante de los lóbulos frontales y temporales; en particular, del hemisferio izquierdo (el hemisferio dominante) (Loganovsky *et al.*, 2004b). Las características estructurales y funcionales de las lesiones cerebrales por radiación de los limpiadores tras el accidente de Chernobyl son las siguientes: patología de la corteza cerebral, de las estructuras subcorticales, de las vías neuronales y de los sistemas cortical y límbico del hemisferio cerebral izquierdo (el hemisferio dominante). En el caso de que se estableciesen asociaciones entre los parámetros neuropsicológicos y de



neuroimagen y la dosis, sería posible reconstruir la dosis mediante la realización de un EEG computarizado y una IRM cerebral mucho después de la exposición a radiación ionizante (Loganovsky y Bomko, 2004).

Seguramente, el envejecimiento acelerado por radiación es un ejemplo de senescencia y neurodegeneración en humanos. Estudios prospectivos epidemiológicos realizados en supervivientes de la bomba atómica revelaron que la radiación ionizante había aumentado considerablemente la mortalidad por causas distintas al cáncer. No obstante, los resultados no sostienen la hipótesis de que los supervivientes expuestos a bajas dosis vivan más en comparación con los no expuestos. A día de hoy, todavía se desconoce si la exposición a bajas dosis constituye un factor de riesgo para el envejecimiento acelerado y la neurodegeneración, así como también se desconocen los mecanismos biológicos implicados en ambos. Partiendo del análisis de un gran número de datos científicos, se pueden establecer las siguientes hipótesis: 1) la exposición a bajas dosis de radiación ionizante constituye un factor de riesgo para padecer procesos neurodegenerativos y envejecimiento acelerado; 2) los procesos neurodegenerativos y de envejecimiento posteriores a la radiación ionizante pueden aumentar debido a la influencia sinérgica de factores heterogéneos y patogénicos, como por ejemplo los cambios inmunológicos, del estrés oxidativo, moleculares y genéticos (Bazyka et al, 2004).

Se eligieron al azar a 100 limpiadores afectados por el accidente de Chernobyl y el 26 % presentaba criterios diagnósticos del Síndrome de Fatiga Crónica (SFC). Puesto que las dosis absorbidas por estos limpiadores fue $<0,5\text{Sv}$, no se produjeron efectos significativos deterministas por radiación. La base psicofisiológica de la fatiga de los liquidadores es una disfunción de las estructuras corticales y límbicas del hemisferio izquierdo (el hemisferio dominante). El SFC es una de las consecuencias más graves que tuvo el desastre ecológico por radiación como resultado de una interacción de diferentes factores medioambientales de riesgo (Loganovsky, 2000b, 2003). X° la prevalencia de SFC ($p<0,001$) disminuyó de manera considerable al pasar de 65,5% en 1990-1995 a 10,5% en 1996-2001, la prevalencia del Síndrome Metabólico (SM) ($p<0,001$) aumentó no Tablamente de 15% a 48,2%. El SFC y el SM son considerados como los estados iniciales del desarrollo de otras patologías neuropsiquiátricas y físicas; además, cabe mencionar que el SFC puede derivar en SM. Las lesiones por radiación producidas en el ADN mitocondrial de los tejidos posmitóticos con una actividad proliferativa baja puede ser una de las consecuencias de la exposición a dosis bajas; dichas lesiones pueden producir un aumento en la tasa de mortalidad y de morbilidad por causas distintas al cáncer entre los supervivientes del accidente de Chernobyl (Kovalenko and Loganovsky 2001). Se puede considerar el SFC como una predisposición producida por factores ambientales y el precursor de futuros trastornos neurodegenerativos, neuropsiquiátricos y de déficit cognitivo. El marco conceptual generalizado exclusivo para los datos existentes sobre el accidente de Chernobyl incluye bioindicadores clínicos y moleculares; así como diferentes tipos de exposición a factores ambientales de estrés (irradiación exógena y endógena tanto aguda como crónica -radionucleidos-, agentes químicos, virus, estrés psicológico grave, etc). Este marco posibilita la investigación, conceptualización e ilustración de los aspectos fundamentales de la etiología y la fisiopatología del SFC así como sus perspectivas de neurodegeneración y neuropsiquiatría (Volovik et al, 2005).

Intervenciones

El Centro Científico de Medicina Radiológica de Kiev ha centrado toda su atención en la mejora de la salud mental de la población afectada. Las conclusiones a las que se llegó tras analizar las consecuencias del accidente de Chernobyl son las siguientes:

- 1) La atención neuropsiquiátrica posterior a la ARS y la sobre-exposición a radiación ionizante deberían ser temas prioritarios en el ámbito de la exposición accidental a radiación.
- 2) Los trastornos neuropsiquiátricos y los traumas cerebrales deberían tratarse lo antes posible.
- 3) Deberían establecerse unas limitaciones en cuanto a los años laborales del personal de la ZE de Chernobyl, como también de otras industrias similares con el fin de garantizar su buena salud mental. Se recomienda un límite de 5 años laborales; y, una vez finalizado este periodo, el personal debería abandonar su puesto de trabajo o bien comenzar rehabilitación.
- 4) La protección efectiva de la salud mental sólo es posible si se tratan de manera simultánea los ámbitos neuropsiquiátricos, personales, somáticos y sociales de los supervivientes. En este sentido, es prioritario el establecimiento de un Servicio Nacional para la Salud Mental con el fin de proteger a los supervivientes.
- 5) Es necesario establecer un sistema de medidas sociales.
- 6) Son necesarias las intervenciones no farmacológicas.
- 7) Las principales patologías comórbidas deberían seguir un tratamiento farmacológico.
- 8) Los afectados deberían seguir un tratamiento de mantenimiento a largo plazo.



Conclusiones

- 1) Veinte años después del accidente de Chernobyl, los trastornos mentales constituyen unos de los mayores problemas sociales y de salud para los supervivientes del accidente.
- 2) La atención a la salud mental de las víctimas debería constituir una preocupación de carácter público debido a los accidentes similares que pudiesen producirse en un futuro.
- 3) Entre los efectos que provocó el accidente de Chernobyl sobre la salud mental de los liquidadores se encuentran los siguientes:
 - Trastornos psicológicos
 - Daños orgánicos cerebrales
 - Suicidios
 - Síndrome de fatiga crónica
 - Trastornos del espectro esquizofrénico
 - Procesos de envejecimiento acelerado y neurodegeneración
- 4) Existe una gran laguna en los estudios epidemiológicos sobre la salud mental de la población expuesta, como también en los conocimientos sobre los mecanismos biológicos ante los efectos de las dosis bajas en el cerebro.
- 5) Existen deficiencias en la atención a la salud mental de los supervivientes, así como en la rehabilitación psicológica de los mismos.
- 6) Atendiendo a los conocimientos que se tienen en la actualidad, las posibles afectaciones de la radiación en el cerebro podrían resumirse de la siguiente manera:
 - Posibles afectaciones de la radiación en el cerebro con una exposición a dosis $>0,15-0,5$ Sv.
 - Deterioro cognitivo relacionado con la dosis después de someterse a radioterapia en la niñez con posibles umbrales de dosis para daños cerebrales tardíos por radiación con dosis bajas en el cerebro ($0,1-1,3$ Gy).
 - Anomalías cognitivas y neurofisiológicas relacionadas con la dosis en prenatales expuestos.
 - Síndrome cerebral orgánico en pacientes con ARS que estuvieron expuestos a radiación y anomalías neuropsiquiátricas, neurofisiológicas, neuropsicológicas y de neuroimagen relacionadas con la dosis tras una exposición $>0,3$ Sv.
- 7) Los trastornos en el SNC que pudieran ser consecuencia de la exposición a radiación ionizante son los siguientes:
 - Trastornos del espectro esquizofrénico
 - Síndrome de fatiga crónica
 - Procesos de envejecimiento acelerado y de neurodegeneración

Recomendaciones

- 1) Deberían ser prioritarios los estudios epidemiológicos y neuropsiquiátricos bien diseñados en los supervivientes del accidente de Chernobyl. Tanto para la medicina clínica como para la neurociencia, resulta muy importante la integración de los esfuerzos internacionales para tratar y poner en marcha estudios colaborativos sobre trastornos neuropsiquiátricos, incluidas los daños orgánicos cerebrales, el SFC, los trastornos del espectro esquizofrénico, los suicidios y los parasuicidios.
- 2) Emplear los datos obtenidos con el accidente de Chernobyl para desarrollar un modelo que pronostique los niveles de seguridad necesarios en caso de que se den factores ambientales de estrés extremo asociados a la exposición a radiación.
- 3) Se debería realizar un estudio de seguimiento neuropsiquiátrico de por vida en pacientes con ARS. La mayor prioridad la tienen los estudios *in vivo* morfofuncionales (fIRM, qEEG, EP) y neuroquímicos (SPET).
- 4) El estudio sobre las afectaciones cerebrales que ocasiona la exposición prenatal debería proseguirse de la siguiente manera: aumentando el tamaño de la cohorte; identificando a otros niños irradiados *in utero* y a niños expuestos entre los 0-1 años; formando cohortes de niños ucranianos procedentes de zonas limpias de radiactividad atendiendo a criterios de edad, género y zona de residencia (rural/ urbana); revisando y perfeccionando los modelos dosimétricos disponibles en la actualidad; evaluando y comprobando los trastornos neuropsiquiátricos; y, por último, llevando a cabo un análisis de riesgos sobre cómo afecta el yodo radiactivo al desarrollo del cerebro durante el periodo prenatal y el primer año de vida.
- 5) En lo que respecta al estudio del cerebro y a los riesgos de la radiación, resulta de vital importancia el desarrollo de otros estudios neurofisiológicos, neuroquímicos, neuroinmunológicos, de neurocomportamiento y de neuroimagen, tanto clínicos como experimentales.
- 6) Debería ser prioritaria la atención neuropsiquiátrica a personas que hayan padecido ARS o que hayan estado sobre-expuestas a radiación ionizante; además, deberían recibir esta atención lo antes posible para que la enfermedad no ocasione traumas cerebrales.
- 7) El límite máximo de años laborales en la ZE de Chernobyl, como también en otras industrias similares, es de 5 años.
- 8) Son necesarios los esfuerzos internacionales para mejorar la atención a la salud mental de los supervivientes del accidente de Chernobyl, así como llevar a cabo su rehabilitación psicológica.



Referencias

- Adams RE, Bromet EJ, Panina N, Golovakha E, Goldgaber D, Gluzman S (2002) Stress and well-being in mothers of young children 11 years after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Psychol Med.* 32(1):143–156.
- Alexandrovskaja MM (1959) Effects of different doses of ionizing radiation on the brain morphology in animals at total irradiation. *Medical Radiology*, 4 (8): 79–81 [en ruso].
- Allen PT, Rumyantseva G (1995). The contribution of social and psychological factors to relative radiation ingestion dose in two Russian towns affected by the Chernobyl NPP accident. *Society for Risk Analysis (Europe)*, p 1-9
- Anderson NE (2003) Late complications in childhood central nervous system tumour survivors. *Curr Opin Neurol*, 16(6): 677–683.
- Antipchuk YeYu (2001) Disorders of the highest cortical functions in clean-up workers (1986) of the Chernobyl accident with encephalopathy. En: *Problems of Radiation Medicine*, Research Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences of Ukraine. Kiev, Vol. 8, pp 83–89 [en ruso].
- Antipchuk KYu (2003) Memory disorders in persons who had acute radiation sickness as a result of the Chernobyl accident in remote period. *Ukrainian Radiological Journal*, 11: 68–72 [en ucraniano].
- Antipchuk KYu (2004) Neuropsychologic method in diagnostic of radiation brain disorders. *Ukrainian Medical Journal*, 3(41): 121–128 [en ucraniano].
- Antipchuk KYu (2005) Clinical-neuropsychological characteristic of organic mental disorders in remote period of exposure to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. The dissertation for the academic degree of a Candidate of Medical Sciences in radiobiology. Research Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences of Ukraine. Kiev.
- Bar Joseph N, Reisfeld D, Tirosh E, Silman Z, Rennert G. (2004) Neurobehavioral and cognitive performance in children exposed to low-dose radiation in the Chernobyl accident: The Israeli Chernobyl Health Effects Study. *Am J Epidemiol*, 160, 453-459
- Bazyka DA, Volovik SV, Manton KG, Loganovsky KN, Kovalenko AN (2004) Ionizing radiation accelerating aging and neurodegeneration. *International Journal of Psychophysiology*, 54 (1–2): 118–119.
- Bazyltchik S, Drozd VM, Reiners Chr, Gavrilin Yu (2001) Intellectual development of children exposed to radioactive iodine after the Chernobyl accident in utero and at the age under 1.5 years. En: Abstracts of the 3rd Int. Confer. «Health Effects of the Chernobyl Accident: Results of 15-year Follow up Studies», Kiev, junio 4–8, 2001. *International Journal of Radiation Medicine*, Special Issue 3 (1–2):15.
- Bebeshko V, Bazyka D, Nyagu A, Loganovsky K, Khomaziuk I, Lyashenko L, Klymenko V, Chumak A, Los I, Chumak V, Gaevaja L (2001) Radiation protection and health effects of Chernobyl nuclear power plant staff during the decommissioning. En: Abstracts of the 2nd International Conference «The Effects of Low and Very Low Doses of Ionizing Radiation on Human Health», 27–29 junio, 2001, Dublin. World Council of Nuclear Workers, p. P6-6.
- Biryukov A, Gorsky A, Ivanov S, Ivanov V, Maksoutov M, Meskikh N, Pitkevitch V, Rastopchin E, Souchkevitch G, Tsyb A (2001) Ed. by Souchkevitch GN, Repacholi MN: *Low Doses of Ionizing Radiation: Health Effects and Assessment of Radiation Risks for Emergency Workers of the Chernobyl Accident*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 242 p.
- Bomko MO (2004a): Morphometric neurovisual characteristic of organic brain damage in remote period of exposure to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. *Ukrainian Medical Journal*, 2 (40): 96–101 [en ucraniano].
- Bomko MA (2004b) Morphometric neurovisual characteristic of organic brain damage in clean-up workers of the consequences of the Chernobyl accident in remote period of exposure to

- ionizing radiation. *International Journal of Psychophysiology*, 54 (1–2): 119.
- Bomko MO (2005) *Structural-functional characteristic of organic mental disorders in clean-up workers of the consequences of the Chernobyl accident in remote period of exposure to ionizing radiation*. The dissertation for the academic degree of a Candidate of Medical Sciences in radiobiology. Research Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences of Ukraine. Kiev.
- Bromet EJ, Gluzman S, Schwartz JE, Goldgaber D. (2002) Somatic symptoms in women 11 years after the Chernobyl accident. *Environ Health Perspect*, 110 (Suppl. 4), 625–629
- Bromet EJ, Goldgaber D, Carlson G, Panina N, Golovakha E, Gluzman SF, Gilbert T, Gluzman D, Lyubsky S, Schwartz JE. (2000) Children's well-being 11 years after the Chernobyl catastrophe. *Arch Gen Psychiatry*, 57(6): 563–571
- Buzunov VA, Strapko NP, Pirogova YeA, Krasnikova LI, Kartushin GI, Voychulene YuS, Domashevskaya TYe (2001) Epidemiology of non-cancer diseases among Chernobyl accident recovery operation workers. *International Journal of Radiation Medicine*, 3 (3–4): 9–25.
- Buzunov VA, supervisor (2003) *Pattern and Risks for Non-Cancer Chronic Diseases in Chernobyl Accident Survivors on the Base of Cohort Studies, Development of Models for Assessment and Forecasting taking into account Radiation and Non-Radiation Factors*. Final Report, Research Project 0100U003181, Kiev: Scientific Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences [en ucraniano].
- Chuprikov AP, Pasechnik LI, Kryzhanovskaja LA, Kazakova SYe (1992) *Mental disorders at radiation brain damage*. Kiev Research Institute for General and Forensic Psychiatry [en ruso]
- CIPR, Publicación 49 (1986) Developmental effects of irradiation on the brain of the embryo and fetus. A report of a Task Group of Committee I of the International Commission on Radiological Protection, 1986. In M.C. Thorne (Ed.). *Annals of the ICRP*, 16 (4). Oxford: Pergamon Press.
- CIPR, Publicación 60 (1991) 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*, Vol. 21/1–3, Pergamon—Elsevier.
- Danilov VM, Pozdeev VK (1994) The epileptiform reactions of the human brain to prolonged exposure to low-dose ionizing radiation. *Fiziol Zh Im I M Sechenova*, 80 (6): 88–98 [en ruso].
- Demyttenaere K, Bruffaerts R, Posada-Villa J, Gasquet I, Kovess V, Lepine JP, Angermeyer MC, Bernert S, de Girolamo G, Morosini P, Polidori G, Kikkawa T, Kawakami N, Ono Y, Takeshima T, Uda H, Karam EG, Fayyad JA, Karam AN, Mneimneh ZN, Medina-Mora ME, Borges G, Lara C, de Graaf R, Ormel J, Gureje O, Shen Y, Huang Y, Zhang M, Alonso J, Haro JM, Vilagut G, Bromet EJ, Gluzman S, Webb C, Kessler RC, Merikangas KR, Anthony JC, Von Korff MR, Wang PS, Brugha TS, Aguilar-Gaxiola S, Lee S, Heeringa S, Pennell BE, Zaslavsky AM, Ustun TB, Chatterji S; WHO World Mental Health Survey Consortium (2004) Prevalence, severity, and unmet need for treatment of mental disorders in the World Health Organization World Mental Health Surveys. *JAMA* 291 (21): 2581–2590.
- Ermolina LA, Sukhotina NK, Sosyukalo OD, Kashnikova AA, Tatarova IN (1996) The effects of low radiation doses on children's mental health (radiation-ontogenetic aspect). Report 2. *Social and Clinical Psychiatry*, 6 (3): 5–13 [en ruso].
- European Commission. Radiation protection 100 (1998) *Guidance for protection of unborn children and infants irradiated due to parental medical exposures*. Directorate-General Environment, Nuclear Safety, and Civil Protection [http://www.europa.eu.int/comm/environment/radprot]
- Fry RJ (2001) Deterministic effects. *Health Phys* 80 (4): 338–343.
- Gamache GL, Levinson DM, Reeves DL, Bidyuk PI, Brantley KK (2005) Longitudinal neurocognitive assessments of Ukrainians exposed to ionizing radiation after the Chernobyl nuclear accident *Arch Clin Neuropsychol*, 20 (1): 81–93.
- Gayduk FM, Igumnov SA, Shalckevich VB (1994) The complex estimation of neuropsychic development of children undergone to radiation exposure in prenatal period as a result of Chernobyl disaster. *Social and Clinical Psychiatry*, 4 (1): 44–49 [en ruso]



- Gelowitz DL, Rakic P, Goldman-Rakic PS, Selemo LD (2002) Craniofacial dysmorphogenesis in fetally irradiated nonhuman primates: implications for the neurodevelopmental hypothesis of schizophrenia. *Biological Psychiatry* 52 (7): 716–720.
- Gourmelon P, Marquette C, Agay D, Mathieu J, Clarencon D. (2005) Involvement of the central nervous system in radiation-induced multi-organ dysfunction and/or failure. *BJR Suppl.* 27:62-68.
- Gus'kova AK, Bisogolov GD (1971) *Radiation Sickness of Human*. Moscow: «Meditzina» Publishing House [en ruso].
- Gus'kova AK, Shakirova IN (1989): Reaction of the nervous system on alterative ionizing irradiation. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova* 89(2):138–142 [en ruso].
- Gutin PH, Leibel SA, Sheline GE (Eds.) (1991): *Radiation injury to the nervous system*. New York: Raven Press.
- Hall P, Adami HO, Trichopoulos D, Pedersen NL, Lagiou P, Ekbohm A, Ingvar M, Lundell M, Granath F (2004) Effect of low doses of ionising radiation in infancy on cognitive function in adulthood: Swedish population based cohort study. *BMJ*, 328(7430): 19–24.
- Havenaar JM, Cwikel JG, Bromet EJ. (eds.) *Toxic Turmoil: Psychological and Societal Consequences of Ecological Disasters*. New York, Kluwer Academic and Plenum Press, 2002
- Havenaar JM, de Wilde EJ, van den Bout J, Drottz-Sjöberg B-M, van den Brink W. (2003). Perception of risk and subjective health among victims of the Chernobyl disaster. *Soc Sci Med*, 56:569-572
- Havenaar JM, Rummyantseva GM, van den Brink W, Poelijoe NW, van den Bout J, van Engeland H, Koeter MWJ. (1997b) Long-term mental health effects of the Chernobyl disaster: an epidemiological survey in two former Soviet Regions. *Am J Psychiatry* 154:1605-1607
- Havenaar JM, Rummyantseva GM, Kasyanenko AP, Kaasjager K, Westermann AM, van den Brink W, van den Bout J, Savelkoul TJF. (1997a). Health effects of the Chernobyl disaster: illness or illness behaviour? A comparative general health survey in two former Soviet Regions. *Environ Health Perspect*, 105 (Suppl.6): 1533-1537
- Honda S, Shibata Y, Mine M, Imamura Y, Tagawa M, Nakane Y, Tomonaga M (2002) Mental health conditions among atomic bomb survivors in Nagasaki. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 56: 575–583.
- Hunt WA (1987) Effects of ionizing radiation on behavior. In: Conklin JJ, Walker RI, editors. *Military radiobiology*. San Diego: Academic Press Inc. p. 321–330.
- Igumnov S, Drozdovitch V. (2000). The intellectual development, mental and behavioral disorders in children from Belarus exposed in utero following the Chernobyl accident. *Eur Psychiatry*, 15:244-253
- Igumnov SA (1996) Psychological development of children exposed to radiation in prenatal period as a result of Chernobyl disaster. *The Acta Medica Nagasakiensia*. 41 (3-4): 20–25.
- Igumnov SA (1999) *The prospective investigation of a psychological development of children exposed to ionizing radiation in utero as a result of the Chernobyl accident*. The dissertation for the academic degree of a Doctor of Medical Sciences in radiobiology and psychiatry. State Scientific Center of Russian Federation Institute of Biophysics, Moscú.
- Igumnov SA, Drozdovitch VV (2004) Antenatal exposure following the Chernobyl accident: neuropsychiatric aspects. *International Journal of Radiation Medicine*, 6 (1–4): 108–115.
- Imamura Y, Nakane Y, Ohta Y, Kondo H (1999) Lifetime prevalence of schizophrenia among individuals prenatally exposed to atomic bomb radiation in Nagasaki City. *Acta Psychiatrica Scandinavia*, 100 (5), 344–349.
- Ivanov VK, Maksoutov MA, Chekin Syu, Kruglova ZG, Petrov AV, Tsyb AF (2000) Radiation-epidemiological analysis of incidence of non-cancer diseases among the Chernobyl liquidators. *Health Physics* 78 (5): 495–501.

- Ivanov VK , Maksutov MA, Chekin Slu, Petrov AV, Tsyb AF, Biriukov AP, Kruglova ZG , Matiash VA (2005) The radiation risks of cerebrovascular diseases among the liquidators. *Radiats Biol Radioecol*, 45 (3): 261–270 [en ruso]
- Jablensky A (2000) Epidemiology of schizophrenia: the global burden of disease and disability. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci* 250 (6): 274–285.
- Kesminiene AZ, Kurtinaitis J, Rimdeika G (1997) The study of Chernobyl clean-up workers from Lithuania. *Acta Med. Lituanica* 2: 55–61.
- Kharchenko VP, Zubovskii GA, Kholodova NB (1995) Changes in the brain of persons who participated in the cleaning-up of the Chernobyl AES accident based on the data of radiodiagnosis (single-photon emission-computed radionuclide tomography, x-ray computed tomography and magnetic resonance tomography) *Vestn Rentgenol Radiol*, 1: 11–14 [en ruso].
- Kholodova NB, Kuznetzova GD, Zubovsky GA, Kazakova PB, Buklina SB (1996) Remote consequences of radiation exposure upon the nervous system. *Zh Nevropatol Psikhiatr Im S S Korsakova*, 96 (5): 29–33.
- Khomsckaja ED (1995) Some results of neuropsychological study of Chernobyl accident consequences clean-up workers. *Social and Clinical Psychiatry*, 5 (4): 6–10 [en ruso].
- Kimeldorf DJ, Hunt EL (1965) *Ionizing radiation: neural function and behavior*. Nueva York, Academic Press.
- Kolominsky Y, Igumnov S, Drozdovitch V (1999) The psychological development of children from Belarus exposed in the prenatal period to radiation from the Chernobyl Atomic Power Plant. *J Child Psychol Psychiatry*, 40 (2): 299–305.
- Korr H, Thorsten Rohde H, Benders J, Dafotakis M, Grolms N, Schmitz C (2001) Neuron loss during early adulthood following prenatal low-dose X-irradiation in the mouse brain. *Int. J. Radiat. Biol.* 77 (5): 567–580.
- Kovalenko AN, Loganovsky KN (2001): Whether Chronic Fatigue Syndrome and Metabolic Syndrome X in Chernobyl accident survivors are membrane pathology. *Ukrainian Medical Journal*, 6(26): 70–81 [en ruso].
- Kozlova IA, Niagu AI, Korolev VD. (1999) The influence of radiation of the child mental development. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova* 99(8):12–15 [en ruso].
- Krasnov VN, Yurkin MM, Vojtsek VF, Skavysh VA, Gorobets LN, Zubovsky GA, Smirnov YuN, Kholodova NB, Puchinskaja LM, Dudayeva KI (1993) Mental disorders in clean-up workers of the Chernobyl accident consequences. Report I: structure and current pathogenesis. *Social and Clinical Psychiatry*, 3 (1): 5–10 [en ruso]
- Kusunoki Y, Kyoizumi S, Yamaoka M, Kasagi F, Kodama K, Seyama T (1999) Decreased proportion of CD4 T cells in the blood of atomic bomb survivors with myocardial infarction. *Radiat Res* 152 (5): 539–543.
- Lebedinsky AV, Nakhilnitskaja ZN (1960) *Ionizing radiation influence on the nervous system*. Moscow, Publishing House Atomizdat [en ruso].
- Litcher L, Bromet EJ, Carlson G, Squires N, Goldgaber D, Panina N, Golovakha E, Gluzman S. (2000). School and neuropsychological performance of evacuated children in Kiev eleven years after the Chernobyl disaster. *J Child Psychol Psychiatry*, 41, 219-299
- Loganovskaja TK (2004) Psychophysiological pattern of acute prenatal exposure to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. *International Journal of Psychophysiology*, 54 (1–2): 95–96.
- Loganovskaja TK (2005) *Mental disorders in children exposed to prenatal irradiation as a result of the Chernobyl accident*. The dissertation for the academic degree of a Candidate of Medical Sciences in radiobiology. Scientific Centre for Radiation Medicine of Academy of Medical Sciences of Ukraine. Kiev.



- Loganovskaja TK, Loganovsky KN (1999) EEG, cognitive and psychopathological abnormalities in children irradiated in utero. *Int J Psychophysiol* 34 (3): 213–224.
- Loganovskaja TK, Nechayev SYu (2004): Psychophysiological effects in prenatally exposed children and adolescents as a result of the Chernobyl accident. *World of Medicine*, 4 (1): 130–137 [en ucraniano]
- Loganovsky K, Bomko M, Antypchuk Ye (2005b) Neuropsychiatric radiation effects: lessons from Chernobyl accident. Accepted Abstract *XIII World Congress of Psychiatry* Cairo, septiembre 10-15, 2005 Egipto.
- Loganovsky KN (1999) Clinical-Epidemiological aspects of psychiatric consequences of the Chernobyl disaster. *Social and Clinical Psychiatry*, 1(9):5–17 [en ruso].
- Loganovsky KN (2000a) Neurological and psychopathological syndromes in the followup period after exposure to ionizing radiation. *Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova*. 100(4):15-21 [en ruso]
- Loganovsky KN (2000b) Vegetative-vascular dystonia and osteoalgetic syndrome or Chronic Fatigue Syndrome as a characteristic after-effect of radioecological disaster: the Chernobyl accident experience. *Journal of Chronic Fatigue Syndrome*, 7(3): 3–16.
- Loganovsky KN (2002) *Mental disorders at exposure to ionising radiation as a result of the Chernobyl accident: neurophysiological mechanisms, unified clinical.*

Las consecuencias del accidente de Chernobyl en los animales vertebrados salvajes

Dr. Eugene Yu. Krysanov

Instituto de Ecología y Evolución, Academia Rusa de las Ciencias, Moscú (Rusia)

Traducción al español de: Andrea García Vidal (Facultad de Traducción y Documentación, Universidad de Salamanca)

En este capítulo se analizan brevemente los efectos biológicos producidos en las poblaciones naturales de animales vertebrados que estuvieron expuestos a la radiación del accidente de Chernobyl.

El periodo inicial después del accidente fue el más importante en cuanto a efectos radioactivos. Durante esta fase se acumularon nucleidos radioactivos en diversos grupos sistemáticos y ecológicos de animales y, como resultado, estos padecieron las repercusiones y las dosis de radiación más altas. Las secuelas ecológicas aún no se han estabilizado; en las áreas contaminadas radiactivamente todavía se están manifestando alteraciones.

Al calcular los efectos de las irradiaciones se constató que varias biocenosis fueron contaminadas al principio; la zona denominada "Red Forest" (Bosque Rojo) y el tanque de refrigeración de la central de Chernobyl. En "Red Forest" se redujo en gran medida la población de roedores murinos a causa de las altas dosis de radiación hasta que, poco a poco, estas poblaciones se fueron recuperando progresivamente. (Taskaev et al., 1988).

Los estudios realizados en mamíferos pequeños muestran un aumento de la muerte embrionaria y del nivel de las células variables de las mutaciones letales dominantes, translocaciones recíprocas, cambios en la morfología de la sangre y patologías embrionarias. (Zainullin, 1998; Pomerantzeva, Ramaja, 1999; Sokolov et al., 1999).

En el tanque de refrigeración de Chernobyl no desaparecieron los organismos acuáticos en su totalidad; sin embargo, los organismos bentónicos se redujeron a corto plazo. Los peces -organismos marinos más sensibles- sufrieron cambios en los órganos, en los tejidos y en los niveles citogenéticos. Tras estudiar 31 especies de peces, se observó que el máximo de ^{137}Cs se produjo en las especies depredadoras del grupo de los litófilos (especies que desovan en suelo pedregoso), entre ellos la lucioperca y el aspío. En 1998 la intensidad de dosis de radiación que recibieron los peces, embriones y larvas de los sedimentos de los fondos fue de 10-20 cGy/día y del agua 2-3 mGy/día. Entre 1989-1990 se estudió la supervivencia de la carpa plateada desde el momento del desove y la dosis de radiación absorbida era de 7-8 Gy. Análisis bioquímicos revelaron que las fuentes de energía, la capacidad reproductiva y los índices generales de estas especies eran normales; sin embargo, los resultados detectaron que el 8% de los machos eran estériles. Las especies jóvenes de la carpa plateada habían recibido 15 cGy. Los estudios citogenéticos mostraron cambios de un 22,7% en los peces irradiados (5-7% en el grupo estudiado); no obstante, en el agua no sólo influyó el factor de la radiación, sino también efectos químicos y termales. (Ryabov 2004).

En áreas en las que la radiación no fue tan alta no se hallaron grandes cantidades de animales muertos, ni hubo casos de enfermedades en órganos provocadas por la radiación, ni anomalías específicas en el sistema de reproducción o en el comportamiento de las especies. A la hora de analizar la alta resistencia a la radiación de los ecosistemas naturales y los



animales, es interesante resaltar las numerosas consecuencias radiactivas que se desencadenan en los niveles menores de la organización biológica.

Los índices ecológicos, que determinan las características de las poblaciones y de las comunidades de animales, parecen mostrar las secuelas de sólo altas dosis de radiación. Los efectos de las dosis bajas sólo se manifestarían en los niveles moleculares y celulares. Esto queda demostrado por los muchos datos sobre los efectos de las radiaciones en las especies de animales de los niveles de la organización biológica inferiores que el ecosistema y de las áreas más alejadas de las zonas radiactivas.

Entre los efectos que se produjeron en animales salvajes que viven en biocenosis contaminadas con radiación se incluyen cambios citogenéticos en anfibios y pequeños mamíferos. Se han realizado estudios de diferencias desde varios niveles de parámetros bioquímicos entre los mamíferos de la zona contaminada y de las zonas limpias. Muchos investigadores estudiaron a los roedores murinos y otras especies de animales salvajes a 30 km de las áreas con menores niveles de contaminación y descubrieron cambios destructivos en el hígado y en órganos hemopoyéticos, un aumento de la respuesta del sistema inmunológico, cambios en la energía, en la cinética y en la distribución de los hidratos de carbono y albúminas, efectos genéticos y un aumento de la asimetría fluctuante. (Biological..., 1990; Zakharov & Kryanov, 1996).

Además, se observaron deficiencias en el proceso de crecimiento y en el desarrollo y estructura de las células sexuales de los peces (anomalías en el tamaño del ovocito y del núcleo, anomalías en el desarrollo y crecimiento asincrónico de los ovocitos, reducción de la membrana folicular, desintegración del núcleo, etc.). Los investigadores dedujeron que una exposición continuada a la radiación provocó efectos dañinos en el entorno, en los tejidos y órganos del proceso de gametogénesis de los peces. (Petukhov & Kokhenko, 1998)

Se demostró que las dosis de radiación baja (intensidad de dosis absorbida por irradiación interna y externa de 0.4-5.5 mGy/día) causaron efectos biológicos negativos en los estanques contaminados con radiación (actividad específica de los fondos de los sedimentos – 801-3235 Bq/kg) donde viven las carpas. En particular, se observó una reducción de los peces rayados en parámetros reproductivos, un aumento en la frecuencia de los cambios morfológicos y lesiones citogenéticas en embriones y larvas y un aumento en la frecuencia de cambios morfológicos y lesiones citogenéticas en la carpa con vida de un verano. (Slukvin & Goncharova, 1999).

Otra investigación llevó a cabo un análisis citomorfológico de las gónadas del lucio y señaló la existencia de alteraciones en el desarrollo normal de los ovocitos. El número de ovocitos en el periodo de vitelogénesis es mayor en los peces que vivían en los lagos de Perstok y Smerzhov a causa de células germinales con modificaciones degenerativas. El grosor de la membrana radial en las células de los huevos alcanzó 25-30mcm, cuando su grosor normal es de 10 mcm. También se observaron cambios en el desarrollo de las gónadas femeninas y en las gónadas del lucio. El análisis determinó que un efecto negativo de la contaminación por radiación del embalse en el proceso reproductivo podría a la larga provocar una reducción de la capacidad reproductora de las poblaciones de las especies estudiadas. (Kokhenko, 2000).

Un estudio comparó los resultados obtenidos del *Apodemus agrarius*, *Microtus oeconomus* y *Microtus arvalis* capturados en la primavera de 1987 que vivían en zonas con niveles de radiación gamma bajos (0,02-0,1 mR/h), medios (2-20 mR/h) y elevados (150-200 mR/h). Los resultados revelaron varios tipos de distrofia del hepatocito, es decir, variaciones

en los sistemas de eficiencia energética en el órgano. La alteración más importante que se percibió fue la reducción de la actividad de la deshidrogenasa succínica, fosfato deshidrogenasa y lactato deshidrogenasa (SDG, PDG y LDG en inglés), aunque no habría una relación significativa con el nivel de radiación externa. (Shishkina y col., 1992)

Otro análisis indicó un aumento significativo del nivel de lesiones citogenéticas (células aberrantes) en la médula y en el epitelio intestinal de los anfibios y roedores, en el macrófago alveolar de los roedores, así como un aumento del nivel de micronúcleos en eritrocitos en la sangre periférica de los anfibios. (Yeliseeva y col., 1996)

Goncharova y col. (1996) detectaron la existencia de aberraciones cromosómicas y un aumento del nivel de mutaciones en el genoma hasta 1991 que se fue reduciendo según la dosis de radiación absorbida. Observó también un indicio del aumento de la sensibilidad de las estructuras hereditarias en las células somáticas de las nuevas generaciones de animales, descendientes de las generaciones de 1986-1988, y argumentó que estos datos muestran una falta de adaptación genética al efecto mutágeno de la contaminación por radiación en las poblaciones naturales durante el periodo de las investigaciones.

Los efectos citogenéticos de la irradiación crónica de baja intensidad detectados en las células germinales y somáticas de los animales salvajes sobrepasaron los niveles esperados deducidos mediante la extrapolación de los datos del rango de las altas dosis irradiación aguda o crónica. Se demostró que en los roedores murinos salvajes aumentaron las frecuencias de lesiones citogenéticas en las células germinales y somáticas, así como la letalidad embrionaria, que permanecería durante al menos 22 generaciones. (Goncharova & Ryabokon, 1998).

Otro estudio demuestra que parece existir un mal funcionamiento de la eritropoyesis ante una exposición de baja radiación. Tras 20 generaciones de rata campestre en las zonas contaminadas, está teniendo lugar un nivel excesivo del proceso de mutación en las células somáticas, a pesar de la reducción significativa de la exposición a la radiación. (Smolich & Ryabokon, 1997)

Como es habitual, las alteraciones no están relacionadas directamente con la potencia de la dosis absorbida, lo que resalta la dificultad de predecir los efectos de las radiaciones, especialmente a niveles de dosis bajas.

Igualmente, parece que no existe una dependencia directa entre el nivel de acumulación de los nucleidos radioactivos y los efectos biológicos (las frecuencias de las células variables, micronúcleos, y asimetría fluctuante).

Sin embargo, se ha detectado que la resistencia a la radiactividad en las poblaciones de las biogeocenosis contaminadas aumentó con el paso del tiempo, con niveles bajos de contaminación. (Il'enko & Krapivko, 1994).

La mayor parte de las investigaciones se realizaron en mamíferos pequeños y un menor número de estudios se dedicó a otros grupos de animales como peces y anfibios.

En general, la mayoría de los estudios se centraron en los problemas de acumulación y transformación de los nucleidos radioactivos en los animales. (Ryabov, 2004; Lebedeva & Ryabtzev, 1999; Bondarkov y col., 2002, 2002a; Kuchmel y col, 2003; Oleksik y col., 2002;).

Es importante destacar que la mayor parte de las investigaciones se llevaron a cabo en la primera década tras el accidente, más que en la segunda.

De este modo, existen menos posibilidades de que se hayan estudiado bien los efectos biológicos a largo plazo en las poblaciones naturales de animales tiempo después del daño inicial. Algunas de las investigaciones muestran las secuelas que quedarían a largo plazo.



Un interesante estudio examinó la diversidad genética en el ratón de campo de las zonas contaminadas y limpias de Chernobyl. Se estudiaron tres áreas: Oranoe, un lugar de referencia prácticamente sin contaminación radiactiva ($<2 \text{ Ci/km}^2$) y dos zonas muy contaminadas; el lago Glubokoe y "Red Forest" (ambas 1.000 Ci/km^2). La diversidad genética en la población de "Red Forest" (0.722 ± 0.024) fue mucho mayor que en la zona de referencia de Oranoe (0.615 ± 0.039), mientras que la diversidad genética en el lago Glubokoe (0.677 ± 0.068) fue intermedia. (Matson y col., 2000).

El nivel de micronúcleos en eritoblastos de sangre periférica de las larvas de *Rana temporaria* del área del Jardín Botánico Central (Academia Nacional de las Ciencias de Bielorrusia, Minsk) fue 6 veces mayor que el nivel del grupo de control- valor de la población de la reserva de Berezinsky ($p<0.001$). Se observó un nivel excesivo (3-4 veces mayor) del número de micronúcleos normales ($p<0.001$) de las larvas cogidas cerca de Veprin en el distrito de Chericov en la región de Mogilev. El número de eritrocitos con micronúcleos en todas las poblaciones de *Rana temporaria* de las zonas contaminadas antes de 1991 fue más elevado que los valores normales y, en algunos casos, en un factor de 30 ($p<0.001$). Durante un control a largo plazo de las poblaciones de la *Rana temporaria* que viven en las zonas contaminadas por radiación se descubrió que, a pesar de aumentar las lesiones citogenéticas en las células de la médula y eritrocitos, se produjeron diferentes cambios en la cantidad del número de eritrocitos en sangre periférica. Se detectaron alteraciones del eritrón (conjunto de hematíes, precursores y órganos hematopoyéticos) con un aumento del peso específico de las células grandes y pequeñas en animales de todas las zonas contaminadas en el periodo de 1988-1989. (Voitovich, 2000).

Según nuestros datos, la frecuencia de células aberrantes en algunas especies de mamíferos pequeños permanece bastante elevada incluso hoy. En los ratones de campo es de 6-8% en las zonas más contaminadas de la región de Bryansk. Estos valores son de 3 a 4 veces mayores que los valores normales. Además, en las poblaciones de ratones de campo estudiadas apareció un mayor número de individuos con niveles máximos de células aberrantes (datos de 2005).

También se observaron niveles elevados de células aberrantes en algunas especies de organismos acuáticos que viven en un radio de 10km del lugar del accidente. La frecuencia de células aberrantes en las percas del tanque de refrigeración de Chernobyl es aproximadamente de 6%, dos veces mayor que los valores de referencia. La frecuencia de células variables en el carpín del lago Glubokoe es de 10%. (Gudkov et al., 2004).

La frecuencia de células aberrantes en la rana común del lago Glubokoe es de 6-7% (según los datos de 2005), cifra inferior a los resultados de 1988, pero de 2 o 3 veces superior a lo habitual. (Krysanov, 1993).

Al mismo tiempo, se detectó un descenso del nivel de translocaciones recíprocas y de micronúcleos en las poblaciones naturales de mamíferos pequeños entre 15 y 18 años después de la catástrofe. (Pomerantzeva et al., en prensa, Rodgers & Baker. 2000).

Este breve estudio demuestra que la situación de las poblaciones de animales salvajes que viven en zonas contaminadas con radiación ha cambiado tras el accidente y continúa cambiando hoy en día.

Parece que los daños considerables pero sutiles ocasionados por la radiación de la central nuclear de Chernobyl causaron en estas poblaciones alteraciones, no siempre evidentes, que, como resultado, pueden provocar la transformación del cariotipo del patrimonio genético y otras modificaciones.

Referencias:

- Biological and radioecological aspects consequences accident on Chernobyl NPP. 1990. Moscú. 230p.
- Bondarkov M.D., Gashak S.P., Goryanaya Ju. A., Maksimenko A.M., Ryabushkin A.N., Salyi O.V., Shulga A.A., Awan S., Chesser B.E., Rodgers B.E., "Some characteristics of 90Sr and 137Cs metabolism in newborn bank voles" Int. Cher. Center, Kiev, 2002, 477-485.
- Bondarkov M.D., Gashak S.P., Goryanaya Ju. A., Maksimenko A.M., Shulga A.A., Chigevsky I.V., Oleksik T.K., "Features of radioactive contamination of amphibians of Chernobyl region". 2002. Int. Cher. Center, Kiev, 508-517
- Goncharova R.I., Ryabokon N.I. "The results of long-term monitoring of animal populations chronically irradiated in radiocontaminated areas". Radiological catastrophe in Chernobyl: report of international study, ("Los resultados del estudio continuado de las poblaciones de animals que están expuestas a radiación crónica en las zonas contaminadas". Catástrofe radiológica en Chernobyl: informe de estudio internacional).Tokyo, 1998. P. 256-266. [En japonés]
- Goncharova R.I., Ryabokon N.I., Slukvin A.M. "Dynamics of mutability in somatic and germ cells of animals inhabiting regions of radioactive fall-out". Cytology and Genetics, ("Fuerza de la mutabilidad en las células somáticas y germinales de animales que viven en las zonas contaminadas con radiación". Citología y genética). 1996. V. 30, №4. P. 35-41. [En ruso]
- Gudkov D.I., Derevets V.V., Kuzmenko M.I., Nazarov A.B., Krot Yu.G., Kipnis L.S., Mardarevich M.G., Syvak O.V. "Hydrobionts of the Chernobyl NPP exclusion zone: present-day level of radioactive contamination dose rates and cytogenetic effects", ("Hidrobiontes de la zona de exclusión de la central nuclear de Chernobyl: nivel actual de la dosis de contaminación radiactiva y efectos citogenéticos"). 2004., Proc. II Int. Conf., Tomsk, 167-171. [En ruso].
- Il'enko A.I., Krapivko T.P., "Radioresistance of bank voles populations (*Clethrionomys glareolus*) in conditions of radioactive contamination", ("Resistencia a la radiactividad de las poblaciones de ratón de campo (*Clethrionomys glareolus*) expuestas a contaminación radiactiva"). Proc. Academia Rusa de las Ciencias, 1994. v. 336, N5, 714-718. [En ruso]
- Krysanov E. Yu. 1993. "Chromosome aberrations in lake frogs from Chernobyl zone in 1987". In: Impact of Radiation from Chernobyl accident, ("Aberraciones cromosómicas en la rana común del área de Chernobyl en 1987". En: Impacto de la radiación del accidente de Chernobyl). Proc. First All Union Conf., "Gidrometeoizdat", St-Pet., v. 2, 27-29 [En ruso]
- Kuchmel S.V., Deryabina T.G., Ostudin I.A., Antonuk G.A., "Specific activity of 137Cs in organs and tissues of wild hoofed of Polesbye reservation", ("Actividad específica de 137Cs en órganos y tejidos del artiodáctilo de la reserve de Polesbye"). 6th Ann. Conf. Int. Cern. Center, 2003, 216 [En ruso]
- Lebedeva N. V., Ryabtzev I.A. "Accumulation of radionuclides in birds". In: Bioindication of radioactive pollutions, ("Acumulación de radionúclidos en aves" En: Indicios biológicos de contaminación radiactiva). 1999, Moscú. Nauka, 72-85 [En ruso]
- Matson C.W., Rodgers B. E., Chesser R.K., Baker R.J. "Genetic diversity of *Clethrionomys glareolus* populations from highly contaminated sites in the Chornobyl region", Ucrania. 2000, *Envir. Toxicol. Chem.*, 19, 2130-2135
- Oleksik T. R., Gashak S.P., Glenn T.S., Jagoe C.H., Peles J. D., Purdue J. R., Tsyusko O.V., Zalissky O.O., Smith M.H., "Frequency distributions of 137Cs in fish and mammal populations". *J. Envir. Rad.*, 2002, v. 61, 55-74.
- Petukhov V.B., Kokhnenko O.S. "Gametogenesis of bream and roach under radioactive contamination of cisterns of Belarus", ("Gametogenesis de la brama y de la cucaracha expuestas a la contaminación radiactiva de Bielorrusia"). Proc. Academia Nacional de las Ciencias de Bielorrusia, Ser. Biología. 1998. N 3. P. 115-120. [En ruso]
- Pomerantzeva M D., Ramaya L.K., 1999. "Genetical effects of high level of radiation in mice on contaminated area of Chernobyl". In: Bioindication of radioactive contamination, ("Efectos genéticos de niveles altos de radiación en ratones de la zona contaminada de Chernobyl". En: Indicios biológicos de contaminación radiactiva). (Ed. D. Krivolutzky), 187-199. [En ruso]
- Pomerantzeva M D., Ramaya L.K., Rubanovich A.N. 2006. "Genetical consequences of the increased radiating background at rodents". Radiobiology and Radioecology [En prensa].
- Rodgers B. E. and R. J. Baker. 2000. "Frequencies of micronuclei in bank voles from zones of high radiation at Chernobyl", *Environmental Toxicology and Chemistry*. Ucrania 19:1644-1649.



- Ryabov I.I., Radioecology of fishes of reservoirs in region influences of accident on the Chernobyl atomic power station, (Radioecología de peces de los embalses del area afectada por el accidente de la central nuclear de Chernobyl). 2004, Moscú, KMK, 215 c. [En ruso]
- Shishkina L. N., Mattered L.D., Kudyasheva A.G., Zagorskaya N.G., Taskaev A.I. "Structurally functional infringements in a liver of wild mammals from areas of accident on the Chernobyl atomic power station". Radiobiology., ("Modificaciones funcionales en la estructura del hígado de animales salvajes que habitan en la zona del accidente de la central nuclear de Chernobyl". Radiobiología). 1992. v. 32, N 1, 19-29. [En ruso]
- Slukvin A.M., Goncharova R.I. "Radiation-induced biological effects in pond carp and measures of their prevention", ("La radiación provoca efectos biológicos en la carpa y determina su prevención"). Proc. Conferencia Internacional sobre el estado actual y perspectivas del desarrollo de la acuicultura. Gorki, 7 – 9 December 1999. Gorki, 1999. P.136– 138. [En ruso]
- Smolich I.I., Ryabokon N.I. "Micronucleus frequency in somatic cells of red vole (*Clethrionomus glareolus*) from the populations of chronic radiation exposure", ("Frecuencia de micronúcleos en las células somáticas del ratón de campo (*Clethrionomus glareolus*) en las poblaciones expuestas a radiación crónica"). Proc. Academia Nacional de las ciencias de Bielorrusia, Ser. Biología. 1997. № 4. P. 42-46. [En ruso]
- Sokolov V.E., Krylova T.E., Skurat L.N., 1999. "Embryonic development of rodent in chronic irradiation impact on forest biogeocenoses". In: Bioindication of radioactive contamination, ("Desarrollo embrionario de los roedores tras el impacto de la radiación crónica en la biogeocenosis del bosque". En: Indicios biológicos de contaminación radiactiva). (Ed. D. Krivolutzky), 123-128 [En ruso]
- Sushchenya L.M., Pikulik M.M., Plenin A.E. (eds), 1995. Animals in the zone of the Chernobyl atomic power electric station. (Animales del area de la central nuclear de Chernobyl). Minsk "Navuka i tekhnika", 263 p. [En ruso]
- Taskaev A.I., Testov B.V., Mattered L. D., 1988, Ecological and morphoecological consequences accident on the Chernobyl NPP for populations of small mammals, (Consecuencias ecológicas y morfológicas del accidente de la central nuclear de Chernobyl en las poblaciones de mamíferos pequeños). Syktyvkar, 56. [En ruso]
- Testov V.V., Taskaev A.I., Ryabov I.N., Ryabtsev LA. 1993. "Changes in abundance of rodents on the site with various pollution levels". In: Impact of Radiation from Chernobyl accident, ("Cambios en los roedores de la zona con diversos niveles de contaminación). En: El impacto de la radiación del accidente de Chernobyl". Actas de "First All Union Conference. (Obninsk, Junio 1988), vol. 2, Ed. Yu.A. Israel, St-Pet., "Gidrometeoisdat", 147-150. [En ruso]
- Voitovich A.M. "Micronuclei frequency in erythrocytes and disturbance in differentiation process in brown-frog erythron under chronic radiation exposure", ("Frecuencia de micronúcleos en eritrocitos y alteraciones en el proceso de diferenciación del eritron de la rana común expuesta a radiación crónica"). Proc. Academia Nacional de las Ciencias., 2000. N.3. P.60- 63. [En ruso].
- Yeliseeva K.G., Kartel N.A., Voitovich A.M., Trusova V.D., Ogurtsova S.E., Krupnova E.V. "Chromosome aberrations in various tissues of murine rodents and amphibians". Cytology and Genetics. ("Aberraciones cromosómicas en diversos tejidos de roedores murinos y anfibios". Citología y genética). 1996. V. 30, № 4. P. 20-24. [En ruso]
- Zainullin, Genetical effect of chronic irradiation in low doses of ionizing radiation, (Consecuencias genéticas de la radiación crónica de bajas dosis de radiación ionizante).1998. St. Petersburgo, Nauka, 99p. [En ruso]
- Zakharov V.M. & Krysanov E.Yu., Eds., 1996 Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health, (Consecuencias de la catástrofe de Chernobyl: Salud ambiental) Moscú, 160. [En ruso].

Aberraciones Cromosómicas en los Linfocitos Sanguíneos de las Personas Expuestas a Radiación como Resultado del Accidente de Chernobyl.

G.P.Snigiryova¹, V.A.Shevchenko²

¹Institución Federal Estatal Centro Ruso de Roentgenología & Radiología Roszdrav, Moscú, Rusia

²Instituto Vavilov de Genética General, Moscú, Rusia

Traducción Iñigo García

En el proceso de examinar a los individuos expuestos a la radiación, se ha acumulado una gran cantidad de información durante los 20 años desde el accidente de la central nuclear de Chernobyl. Los efectos negativos del accidente afectaron de manera adversa a la salud de muchas personas. Entre ellas se encuentran los liquidadores - la categoría mayor y más gravemente afectada de la población irradiada de nuestro país, y los residentes de los asentamientos dentro de las zonas de la lluvia radioactiva.

El papel más importante de estos exámenes es la predicción de los efectos genéticos provocados por la radiación ionizante en el organismo humano y la evaluación del riesgo del futuro desarrollo de patologías. Estas tareas pueden ser llevadas a cabo de manera adecuada únicamente con una información fiable de las dosis de irradiación acumuladas.

Desafortunadamente, en una situación de emergencia como la que se produjo en la central nuclear de Chernobyl en 1986, es realmente difícil evaluar los niveles de radiación reales únicamente con la ayuda de los limitados datos físicos de dosimetría disponibles en aquel momento. Los métodos biológicos, es decir, los citogenéticos, basados en el análisis de la frecuencia de las aberraciones cromosómicas, aportan una considerable contribución a solucionar estos problemas. Estos métodos permiten una estimación cuantitativa del efecto de la radiación sobre el organismo humano teniendo en cuenta sus peculiaridades individuales (la primera de ellas, la radio-sensibilidad individual) y la condición del organismo en el momento de la irradiación. Los datos obtenidos con estos métodos proporcionan una predicción más precisa de las posibles consecuencias, tempranas y tardías, de la irradiación.

Los principios del método citogenético de dosimetría han sido expuestos de manera convincente en numerosos trabajos en Rusia y el extranjero y los resultados de esos trabajos han servido como base para la recomendaciones efectuadas por la OMS, la IAEA y UNSCEAR sobre la utilización práctica del análisis cromosómico de los linfocitos sanguíneos en la determinación de las dosis de exposición.

La base radiobiológica para utilizar los métodos citogenéticos en las investigaciones sobre la radiación es la alta sensibilidad de los linfocitos sanguíneos y la disponibilidad de las reorganizaciones cromosómicas específicas provocadas por la radiación, y su dependencia con la dosis que ha sido estudiada para la mayoría de los tipos de radiación ionizante.

La acción de la radiación provoca una incidencia de aberraciones cromosómicas del tipo intercambio – dicéntricos, policéntricos anillos céntricos, translocaciones y fragmentos acéntricos. Resulta de interés principal en el estudio de estos efectos de la radiación, especialmente en el curso de un análisis cuantitativo, la frecuencia de los dicéntricos y las translocaciones. El análisis de los dicéntricos se puede utilizar con éxito en estimaciones biodosimétricas de las dosis de irradiación a corto plazo (en el plazo de un año) tras una exposición única a una radiación relativamente uniforme.

La ventaja del análisis de los dicéntricos es su sencilla detección con un microscopio óptico sin los procedimientos complicados de tratamiento y teñido de las preparaciones



cromosómicas. Los límites de aplicación de este método son debido al hecho de que las células con dichas aberraciones, por encontrarse genéticamente desequilibradas, pueden ser eliminadas en el curso del ciclo celular. A medida que aumenta el periodo post-radiación, la incertidumbre en la estimación de las dosis en base a la frecuencia de los dicéntricos también aumenta de manera significativa. En este caso la frecuencia residual de los dicéntricos en los linfocitos de la sangre periférica permite establecer la presencia o ausencia de daños provocados por la radiación.

Un método más prometedor en el campo de la dosimetría biológica es el análisis de las translocaciones. Utilizando este método es posible determinar el grado de los daños provocados por la radiación en el organismo y estimar la dosis de irradiación bastante tiempo después de la exposición. Esto es posible debido al hecho de que, al contrario que con los dicéntricos, las translocaciones no alteran el proceso de la mitosis y por lo tanto pueden transmitirse fácilmente a través de varias generaciones de células, es decir, la frecuencia de las translocaciones no cambia significativamente con el tiempo tras el episodio de irradiación.

La frecuencia espontánea de dicéntricos y translocaciones está caracterizada por valores relativamente bajos y suele estar entre 0 y 5 por cada 10.000 células para los dicéntricos. La frecuencia espontánea de las translocaciones es de aproximadamente un orden de magnitud mayor. Utilizando la frecuencia de las aberraciones cromosómicas es posible estimar dosis relativamente bajas. El límite inferior de sensibilidad es de 0,01 Gy para los dicéntricos y de aproximadamente 0,25 Gy para las translocaciones [1].

A pesar de las restricciones del análisis de los dicéntricos utilizado para la estimación retrospectiva de la dosis de irradiación, este método ha sido utilizado ampliamente en la monitorización citogenética de grupos de personas expuestas a una irradiación en una emergencia. Un nivel aumentado de aberraciones cromosómicas en los linfocitos de la sangre podría preceder al desarrollo de procesos patológicos en el organismo humano y por lo tanto la información sobre el alcance del daño sufrido en el genoma es extremadamente importante en la formación de grupos que tienen un riesgo de desarrollar diversas enfermedades, incluyendo enfermedades oncológicas [2, 3].

Los exámenes citogenéticos adquirieron una importancia especial en conexión con el accidente de la central nuclear de Chernobyl, debido al cual una gran cantidad de personas fueron expuestas a irradiación de diferente intensidad. En las publicaciones se prestó mucha atención inicialmente al examen citogenético de los liquidadores del accidente y las poblaciones de las regiones con contaminación radioactiva. Durante el examen de 158 trabajadores de la central nuclear y los liquidadores en la clínica del Instituto de Biofísica, se estimaron dosis de irradiación en el rango de 0,1 a 13,7 Gy mediante el análisis citogenético [4]. La precisión de estas estimaciones fue confirmada por el estado clínico posterior de los pacientes.

En el curso de la monitorización citogenética de los liquidadores, Maznik *et al.* [5] establecieron que la dosis promedio calculada mediante los datos del análisis citogenético era más elevada que los valores oficialmente registrados en los documentos.

Pilinskaya *et al.* [6] señalaron que durante el examen de los liquidadores con una dosis de irradiación conocida, no se observaba siempre una correlación positiva entre los resultados citogenéticos y los datos de la dosimetría física. Los valores de las dosis calculados en base a los análisis citogenéticos eran, como regla general, más bajos, lo que en opinión de los autores se debe a la eliminación de las aberraciones cromosómicas inestables en el periodo de tiempo post-irradiación.

Sin embargo, es realmente difícil ignorar la existencia de numerosos trabajos [7, 8, 9, 10, 11] en los que se presentan pruebas de un aumento del nivel de las aberraciones cromosómicas inestables (dicéntricos, anillos céntricos y fragmentos acéntricos) en los linfocitos sanguíneos de los liquidadores. Según los autores, los cambios observados permanecen durante muchos años después de la exposición a la radiación. Sevan'kaev et al. [8] llevaron a cabo un examen citogenético de 875 liquidadores (1-6 años después del accidente) que trabajaron en Chernobyl durante un periodo entre dos semanas y tres meses. Se observó un aumento de la frecuencia de los indicadores del daño por radiación - dicéntricos y anillos céntricos - únicamente en los grupos de liquidadores que trabajaron entre 1986-1988. En aquellos que trabajaron en 1989 la frecuencia de las aberraciones cromosómicas no era diferente de los valores de control. La estimación de las dosis individuales no fue posible debido a que los índices citogenéticos tenían valores demasiado bajos. Sin embargo, las dosis promedio calculadas para los grupos examinados mediante la frecuencia de los dicéntricos coincidían con los datos de los dosímetros personales. Bogomazova [9] llevó a cabo un examen citogenético de la población irradiada como resultado del accidente de la central nuclear de Chernobyl (liquidadores y personas evacuadas de las regiones contaminadas con radionucleidos). 4-10 años después del accidente la frecuencia de las aberraciones cromosómicas inestables en la sangre de las personas examinadas excedían el nivel de control.

En las publicaciones se prestó mucha atención a los exámenes citogenéticos de los niños que vivían en los territorios radioactivos.

En el transcurso de 17 años, Sevan'kaev et al. [10] llevaron a cabo exámenes citogenéticos de niños y adolescentes de los territorios contaminados de la región de Kaluga. Durante todo el periodo en el que se llevaron a cabo los exámenes, se observó un aumento del nivel de las aberraciones cromosómicas inestables en el 30-60% de los sujetos examinados. Los autores no descubrieron un aumento de la frecuencia de las aberraciones cromosómicas relacionadas con un aumento de la carga de dosis.

Mientras se examinaban niños que vivían en las áreas contaminadas con radionucleidos en las regiones de Zhitomir y Kiev, Pilinskaya et al. [11] establecieron que el nivel más elevado de aberraciones cromosómicas se producía en los niños que vivían en el territorio con un nivel máximo de exposición.

Debe señalarse que algunas de las ambigüedades de los datos presentados en los trabajos de varios investigadores se deben a que el número de células examinadas es insuficiente (algunas veces inferior a 100 células), lo que en algunos casos puede provocar conclusiones incorrectas.

A principio de los 90 aparecieron publicaciones en las que se utilizó el método FISH para analizar las aberraciones cromosómicas en personas que habían sufrido por el accidente de Chernobyl.

Los resultados de los exámenes de los liquidadores con grandes dosis de irradiación se presentan en el trabajo de Sevan'kaev et al. [12]. La estimación retrospectiva de las dosis de irradiación mediante la observación de la frecuencia de dicéntricos y translocaciones fue hecha cinco años después del accidente. Los valores de las dosis obtenidas mediante los dos métodos eran consistentes.

Los datos que muestran un aumento de la frecuencia de las translocaciones en los linfocitos sanguíneos de las personas expuestas en diferentes momentos a irradiación de distinto tipo se presentan en el trabajo [13].



En base a los datos obtenidos en el transcurso del análisis de la frecuencia de las translocaciones estable en los linfocitos sanguíneos de los liquidadores, se efectuó la determinación de las dosis de irradiación 5-10 años después del accidente de Chernobyl [14]. La dosis promedio para el grupo de liquidadores examinado fue de 9 cGy (de 0 a 51 cGy). Estos valores eran menores en comparación con los datos de la dosimetría física. Se observó poca correlación (< 0.2) entre las dosis biológicas y las dosis físicas.

Este trabajo presenta los resultados de los exámenes citogenéticos de las personas expuestas a una irradiación como resultado del accidente de la central nuclear de Chernobyl. También se considera la posibilidad de utilizar datos citogenéticos para evaluar las dosis de irradiación y predecir los impactos negativos de la exposición a la radiación.

Resultados y Discusión

Exámenes citogenéticos de los liquidadores. Biodosimetría

Durante sus actividades en Chernobyl los liquidadores fueron expuestos a una irradiación a corto plazo, prolongada, o fraccional con diferentes ritmos de dosis. La información parcial y más bien incompleta sobre las dosis de irradiación determinadas mediante los métodos físicos de dosimetría no permite una evaluación objetiva del daño provocado por la radiación.

Tomando en consideración que el nivel de reorganizaciones en los linfocitos sanguíneos está correlacionado con el valor de la dosis de irradiación, se puede obtener una estimación más precisa de las consecuencias del accidente en términos de dosimetría tanto individual como de toda la población a través de un análisis citogenético.

En 1986, 443 liquidadores fueron examinados citogenéticamente utilizando el método clásico (análisis de dicéntricos). Se tomaron muestras de sangre pocos días después de que terminaran su trabajo en la zona de 30 km. La Tabla I muestra los datos del análisis citogenético y la dosimetría biológica para el grupo de liquidadores examinados. Como se puede deducir que los datos presentados, la frecuencia de los dicéntricos es 16,5 veces superior al nivel de control. Las dosis de irradiación se estimaron utilizando una curva de calibración dosis-efecto para los dicéntricos [15] construida en base a datos obtenidos de manera experimental (irradiación gamma aguda de muestras de sangre a un ritmo de dosis de 0,103 Gy/min). La curva está descrita mediante una ecuación cuadrática lineal:

$$Y = (0.10 \pm 0.03) + (1.5 \pm 0.4) * D + (6.3 \pm 0.3) * D^2,$$

Donde Y la frecuencia de los dicéntricos por cada 100 células y D es la dosis de irradiación en Gy.

Tabla 1. Frecuencia de las aberraciones cromosómicas (método clásico) en un grupo de liquidadores examinados en 1986..

Grupos	Número de pacientes	Número de células	*dic ± m/ 100 células	Estimación biológica de la dosis, Gy (I.C. del 95%)
Liquidadores	443	41927	0.33 ± 0.01*	0.16 (0.07 – 0.42)
Control	114	51430	0.02 ± 0.01	

*diferencia significativa en comparación con el grupo de control, $p < 0.05$; dic = dicéntricos

La dosis promedio para el grupo examinado de liquidadores fue de 0,16 Gy. Según los datos [16], la dosis promedio de irradiación para un grupo representativo de liquidadores de Rusia tenía el valor de 0,12 Gy. Los valores promedio de las dosis de irradiación para los liquidadores que trabajaron en Chernobyl en 1986 alcanzaron los 0,16 Gy [17].

En el periodo de 1992 a 1995 se llevó a cabo un análisis citogenético con la utilización del método FISH para 52 liquidadores que participaron en los trabajos de restauración de Chernobyl desde 1986. Los resultados de este análisis y la dosimetría biológica para dicho grupo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del examen citogenético (método FISH) y las dosis de irradiación promedió en los liquidadores

Grupos	Número de pacientes	Número de células	Translocaciones $F_G \pm m/ 100$ células	Estimación biológica de la dosis, Gy (95%)
Todos los liquidadores	52	44283	1.20 ± 0.16*	0.27 (0.05-0.50)
Liquidadores – 1986	35	27767	0.86 ± 0.13*	0.19 (0.05-0.50)
Liquidadores - 1986-1995	17	15516	1.81 ± 0.35*	0.39 (0.10-0.80)
Control	15	21953	0.47 ± 0.09	-

* diferencia significativa en comparación con el grupo de control, $p < 0.05$

La frecuencia de las translocaciones en el grupo examinado excedía en un factor 2,5 el nivel del grupo de control. 17 liquidadores examinados trabajaron en Chernobyl periódicamente de 1986 a 1995, es decir, estuvieron expuestos a una irradiación fraccional a largo plazo. La frecuencia de las translocaciones en este grupo es cuatro veces mayor que en el grupo de control y dos veces mayor que en el grupo de los liquidadores (35 pacientes) que trabajaron en Chernobyl únicamente en 1986. Esto podría deberse al hecho de que los liquidadores que participaron repetidamente en los trabajos de limpieza a lo largo de varios años recibieron una dosis total superior en comparación con los liquidadores que trabajaron en Chernobyl únicamente en 1986.

Las dosis de irradiación fueron calculadas utilizando la frecuencia de las translocaciones y una curva de calibración dosis-efecto [18]. La dosis promedio para todo el grupo examinado de los liquidadores (52 personas) fue de 0,27 Gy. Para el grupo de liquidadores que trabajaron de manera repetida en Chernobyl durante el periodo de 1986 a



1995 la dosis de irradiación alcanzaba los 0,39 Gy, y para los liquidadores que únicamente trabajaron en 1986 era de 0,19 Gy.

Debe señalarse que las dosis estimadas mediante la frecuencia de las translocaciones y los dicéntricos para los liquidadores de 1986 concuerdan muy bien y no contradicen de manera significativa los datos obtenidos con los métodos físicos de dosimetría.

Las dosis determinadas a los liquidadores mediante el análisis citogenético son equivalentes a las dosis de una irradiación única aguda, ya que fueron calculados con la ayuda de curvas de calibración determinadas para una irradiación aguda con un ritmo de dosis considerablemente elevado (0,5 Gy/min). En realidad, y como regla general, los liquidadores fueron expuestos a una irradiación fraccional a largo plazo y de baja intensidad. Por lo tanto, en algunos casos, la dosis de irradiación real podría ser mucho más elevada. Esto es especialmente aplicable a los liquidadores que vinieron a trabajar a Chernobyl varias veces o durante un periodo de tiempo bastante largo. Este hecho importante debe tenerse en cuenta cuando se analiza el estado de salud de los liquidadores.

La monitorización citogenética de los liquidadores

La Figura 1 presenta los resultados del análisis a largo plazo de la frecuencia de las aberraciones cromosómicas (concretamente, dicéntricos) en los linfocitos sanguíneos de los liquidadores que tomaron parte en los trabajos de restauración de Chernobyl en 1986. En el primer año de los exámenes la frecuencia promedio de los dicéntricos en el grupo de los liquidadores fue de 0,33 por cada 100 células, excediendo el nivel de control en un factor 16,5. En los años siguientes el valor de este parámetro disminuyó gradualmente (aproximadamente en un factor 2) en comparación con el primer año de los exámenes. Sin embargo, a lo largo de todo el periodo de los exámenes, hasta 2004, la frecuencia de los dicéntricos en los linfocitos sanguíneos de los liquidadores permaneció significativamente más elevada en comparación con los valores de control - de 0,10 a 0,14 por cada 100 células.

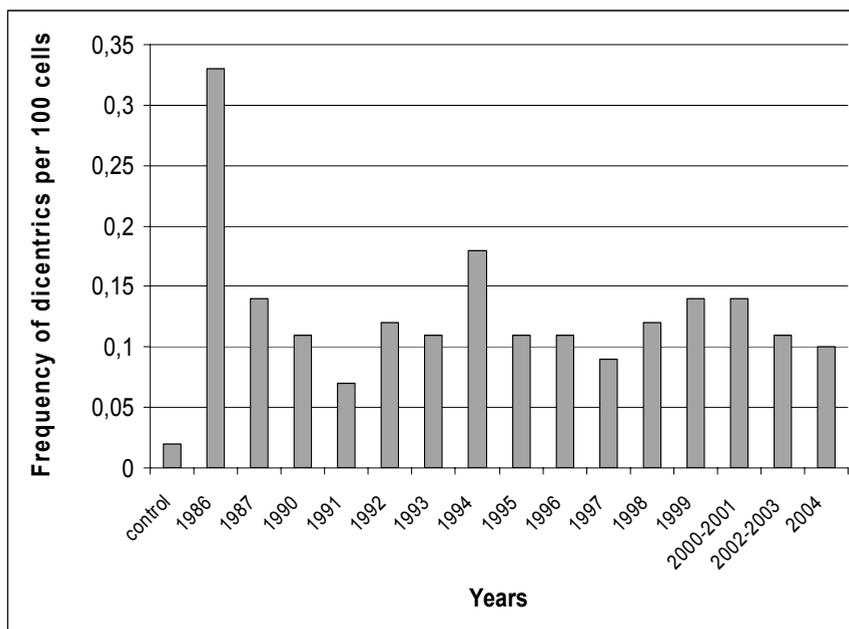


Fig.1 Frecuencia promedio de los dicéntricos en un grupo de liquidadores examinados en distintos momentos tras el accidente

El hecho de un aumento de la frecuencia de las alteraciones citogenética en los liquidadores fue confirmado por numerosas investigaciones y es actualmente incuestionable. Sin embargo, la interpretación de los resultados involucra algunas dificultades. Existe la opinión de que la desestabilización genómica es la base patogenética para el desarrollo de varias enfermedades somáticas. A pesar de la falta de evidencias directas que demuestren la influencia de un aumento de la variabilidad cromosómica en las células somáticas sobre la salud de los liquidadores, una considerable cantidad de datos recientes demuestra la contribución de las mutaciones somáticas al desarrollo de una variedad de enfermedades. Actualmente, los resultados de las investigaciones que estudian las patologías somáticas y la morbilidad general entre los liquidadores permanecen bastante contradictorios. Muchos investigadores han revelado tendencias desfavorables en la dinámica de algunos tipos de enfermedades somáticas en los liquidadores: un aumento de la incidencia de las enfermedades de los sistemas cardiovascular y osteoarticular, del sistema nervioso, de la esfera psíquica, así como alteraciones en el metabolismo y casos de inmunodeficiencia. La exterminación de la dinámica de los pacientes revela un deterioro progresivo del estado de su salud [19]. Las alteraciones funcionales se transforman con el tiempo en alteraciones orgánicas y las formas leves de una enfermedad en formas graves.

La monitorización citogenética de los liquidadores en combinación con los exámenes de su estado de salud permitirá obtener una información fidedigna sobre la correlación entre la frecuencia de las aberraciones cromosómicas y el riesgo de desarrollar enfermedades somáticas. Actualmente existen datos en diversas publicaciones [20, 21] sobre una correlación significativa entre la frecuencia de las aberraciones cromosómicas y el riesgo de carcinogénesis. Por lo tanto parece importante que durante los exámenes citogenéticos de los liquidadores se diferencien grupos con diferentes riesgos genéticos dependiendo del nivel de



las aberraciones cromosómicas en los linfocitos sanguíneos periféricos. Los pacientes con un elevado grado de riesgo genético requieren exámenes médicos constantes para poder establecer y prevenir las consecuencias negativas de la radiación.

Examen citogenético de los residentes de la región Bryansk

Entre 1992 y 1994, se llevaron a cabo exámenes citogenéticos de los residentes de la región de Bryansk que vivían en las áreas contaminadas con radionucleidos tras el accidente de la central nuclear de Chernobyl. Debe enfatizarse que, debido a las diferencias en los niveles de contaminación y en la composición de los radionucleidos de la lluvia radioactiva, así como a un amplio rango de características biogeoquímicas del territorio, el examen citogenético de la población con el propósito de evaluar la acción dañina de la radiación adquiere una importancia especial. Bajo dichas circunstancias los datos obtenidos únicamente con la ayuda de los métodos físicos de dosimetría no pueden ser utilizados para una evaluación imparcial de los impactos negativos de la irradiación.

La Tabla 3 presenta los resultados de los exámenes efectuados sobre la población de la región de Bryansk. Debido a que no se revelaron diferencias significativas en los parámetros citogenéticos entre los grupos que vivían en las zonas con estados socioeconómicos diferentes, todas las personas examinadas fueron agrupadas en un único grupo. Los resultados del análisis citogenético fueron comparados con los datos de control para poder obtener una conclusión sobre la posible acción dañina de la radiación sobre el genoma celular humano.

En el grupo de los residentes examinados de la región de Bryansk la frecuencia total de las aberraciones cromosómicas fue de 1,43 por cada 100 células. Este valor es dos veces superior al observado en el grupo de control. La radiación ionizante provoca principalmente aberraciones del tipo cromosómico, sobre todo dicéntricos, en las células de los organismos vivos. La frecuencia de los dicéntricos en el grupo examinado llegaba a 0,1 por cada 100 células y excedía en un factor 5 el valor del grupo de control. Estos datos son consistentes con los resultados de los exámenes citogenéticos de los niños y los adolescentes de la región de Kaluga que viven en los territorios contaminados por radionucleidos [10].

Tabla 3. Los resultados de los exámenes citogenéticos (método clásico) de la población de la región de Bryansk

	Número de pacientes	Número de células	ab ± m/ 100 células	(dic+ Rc) ± m/ 100 células	ace ± m/ 100 células	chr ± m/ 100 células
Región de Bryansk	80	21027	1.43 ± 0.08*	0.10 ± 0.02*	0.36 ± 0.04	0.93 ± 0.07
Control	114	51430	0.66 ± 0.04	0.02 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.41 ± 0.03

*diferencia significativa en comparación con control, $p < 0.05$

ab – número total de aberraciones; dic – dicéntricos; R_c - anillos céntricos; ace – fragmentos acéntricos; chr – aberraciones del tipo cromatida.

Un aumento del nivel de los dicéntricos - indicativo del daño por radiación - en las personas de los territorios contaminados sugiere una influencia mutagénica constante de los factores de radiación sobre el organismo humano.

También debe señalarse que el nivel de las aberraciones de tipo cromatida en el grupo examinado es dos veces mayor que el valor observado en el grupo de control. Las aberraciones cromosómicas de este tipo se producen por la acción de los mutágenos predominantemente en las fases S- y G₂- del ciclo celular, que es característico de la inmensa mayoría de los agentes químicos y los virus [22]. El aumento del nivel de las aberraciones de tipo cromatida podría deberse a una contaminación medioambiental química como resultado del accidente o como resultado de la aplicación intensiva de pesticidas y fertilizantes químicos. No se puede descartar la influencia sobre la genética celular de la irradiación constante a largo plazo y de baja intensidad de los radionucleidos que penetran en el organismo humano provenientes del medio ambiente en forma de alimentos.

Conclusión

A continuación presentamos las conclusiones principales de los resultados de la monitorización a largo plazo de los efectos citogenéticos en los liquidadores de Chernobyl y en las personas de los territorios contaminados:

- El análisis de las aberraciones cromosómicas en los linfocitos sanguíneos es una de las tareas más importantes y necesarias para examinar las víctimas del accidente de Chernobyl.
- Los resultados del análisis citogenético (método clásico y FISH) pueden ser utilizados exitosamente para evaluar de manera cuantitativa los efectos de la radiación sobre el organismo humano. Las dosis calculadas en base a los exámenes citogenéticos tienen en cuenta factores tan importantes como la radiosensibilidad individual y el estado de salud en el momento de la de irradiación. Es por ello que la información obtenida permite una predicción más exacta de las consecuencias desfavorables de la irradiación, incluyendo la estimación del riesgo genético.
- El análisis de la morbilidad en los grupos de personas irradiados examinados con los métodos citogenéticos ayudan a determinar la correlación entre la frecuencia de las aberraciones cromosómicas en las células somáticas y el riesgo de desarrollar procesos patológicos. Esto será útil para determinar criterios claros para la detección temprana de los cambios negativos del estado de salud de las personas expuestas.

Los autores quieren expresar su sincero agradecimiento a los trabajadores científicos del Laboratorio Citogenético del RSC RR N.N.Novitskaya, E.D.Khazins y A.N.Bogomazova por su asistencia técnica en la preparación de esta publicación.



Referencias

1. United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations sales publication. No.E.00.IX.4. New York. 2000.
2. Snigiryova G.P., Lyubchenko P.N., Shevchenko V.A. et al. // Hematol. and Transfusiol. 1994. V.39. N 3. P.19-21. (in Russ.)
3. Kholodova N.B., Zubovsky G.A., Snigiryova G.P. IIIrd scientific-practical regional conference on "The Condition of Health of the Liquidators of the Accident at the Chernobyl NPP at a Distant Period". Moscow. 2004. P.176. (in Russ.)
4. Retrospective dosimetry of liquidators of the Consequences of the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant. By ed.: Kruchkov V.P. and Nosovskii A.V., Kiev, 1996, P.256. (in Russ.)
5. Maznik N.A., Vinnikov V.A., Toyplaya V.A. et al. Proceedings of International Conference "Emergency Situations: Notification and Liquidation of Consequences", Kharkov, 2000, P.200-205. (in Russ.)
6. Pilinskaya M.A., Shemetun A.M., Bondar' A.Yu., Dyibskii S.S. // Vestnik AMS SSSR. 1991. N 8. P.40-45. (in Russ.)
7. Pilinskaya M.A., Shemetun A.M., Bondar' A.Yu., Dyibskii S.S. // Cytol. And Genetics. 1996. N 2. P.17-25. (in Russ.)
8. Sevan'kaev A.V. // Rdaiat. Biology. Radioekology. 2001. V.40. N5. P.589-595 (in Russ.)
9. Bogomazova A.N. The study of stable and unstable chromosome aberrations in people exposed as a results of the Chernobyl accident in late term after irradiation. Master's thesis. S.-Petersburg. 2000. (in Russ.)
10. Sevan'kaev A.V., Mikhailova G.F., Potetnya O.I. // Radiat. Biology. Radioecology. 2005. V.45. N 1. P.5-15.
11. Pilinskaya M.A., Shemetun A.M., Dyibskii S.S. et al. // Cytol. and Genetics. 1994. N3. P.27-32. (in Russ.)
12. Sevan'kaev A.V., Lloyd D.C., Edwards A.A. and Moiseenko V.V. // Radiation Protection Dosimetry. 1995. V.59. N2. P.85-91. (in Russ.)
13. Vorobtsova I.E., Mikhel'son V.M., Vorob'eva M.V. et al. // Radiat. Biology. Radioecology. 1994. V.34. N6. P.798-803. (in Russ.)
14. Moor D.H., Tucker J.D., Jones I.M. et al. // Radiation Research. 1997. V.148. P.463-475.
15. Snigiryova G.P., Bogomazova A.N., Novitskaya N.N. et al. // Proc. Intern. Conference "Genetic Consequences of Emergency Radiation Situations". Moscow: RUDN. 2002. P. 313 - 328.
16. Waison A.A., Zhakov I.G., Knizhnikov V.A. et al.// Med. Radiology. 1990. N10. P. 21-28. (in Russ.)
17. Liberman A.N. Radiation and reproductive health. S.- Petersburg: 2003. 225 p. (in Russ.)
18. Bauchinger M., Schmid E., Zitzelsberger H. et al. // Int. J. Radiat. Biol. 1993. V. 64. P. 179-184.
19. Kharchenko V.P., Kholodova N.B., Snigiryova G.P. // Medical Anthropology. Minsk: 2004. P.213-214. (in Russ.)
20. Bonassi S., Znaor A., Norppa H., Hagmar L. // Cytogenet. Genome Res. 2004. V. 104. P.376-382.
21. Rossner P., Boffetts P., Ceppi M. et al. // Environ. Health Perspectives. 2005. V.113. N5. P.517-520.
22. Natarajan T., Boei J., Darroudi F. et al // Environ. Health Perspectives. 1996. V.104. N 3. P. 445-448.

Los Efectos de la Radiación sobre los Seres Humanos tras una Exposición *in utero*: Conclusiones de lo Observado tras el Accidente de Chernobyl

Título breve: Efectos Teratogénicos tras Chernobyl
Inge Schmitz-Feuerhake*

Departamento de Físicas, Universidad de Bremen, Alemania

Traducción Iñigo García

Abstract. Se asume una dosis umbral de 100 mSv para los efectos teratogénicos provocados por la radiación en la publicación n° 90 de la ICRP (2003), que se basa en los resultados de los estudios de los supervivientes de la bomba atómica japonesa. Varias observaciones sobre las malformaciones congénitas, pérdidas fetales, nacimientos sin vida, y muertes infantiles, así como el síndrome de Down tras el accidente de Chernobyl dejan manifiestamente claro lo incompleto y lo inadecuado de los datos japoneses en estas áreas. Los efectos sobre el desarrollo provocados por la radiación en Chernobyl, especialmente a grandes distancias, son generalmente descartados debido a los bajos niveles de exposición estimada para los seres humanos. La dosimetría biológica en las regiones contaminadas, sin embargo, muestra que las estimaciones físicas de la dosis son considerablemente inferiores a la dosis real de exposición. Las suposiciones sobre los efectos teratogénicos provocados por los radionucleidos incorporados deben ser revisadas.

Introducción

La evaluación de los riesgos de radiación por los comités internacionales de protección de la radiación está basada en los resultados obtenidos de los estudios de los supervivientes de la bomba atómica japonesa. Los efectos observados en estos estudios tras la exposición prenatal fueron retraso mental y una disminución del tamaño de la cabeza, sin detectar ningún otro tipo de detrimento para la salud. Se cree que el periodo comprendido entre la octava y la decimoquinta semana de gestación es el de mayor riesgo.

Como ya ha sido señalado por diferentes investigadores, los datos japoneses sufren, sin embargo, de diversas restricciones que limitan su utilización como base general para deducir los riesgos de radiación. Un punto es la probable y demostrada grave parcialidad de selección debida a la catastrófica situación tras el bombardeo. Otra objeción que debe señalarse, especialmente considerando los efectos perinatales, es el hecho de que las investigaciones de la Fundación de Investigación sobre los Efectos de la Radiación (RERF) en Hiroshima no comenzaron hasta cinco años después de la catástrofe cuando el instituto de investigación del RERF fue establecido allí. Es por ello que debemos cuestionar que los datos sean realmente completos.

La reducida selección de los efectos asumidos y la evaluación de una dosis umbral tan elevada como 100 mSv por la ICRP contradicen resultados anteriores de investigaciones experimentales (Tabla 1) y diversas observaciones en seres humanos anteriores al accidente de Chernobyl. Las Tablas 2-5 muestran los resultados de estudios en las regiones afectadas por la lluvia radioactiva por dicho accidente.



Tabla I: Mínima dosis inferior a 100 mSv con la que se observó un efecto significativo tras una exposición de rayos X. *in utero* en estudios experimentales (datos tomados de Fritz-Niggli, 1997)

	Dosis mSv	Días tras la concepción	Efectos	Referencias
Ratones	10	8	Defectos del desarrollo acumulados	Michel, Fritz-Niggli 1977
	50	0.5	Muerte del embrión	Rugh, Grupp 1959 Ohzu 1965
	50	0.5; 1.5	Muerte del embrión, polidactilia	
	50	7.5	Muerte del embrión, malformaciones del esqueleto	Jacobsen 1966
Ratas	10	18	Distorsiones de los reflejos	UNSCEAR 1986
	50	0.4; 0.7	Muerte fetal	Roux et al. 1983

Tabla 2: Aumento observado de las malformaciones congénitas *in utero* tras la exposición por del accidente de Chernobyl

País	Efectos	Referencias
Registró Nacional de Monitorización Genética de Bielorrusia	Anencefalia, espina bifida, labio leporino y/o paladar hendido, polidactilia, defectos de falta de miembros, atresia esofágica, atresia anorectal, malformaciones múltiples	Lazjuk et al. 1997
Bielorrusia Regiones de Gomel con una alta exposición Distrito Chechersky de la región de Gomel Región de Mogilev Región de Brest	Malformaciones congénitas Malformaciones congénitas Malformaciones congénitas Malformaciones congénitas	Bogdanovich 1997; Savchenko 1995 Kulakov et al. 1993 Petrova et al. 1997 Shidlovskii 1992
Ucrania Distrito Polesky de la región de Kiev Región de Lygyny	Malformaciones congénitas	Kulakov et al. 1993 Godlevsky, Nasvit 1998
Turquía	Anencefalia, espina bifida	Akar et al. 1988/89; Caglayan et al. 1990; Güvenc et al. 1993; Mocan et al. 1990
Croacia	Malformaciones observadas en autopsias de niños nacidos sin vida y casos de muerte temprana	Kruslin et al. 1998
Alemania República Democrática Alemana, Registro central Bavaria Informe Anual De Salud De Berlín Occidental 1987 Ciudad de Jena (Registro de malformaciones congénitas)	Labio leporino y/o paladar hendido Labio leporino y/o paladar hendido Malformaciones congénitas Malformaciones en nacimientos sin vida Malformaciones aisladas	Zieglowski, Hemprich 1999 Scherb, Weigelt 2004 Korblein 2003a, 2004; Scherb, Weigelt 2003 Strahlentelex 1989 Lotz et al. 1996



Tabla 3: Aumento observado de nacimientos sin vida, muertes infantiles, abortos espontáneos y un bajo peso al nacer tras una exposición in utero debida al accidente de Chernobyl

País	Efectos	Referencias
Bielorrusia Regiones seleccionadas Distrito Chechersky cerca de Gomel Región de Gomel	Muertes perinatales*) Muertes perinatales Muertes perinatales	Petrova et al. 1997 Kulakov et al. 1993 Korblein 2003a,b
Ucrania Distrito Polessky cerca de Kiev Región de Lygny Oblast de Zhitomir, región de Kiev, Ciudad de Kiev	Muertes perinatales, disminución de la tasa de nacimientos**), nacimientos prematuros Muertes neonatales tempranas Muertes perinatales, disminución de la tasa de nacimientos	Kulakov et al. 1993 Godlevsky, Nasvit 1998 Korblein 2003a,b
Europa: Grecia, Ucrania, Polonia, Suecia Polonia Noruega Hungria Finlandia	Nacimientos sin vida Mortalidad infantil Abortos espontáneos Bajo peso al nacer Nacimiento prematuros entre niños con malformaciones Disminución de la tasa de nacimientos Nacimientos sin vida	Scherb et al. 1999b, 2000b, 2003 Korblein 2003a Ulstein et al. 1990 Czeisel 1988 Harjulehto et al. 1989 Harjulehto et al. 1991 Scherb, Weigelt 2003
Alemania Total (RFA + RDA) Sur de Alemania Bavaria	Muertes perinatales Muertes neonatales tempranas Muertes perinatales, nacimientos sin vida Disminución de la tasa de nacimientos	Korblein, Kuchenhoff 1997; Scherb et al. 2000a,2003 Lüning et al. 1989 Grosche et al. 1997; Scherb et al. 1999a, 2000a, 2003 Korblein 2003a

*) "Muertes perinatales" agrupa los nacimientos sin vida y las muertes en los primeros siete días tras el nacimiento

**) La disminución de la tasa de nacimientos se considera como una medida de los abortos espontáneos

Tabla 4: Aumento del síndrome de Down tras una exposición *in utero* por el accidente de Chernobyl

Región	Resultados	Referencias
Bielorrusia National Genetic Monitoring Registry	Exceso en 1987-1994 del 17 %	Lazjuk et al. 1997
Europa occidental	Comenzando un año después del accidente, y alcanzando el 22% en los tres primeros años.	Dolk et al. 1999
Suecia	“Ligero” exceso en la mayoría de las áreas expuestas (30 %)	Ericson, Kallen 1994
Escocia, región de Lothian (0.74 millones de habitantes)	Pico máximo en 1987 (factor 2 significativo)	Ramsay et al. 1991
Sur de Alemania	Investigaciones del fluido amniótico	Sperling et al. 1991
Berlín Occidental	Rápido aumento después de nueve meses	Sperling et al. 1991, 1994

Tabla 5: Defectos de salud observados en niños tras una exposición *in utero* debida al accidente de Chernobyl excepto malformaciones y síndrome de Down

Bielorrusia Regiones seleccionadas	Enfermedades mentales, afecciones del habla-lenguaje, retraso mental	Kondrashenko et al. 1996 Kolominsky et al. 1999
Distrito Chechersky cerca de Gomel	Enfermedades de los órganos respiratorios, de la sangre, circulación, etc.	Kulakov et al. 1993
Distrito Stolin en la región de Brest	Enfermedades de los órganos respiratorios, glándulas, sangre, circulación, órganos digestivos	Sychik, Stozharov 1999a,b
Bielorrusia, Ucrania, Rusia	Retraso mental y otras enfermedades mentales	Kozlova et al. 1999
Ucrania Distrito Polesky cerca de Kiev	Enfermedades de los órganos respiratorios, de la sangre, circulación, etc.	Kulakov et al. 1993
Provincia de Rovno	Morbilidad infantil	Ponomarenko et al. 1993
Inmigrantes a Israel provenientes de áreas contaminadas	Asma	Kordysh et al. 1995



Estimaciones de la exposición por el accidente de Chernobyl

A pesar de la gran cantidad de evidencias de los efectos observados incluso en países muy lejos del suceso de Chernobyl, éstos han sido ignorados por los comités internacionales de protección de radiación. Suponen que las exposiciones a la población son demasiado bajas para generar efectos teratogénicos. En efecto, las estimaciones físicas de la dosis dan como resultado en promedio exposiciones efectivas a lo largo de una vida inferiores a 1,2 mSv en amplias regiones de Europa y Turquía (UNSCEAR 1988). La dosis promedio más elevada para una sub-región en el primer año tras el accidente es de 2 mSv en Bielorrusia.

Estas estimaciones muestran, sin embargo, grandes discrepancias en comparación con la dosimetría biológica. Las investigaciones sobre las aberraciones cromosómicas inestables y estables en los linfocitos de las personas de las regiones contaminadas han sido llevadas a cabo por una diversidad de grupos de investigación sobre colectivos bastante grandes, directamente tras el accidente o algunos años después. Los cromosomas dicéntricos pueden considerarse como específicos de la radiación y son muy sensibles debido a su incidencia muy baja y prácticamente constante en los individuos no expuestos (Hoffmann and Schmitz-Feuerhake, 1999).

Generalmente se encuentra que la incidencia de los cromosomas dicéntricos observada tras Chernobyl es considerablemente más elevada - en 1 o 2 órdenes de magnitud - de lo que sería de esperar según las estimaciones de la dosis derivadas por métodos físicos. Esta evaluación es posible aunque las relaciones dosis-efecto en casos de la radiactividad incorporada se desconozcan. Para una exposición homogénea de baja dosis de una irradiación LET, la tasa de dicéntricos puede considerarse proporcional a la dosis, según los estudios efectuados en el rango de la exposición de fondo. En los países europeos, lejos de la localización de Chernobyl, la exposición de los tejidos, excepto el caso de la tiroides, se supone que esta generada principalmente por el ^{137}Cs y el ^{134}Cs que se distribuyen homogéneamente dentro del cuerpo humano. La dosis de duplicación de todo el cuerpo para los dicéntricos por la radiación homogénea baja LET es de unos 10 mSv (Hoffmann and Schmitz-Feuerhake, 1999). Un aumento de los dicéntricos mayor de un factor 2 en personas querría decir por lo tanto que la dosis total del cuerpo excede los 10 mSv. Estos aumentos han sido observados muchas veces tras Chernobyl. En la Tabla 6 se muestran los resultados de los estudios llevados a cabo en Austria, Alemania y Noruega.

Un resultado interesante en muchos de los estudios cromosómicos es que encuentran una sobre-dispersión de los dicéntricos y la incidencia de células multi-aberrantes (Bochkov and Katosova 1994; Hille et al. 1995; Salomaa et al. 1997; Scheid et al. 1993, Sevan`kaev et al. 1993; Stephan and Oestreicher 1989; Verschaeve et al. 1993). Esto es una indicación de una contribución relevante de una α -actividad incorporada que no se considera de manera adecuada en las estimaciones físicas de la dosis.

Tabla 6: Aberraciones cromosómicas en los linfocitos de individuos de regiones de Europa Occidental contaminadas por las emisiones de Chernobyl; dics = dicéntricos; cr = anillos céntricos

^a aumento promedio

Región	Muestra	Fecha del estudio	Método	^a Resultados	Referencia	Comentarios
Salzburg Austria	17 adultos	1987	dics+cr	Factor 4	Pohl-Rüling et al. 1991	
Alemania regiones del sur	29 niños + adultos	1987-1991	dics+cr	Factor 2.6	Stephan, Oestreicher 1993	Estimación física de la dosis <0.5mSv
Noruega: regiones seleccionadas	44 Lapones de renos, 12 granjeros de ovejas	1991	dics+cr	Factor 10	Brogger et al. 1996	Estimación física de la dosis 5.5 mSv

Conclusiones

Los datos de las tablas 2-6 muestran que ni la exposición a las poblaciones afectadas por el accidente de Chernobyl ni sus efectos han sido evaluados correctamente hasta el momento. Debe mencionarse, sin embargo, que algunos de los autores interpretaron sus resultados somáticos con una explicación genética. En los casos de una exposición continua a radiactividad, es verdad que nunca se puede saber con seguridad si el daño se produjo *in utero* o por una mutación pre-concepción. Las muertes intrauterinas y las muertes infantiles, así como las malformaciones, también pueden ser provocadas por la irradiación a las células germinales de los padres o las madres. Rugh (1962) ya ha afirmado que la aparición de ciertas malformaciones del cerebro son bastante parecidas en el caso de la irradiación pre-concepción y la irradiación *in utero*.

Los estudios de los supervivientes de la bomba atómica no mostraron efectos genéticos significativos. Las investigaciones de los descendientes de una gran cohorte de los trabajadores de Sellafield, sin embargo, que fueron llevadas a cabo después de descubrirse un exceso de casos de leucemia en la proximidad de esta planta de reprocesamiento nuclear británica, confirman un aumento de los nacimientos sin vida y las anomalías congénitas provocadas por una exposición pre-concepción de los padres (Parker et al. 1999). Los estudios mencionados sobre Chernobyl podrían por lo tanto incluir en parte algunos efectos trans-generacionales y teratogénicos. Aunque esta conclusión exige más trabajos científicos para diferenciar estos efectos, se debe considerar al feto tan vulnerable a las exposiciones de baja dosis como se supuso en los primeros momentos de la investigación en materia de radiación.



Referencias

- Akar, N., Cavdar, A.O., and Arcasoy, A., 1988, High incidence of Neural Tube defects in Bursa, Turkey, *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* **2**:89-92.
- Akar, N., Ata, Y., and Aytakin, A.F., 1989, Neural Tube defects and Chernobyl? *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* **3**:102-103.
- Bochkov, N.P., and Katosova, L.D., 1994, Analysis of multiaberrant cells in lymphocytes of persons living in different ecological regions, *Mutat. Res.* **323**:7-10.
- Bogdanovich, I.P., 1997, Comparative analysis of the death rate of children, aged 0-5, in 1994 in radiocontaminated and conventionally clean areas of Belarus, in: *Medicobiological effects and the ways of overcoming the Chernobyl accident consequence*, Collected book of scientific papers dedicated to the 10th anniversary of the Chernobyl accident, Minsk-Vitebsk, p. 4.
- Brogger, A., Reitan, J.B., Strand, P., and Amundsen, I., 1996, Chromosome analysis of peripheral lymphocytes from persons exposed to radioactive fallout in Norway, *Mutat. Res.* **361**:73-79.
- Caglayan, S. Kayhan, B., Menteshoglu, S., and Aksit, S., 1990, Changing incidence of neural tube defects in Aegean Turkey, *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* **4**:264-268.
- Czeisel, A.E.; and Billege, B., 1988, Teratological evaluation of Hungarian pregnancy outcomes after the accident in the nuclear power station of Chernobyl, *Orvosi Hetilap* **129**:457-462 (Hungarian).
- Dolk, H., Nichols, R., and a EUROCAT Working Group, 1999, Evaluation of the impact of Chernobyl on the prevalence of congenital anomalies in 17 regions of Europe, *Int. J. Epidemiol.* **28**:941-948.
- Ericson, A., and Kallen, B., 1994, Pregnancy outcome in Sweden after Chernobyl, *Environ. Res.* **67**:149-159.
- Fritz-Niggli, H., 1997, *Strahlengefährdung/Strahlenschutz*, 4th ed., Hans Huber, Bern, Switzerland.
- Godlevsky, I., and Nasvit, O., 1998, Dynamics of health status of residents in the Lugnyny district after the accident of the ChNPS, in: *Research activities about the radiological consequences of the Chernobyl NPS accident and social activities to assist the sufferers by the accident*, T. Imanaka, ed., Research Reactor Institute, Kyoto University, KURRI-KR-21, pp.149-156.
- Grosche, B., Irl, C., Schoetzau, A., and van Santen, E., 1997, Perinatal mortality in Bavaria, Germany, after the Chernobyl reactor accident, *Rad. Environ. Biophys.* **36**:129-136.
- Güvenc, H., Uslu, M.A., Güvenc, M., Ozkici, U., Kocabay, K., and Bektas, S., 1993, Changing trend of neural tube defects in Eastern Turkey, *J. Epidemiol. Community Health* **47**:40-41.
- Harjulehto, T., Aro, T., Rita, H., Rytomaa, T., and Saxen, L., 1989, The accident at Chernobyl and outcome of pregnancy in Finland, *Brit. Med. J.* **298**:995-997.
- Harjulehto, T., Rahola, T., Suomela, M., Arvela, H., and Saxén, L., 1991, Pregnancy outcome in Finland after the Chernobyl accident. *Biomed & Pharmacother* **45**:263-266.
- Hille, R., Wolf, U., Fender, H., Arndt, D., and Antipkin, J., 1995, Cytogenetic examination of children in Ukraine, In *Radiation Research 1895-1995. Proceed. 10th Int. Congr. Radiation Res. Würzburg*, U. Hagen et al., ed., Germany.
- Hoffmann, W., and Schmitz-Feuerhake, I., 1999, How radiation-specific is the dicentric assay? *J. Exp. Analysis Environ. Epidemiol.* **2**:113-133.
- Jacobson, L., 1966, Radiation-induced effects in mouse fetuses, *Acta radiol.* **254**:82
- Kolominsky, Y., Igumnov, S., and Drozdovitch, V., 1999, The psychological development of children from Belarus exposed in the prenatal period to radiation from the Chernobyl atomic power plant, *J. Child. Psychol. Psychiatry* **40**:299-305.
- Kondrashenko, V.G. et al., 1996, Mental disorders caused by Chernobyl, in: *Report on the 3rd Int. Congress "World after Chernobyl"*, Minsk, 1996, cited in Nesterenko, V.B., *Chernobyl Accident. Radiation Protection of Populatio*, Republic of Belarus Institute of Radiation Safety "Belrad", Minsk 1998.
- Körblein, A., and Kuchenhoff, H., 1997, Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident, *Rad. Environ. Biophys.* **36**:3-7.
- Körblein, A., Säuglingssterblichkeit nach Tschernobyl, 2003a, *Berichte Otto Hug Strahleninstitut* **24**:6-34.
- Körblein, A., 2003b, Strontium fallout from Chernobyl and perinatal mortality in Ukraine and Belarus, *Radiats. Biol. Radioecol.* **43**:197-202.
- Körblein, A., 2004, Fehlbildungen in Bayern nach Tschernobyl, *Strahlentelex No.* **416-417**:4-6.

- Kordysh, E.A., Goldsmith, J.R., Quastel, M.R., Poljak, S., Merkin, L., Cohen, R., and Gorodischer, R., 1995, Health effects in a casual sample of immigrants to Israel from areas contaminated by the Chernobyl explosion, *Environ. Health Persp.* **103**:936-941.
- Kozlova, I.A., Niagu, A.I., and Korelev, V.D., 1999, The influence of radiation to the child mental development, *Zh. Nevrol. Psikiatr. Im. SS Korsakova* **99**:12-16 (Russ.).
- Kruslin, B., Jukic, S., Kos, M., Simic, G., and Cviko, A., 1998, Congenital anomalies of the central nervous system at autopsy in Croatia in the period before and after Chernobyl, *Acta Med. Croatica* **52**:103-107.
- Kulakov, V.I., Sokur, T.N., Volobuev, A.I., Tzibulskaya, I.S., Malisheva, V.A., Zikin, B.I., Ezova, L.C., Belyaeva, L.A., Bonartzev, P.D., Speranskaya, N.V., Tchesnokova, J.M., Matveeva, N.K., Kaliznuk, E.S., Miturova, L.B., and Orlova, N.S., 1993, Female reproduction function in areas affected by radiation after the Chernobyl power station accident, *Environ Health Persp.* **101, Suppl. 2**:117-123.
- Lazjuk, G.I., Nikolaev, D.L., and Novikova, I.V., 1997, Changes in registered congenital anomalies in the Republic of Belarus after the Chernobyl accident, *Stem Cells* **15, Suppl. 2**:255-260.
- Lotz, B., Haerting, J., and Schulze, E., 1996, Veränderungen im fetalen und kindlichen Sektionsgut im Raum Jena nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl, Oral presentation at the International Conference of the Society for Medical Documentation, Statistics, and Epidemiology, Bonn, Germany (available on request).
- Lüning, G., Scheer, J., Schmidt, M., and Ziggel, H., 1989, Early infant mortality in West Germany before and after Chernobyl, *Lancet II*:1081-1083.
- Michel, C., Fritz-Niggli, H., 1977, Radiation damage in mouse embryos exposed to 1 rad X-rays or negative pions, *Fortschritte Röntgenstrahlen* **127**:276-280.
- Mocan, H., Bozkaya, H., Mocan, Z.M., Furtun, E.M., 1990, Changing incidence of anencephaly in the eastern Black Sea region of Turkey and Chernobyl, *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* **4**:264-268.
- Moumdjiev, N., Nedkova, V., Christova, V., Kostova, Sv., 1992, Influence of the Chernobyl reactor accident on the child health in the region of Pleven, Bulgaria, in: *20th Int. Congr. Pediatrics Sept. 6-10, 1992 in Brasil*, p.57. Cited by Akar, N., Further notes on neural tube defects and Chernobyl (Letter), *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* **8**, 1994, 456-457.
- Ohzu, E., 1965, Effects of low-dose X-irradiation on early mouse embryos, *Radiat. Res.* **26**:107.
- Parker, L., Pearce, M.S., Dickinson, H.O., Atkin, M., Craft, A.W., 1999, Stillbirths among offspring of male radiation workers at Sellafield nuclear processing plant, *Lancet* **354**: 1407-1414
- Petrova, A., Gnedko, T., Maistrova, I., Zafranskaya, M., Dainiak, N., 1997, Morbidity in a large cohort study of children born to mothers exposed to radiation from Chernobyl. *Stem Cells* **16**, Suppl. 2: 141-150
- Pohl-Rüling, J., Haas, O., Brogger, A., Obe, G., Lettner, H., Daschil, F., Atzmüller, C., Lloyd, D., Kubiak, R., and Natarajan, A.T., 1991, The effect on lymphocyte chromosomes of additional burden due to fallout in Salzburg (Austria) from the Chernobyl accident, *Mutat. Res.* **262**:209-217.
- Ponomarenko, V.M., Nagornaia, A.M., Proklina, T.L., Litvinova, L.A., Stepanenko, A.V., Sytenko, E.R., and Osnach, A.V., 1993, The morbidity in preschool children living on the territory of Rovno Province subjected to radioactive contamination as a result of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station, *Lik Sprava.* **2-3**:36-38 (Russ.).
- Ramsay, C.N., Ellis, P.M., and Zealley, H., 1991, Down's syndrome in the Lothian region of Scotland – 1978 to 1989, *Biomed. Pharmacother.* **45**:267-272.
- Roux, C., Horvath, C., and Dupuis, R., 1983, Effects of pre-implantation low-dose radiation on rat embryos, *Health Phys.* **45**:993-994.
- Rugh, R., and Grupp, E., 1959, X-irradiation exencephaly, *Am. J. Roentgenol. Radium Ther. Nucl. Med.* **81**:1026-1052.
- Rugh, R., 1962, Major radiobiological concepts and effects of ionizing radiations on the embryo and fetus, in Haley, T.J. and Snider, R.S., ed., *Response of the nervous system to ionizing radiation*, Academic press, New York, London, p. 3-26



- Salomaa, S., Sevan'kaev, A.V., Zhloba, A.A., Kumpusalo, E., Mäkinen, S., Lindholm, C., Kumpusalo, L., Kolmakow, S., and Nissinen, N., 1997, Unstable and stable chromosomal aberrations in lymphocytes of people exposed to Chernobyl fallout in Bryansk, Russia, *Int. J. Radiat. Biol.* **71**:51-59.
- Savchenko, V.K., 1995, The Ecology of the Chernobyl Catastrophe. Scientific outlines of an international programme of collaborative research. *Man and the Biosphere Series Vol. 17*, UNESCO Paris, p.83.
- Scheid, W., Weber, J., Petrenko, S., and Traut, H., 1993, Chromosome aberrations in human lymphocytes apparently induced by Chernobyl fallout, *Health Phys.* **64**:531-534.
- Scherb, H., and Weigelt, E., 1999a, Spatial-temporal logistic regression of the cesium contamination and the time trends in annual stillbirth proportions on a district level in Bavaria, 1980-1993, in: *Proceedings of the 14th international workshop on statistical modelling*, H. Friedl et al., ed., Technical University Graz, Graz, Austria, pp.647-650.
- Scherb, H., Weigelt, E., and Brüske-Hohfeld, I., 1999b, European stillbirth proportions before and after the Chernobyl accident, *Int. J. Epidemiol.* **28**:932-940.
- Scherb, H., Weigelt, E., Brüske-Hohfeld, I., 2000a, Regression analysis of time trends in perinatal mortality in Germany, *Environ. Health Persp.* **108**:159-165.
- Scherb, H., Weigelt, E., 2000b, Spatial-temporal change-point regression models for European stillbirth data, in: *30th Ann. Meeting Europ. Soc. Radiat. Biol.*, Warszawa, Poland, August 27-31, Abstracts, p.14. <http://www.tschernobylhilfe.ffb.org/dokumente/warschau.pdf>
- Scherb, H., and Weigelt, E., 2003, Congenital malformation and stillbirth in Germany and Europe before and after the Chernobyl nuclear power plant accident, *Environ. Sci.& Pollut.Res.* **10 Special (1)**:117-125.
- Scherb, H., and Weigelt, E., 2004, Cleft lip and cleft palate birth rate in Bavaria before and after the Chernobyl nuclear power plant accident, *Mund Kiefer Gesichtschir.* **8**:106-110 (in German).
- Sevan'kaev, A.V., Tsyb, A.F., Lloyd, D.C., Zhloba, A.A., Moiseenko, V.V., Skrjabin, A.M., and Klimov, V.M., 1993, 'Rogue' cells observed in children exposed to radiation from the Chernobyl accident, *Int. J. Radiat. Biol.* **63**:361-367.
- Shidlovskii, P.R., 1992, General morbidity of the population in districts of the Brest region. *Zdravoohranenie Belorussii (Minsk)* **1**:8-11 (Russ.).
- Sperling, K., Pelz, J., Wegner, R.-D., Schulzke, I., and Struck, E., 1991, Frequency of trisomy 21 in Germany before and after the Chernobyl accident, *Biomed. Pharmacother.* **45**:255-262.
- Sperling, K., Pelz, J., Wegner, R.-D., Dörries, A., Grüters, A., and Mikkelsen, M., 1994, Significant increase in trisomy 21 in Berlin nine months after the Chernobyl reactor accident: temporal correlation or causal relation? *Brit. Med. J.* **309**:158-162
- Stephan, G., and Oestreicher, U., 1989, An increased frequency of structural chromosome aberrations in persons present in the vicinity of Chernobyl during and after the reactor accident. Is this effect caused by radiation exposure? *Mutat. Res.* **223**:7-12.
- Stephan, G., and Oestreicher, U., 1993, Chromosome investigation of individuals living in areas of Southern Germany contaminated by fallout from the Chernobyl reactor accident, *Mutat. Res.* **319**:189-196.
- Strahlentelex 55, 1989, Säuglinge starben vermehrt oder wurden tot geboren, Berlin, Germany, p. 6.
- Sychik, S.I., and Stozharov, A.N., 1999, Analysis of morbidity of children irradiated in utero as a result of Chernobyl accident, *Zdravoohranenie Belorussii (Minsk)* **6**:20-22 (Russ.).
- Sychik, S.I., and Stozharov, A.N., 1999, Estimation of the influence of prenatal irradiation on functional state of critical organs and systems in children at distant terms following the Chernobyl accident. *Radiats. Biol. Radioecol.* **39**:500-504 (Russ.).
- Ulstein, M., Jensen, T.S., Irgens, L.M., Lie, R.T., and Sivertsen, E., 1990, Outcome of pregnancy in one Norwegian county 3 years prior to and 3 years subsequent to the Chernobyl accident, *Acta Obstet. Gynecol. Scand.* **6**:277-280.
- UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1986, Genetic and Somatic Effects of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, New York 1986.

- UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, Report to the General Assembly, New York 1988.
- Vershaeve, L., Domracheva, E.V., Kuznetsov, S.A., and Nechai, V.V., 1993, Chromosome aberrations in inhabitants of Byelorussia: consequence of the Chernobyl accident, *Mutat. Res.* **287**:253-259.
- Zieglowski, V., and Hemprich, A., 1999, Facial cleft birth rate in former East Germany before and after the reactor accident in Chernobyl, *Mund Kiefer Gesichtschir.* **3**:195-199 (in German).



Reflexiones sobre la catástrofe de Chernobyl en el mundo vegetal: Aspectos biológicos específicos y generales

D. M. Grodzinsky

Academia Nacional de Ciencias de Ucrania

Traducción de: Victoria Nieto García (Facultad de Traducción y Documentación, Universidad de Salamanca)

Durante las dos últimas décadas nos hemos ido percatando del efecto a largo plazo de la radiactividad ambiental que el accidente acontecido en la Central Nuclear de Chernobyl tuvo como consecuencia. El interés por cómo reaccionan las plantas a la irradiación crónica en dosis bajas se ha acelerado con el tiempo debido a la inquietud que ha despertado una posible degradación de la biota en las zonas contaminadas por radionucleidos.

Por otro lado, al examinar los procesos radiobiológicos que la irradiación crónica ha ocasionado en las plantas, se deberían esclarecer cuáles son los efectos tardíos más habituales de la irradiación. Tenemos presente que estos efectos tardíos que se manifiestan en las plantas no están vinculados con la “radiofobia”, como se conoce este fenómeno, ya que existe una tendencia a atribuir la causa de los daños que se han observado tras la catástrofe de Chernobyl simplemente a un *miedo* a la irradiación. Desde que ocurrió el accidente, hemos advertido efectos claros y diversos de la irradiación sobre las plantas al transcurrir el tiempo (1; 2).

Las emisiones que contenían una enorme cantidad total de radionucleidos provenientes del reactor siniestrado causaron una acentuada anomalía radiactiva en una zona extensa. En los lugares donde se depositaron los radionucleidos, las dosis de irradiación presentaron variaciones muy significativas. La actividad superficial de los radionucleidos alcanzó cientos de miles de Curies por km² en las proximidades del accidente (1).

La acumulación de dosis en las plantas varía, por naturaleza, dependiendo del tiempo transcurrido después de que comenzaron a aparecer radionucleidos en los ecosistemas, lo que nos ha permitido establecer varios periodos. El primero de ellos duró desde el 26 de abril de 1986 hasta el 15 de mayo de ese mismo año y se diferencia de los otros en que las principales fuentes de irradiación estaban relacionadas con radionucleidos de vida corta alojados en nubes radiactivas que, más adelante, se depositaron en la superficie de las hojas, el suelo y el agua. En ese momento, varias capas de radionucleidos que habían sido absorbidos por las plantas se fusionaron con las superficies de los órganos de las mismas. La mayor parte de la radiactividad estaba concentrada en “partículas calientes”, como se les ha dado en llamar, aunque había radionucleidos en diferentes formas fisico-químicas, incluyendo las iónicas. Durante este primer periodo, la irradiación que afectó a las plantas estaba compuesta por irradiación externa que desprendían los radionucleidos repartidos en objetos del ambiente, así como por irradiación procedente de materiales radioactivos que absorbieron las capas de células más externas de los órganos de las plantas. La irradiación externa estuvo vinculada en gran medida con los rayos gamma, mientras que la irradiación absorbida se componía de varios tipos de radiación (rayos gamma, partículas beta y alfa). Una parte de la actividad de los radionucleidos solubles se concentró en las células y el tejido de las plantas cuando las células los metabolizaron (3).

La dosis local acumulada bajo las partículas calientes era tan elevada que las células murieron y algunos microconductos se fusionaron. Por otro lado, las partículas calientes quedaron perfectamente adheridas a las superficies de las hojas y en otras partes de las plantas, a lo que también contribuyeron las sustancias pegajosas y los tricomas que existen en las superficies de las hojas y los brotes. Al evaluar las dosis, se descubrió que los órganos más dañados, como son los meristemos apicales de plantas de cereal situadas en terrenos contaminados por radionucleidos, habían absorbido dosis que oscilaban entre 1,33 y 12 Gy en 1986 para una densidad superficial de contaminación por radionucleidos de entre 1,18 y $8,4 \times 10^8$ Bq por m^2 (2).

El segundo periodo de irradiación (después de mayo de 1986, y a lo largo de la temporada de cultivo) se ha relacionado con radiación procedente de radionucleidos de vida larga y de algunos de vida corta. Las principales causas de la irradiación se debieron a radionucleidos absorbidos por las superficies de los órganos de las plantas y a la irradiación interna desprendida por radionucleidos acumulados dentro de las células y los tejidos.

Por último, el tercer periodo se caracteriza por un incremento progresivo en el porcentaje de la radiación interna procedente de radionucleidos de vida larga acumulados por las plantas a través del suelo, mediante mecanismos de nutrición mineral (4).

En conjunto, el modo en que se acumularon las dosis varía según las especies de plantas. La siguiente tabla muestra las fuentes más habituales de irradiación.



Tipos de plantas

Plantas perennes que se formaron antes de 1986 y habían desarrollado hojas cuando sucedió el accidente

Plantas perennes que se formaron antes de 1986 y no habían desarrollado hojas cuando sucedió el accidente

Plantas anuales que comenzaron a desarrollarse antes del accidente

Plantas que comenzaron a desarrollarse después de 1986

Fuentes de irradiación

Irradiación alta durante los primeros días después del accidente

Irradiación externa procedente de nubes radiactivas, que depositaron radionucleidos

Irradiación absorbida

Órganos más dañados:

Células de hojas jóvenes, meristemos de brotes en desarrollo

Irradiación alta durante los primeros días después del accidente

Irradiación absorbida

Irradiación externa

Órganos más dañados:

Meristemos de brotes

Irradiación externa continua

Irradiación absorbida

Irradiación interna crónica

Irradiación interna crónica relacionada con la absorción de radionucleidos de vida larga a través de las raíces

Irradiación externa crónica

El territorio que rodea la Central Nuclear de Chernobyl, en especial el que se encuentra dentro de un radio de 10 km, se define por niveles de dosis muy altos. Las coníferas que crecían en algunas partes de esta zona quedaron devastadas poco después del accidente, lo que dio lugar a un bosque muerto que se denominó el "Bosque Rojo". La dosis letal para las coníferas se sitúa aproximadamente entre 80 y 100 Gy (5).

No obstante, sólo se hallaron consecuencias letales para las plantas en algunos sectores donde la actividad de los radionucleidos era muy intensa. Los efectos acumulativos de la irradiación crónica en dosis bajas tienen una importancia mucho mayor a la hora de comprender, evaluar y pronosticar los efectos tardíos que puedan aparecer en los seres humanos, la biocenosis y otras formas de vida.

En las cercanías de la Central Nuclear de Chernobyl se observan varias reacciones de las plantas a la influencia de irradiación crónica. Entre ellas se encuentran un índice elevado de mortalidad de los meristemos apicales de las plantas, alteración múltiple del metabolismo, efectos citogénicos y diversas anomalías morfológicas. Los tipos y frecuencias de dichos efectos varían dependiendo de las dosis de irradiación.

No está de más recordar que las plantas responden de modo distinto a la irradiación interna y externa. La efectividad de la irradiación interna procedente de los radionucleidos almacenados en las células y los tejidos es mucho mayor que la irradiación externa de los mismos rayos. La tabla I proporciona datos sobre el impacto de la irradiación interna y externa en las frecuencias de reversión genética en el polen de cebada (6; 7).

Tabla I. Frecuencias de reversiones mutaciones cerosas (waxy) en el polen de cebada como resultado de 55 días de exposición a diversos niveles de radionucleidos liberados en Chernobyl y un campo de radiación gamma pura

Índice de la dosis, $\mu\text{Sv/h}^{-1}$	Dosis total, MSv	Frecuencia de reversión total por 106 granos de polen	Reversiones originadas por la radiación por 106 granos de polen
Contaminación por radionucleidos			
Control (0,96)	1,3	174	0
59	75	226	52
320	422	837	663
400	528	1235	1061
515	680	1705	1531
Irradiación gamma crónica			
Rad. de fondo (0,11)	0,1	82	0
5	3,0	145	63
50	29,6	150	68
500	296	198	116
5000	2960	192	110
50000	29600	292	210

Al menos dos causas distinguen de manera clara los efectos de la irradiación externa e interna: por un lado, la efectividad biológica relativa de la irradiación interna, en virtud de algunas peculiaridades de la microdosimetría en los tejidos y las células, puede ser mucho mayor que en el caso de la irradiación externa; y, por otro lado, cabe la posibilidad de contemplar las dosis bajas de irradiación como una señal de alarma. Existen muchas pruebas que corroboran el efecto de la dosis de irradiación como un factor determinante en la respuesta de las plantas a dosis bajas de irradiación gamma, puesto que provoca respuestas activas orientadas a que éstas se adapten a la irradiación crónica. Parece que existen dos estrategias de adaptación a los factores de estrés: la adaptación ontogenética y la filogenética o de la población. La primera estrategia se manifiesta a través de la radioadaptación y consiste en un aumento de la radiorresistencia tras recibir dosis bajas de irradiación. Por su parte, el segundo tipo se basa en un incremento de la frecuencia de diversificación genética, lo que amplía las posibilidades de la selección natural activa.

El mecanismo de adaptación ontogenética implica la inducción de la síntesis de las enzimas aditivas encargadas de reparar el ADN; opinamos que esta radioadaptación es una respuesta no específica de las plantas y que la síntesis de enzimas aditivas reparadoras sería resultado de la actividad no sólo de la radiación ionizante, sino también de factores de otra naturaleza, como por ejemplo, rayos UV-B (8). Parece muy probable que la estrategia ontogénica sirva para mantener vivo al organismo en condiciones ambientales modificadas que se caractericen por un aumento de la genotoxicidad. La mayor diversificación de las plantas en las generaciones futuras se consigue por medio de la inestabilidad genómica como respuesta a la irradiación en dosis bajas. Por lo tanto, es posible afirmar con bastante seguridad que muchas de las respuestas de las plantas a la irradiación continua en niveles bajos se pueden considerar como una consecuencia de las reacciones activas asociadas con la realización de estrategias adaptativas.



Teratogenicidad en plantas de la zona sometida a irradiación crónica en dosis bajas

Se ha apreciado una noTabla alteración en la morfogénesis de las plantas que crecen en territorios contaminados por radionucleidos. La radiomorfosis que se ha encontrado de manera habitual proviene de células distribuidas estocásticamente que han perdido la capacidad para dividirse. Estas células inactivas restringen el comportamiento normal de las células intactas en lo referente a la división y alargamiento, lo que conlleva el desarrollo de malformaciones. Las ilustraciones 1 y 2 muestran ejemplos de radiomorfosis en hojas de roble y castaño de indias.

Ilustración 1. Hoja gigante de un roble irradiado (*Quercus robur*) con deformaciones en la hoja (derecha) y hoja normal de un árbol que no ha recibido radiación

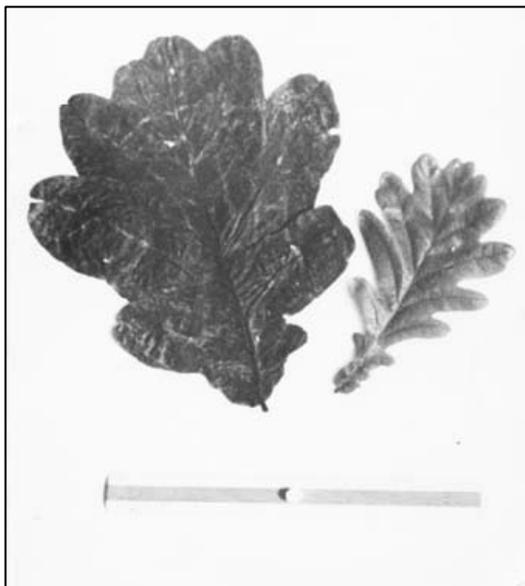




Ilustración 2. Radiomorfosis típica del castaño de indias (*Aesculus hippocastanum*)

Se aprecia con claridad que la forma de las hojas en estos árboles varía de manera notoria. Sin embargo, existen dos tipos de anomalías en la morfogénesis: en algunos casos, los órganos modificados, a pesar de que su estructura difiere mucho en comparación con la de los normales, se caracterizan por una estricta regularidad,; el otro tipo de órganos modificados posee una estructura deformada sin regularidad alguna. Precisamente las “radiomorfosis regulares” fueron las formas observadas con mayor frecuencia en las plantas que crecían en territorios contaminados.

La ilustración 3 muestra las agujas gigantes de una picea (*Picea abies*). Estas agujas metamorfoseadas, de tamaño entre ocho y diez veces mayor que el de las plantas de control que no fueron irradiadas, se encuentran en la parte superior del tallo.

Ilustración 3. Agujas metamorfoseadas de una picea (*Picea abies*) desarrollada en la Zona de Exclusión de la Central Nuclear de Chernobyl. Rama con agujas gigantes en la parte superior (izquierda). Ramas normales y metamorfoseadas (derecha)





La adición de órganos, en especial flores, fue un fenómeno usual. Curiosamente, este hecho se produjo en partes de la planta que normalmente no se ramifican, como en el caso del pedículo del diente de león (*Taraxacum officinale*). Parece probable que el grado en que se manifiestan las malformaciones morfológicas no estribe en la intensidad de la dosis, sino que la frecuencia con que se presentan dependa en gran medida de las dosis totales de irradiación crónica. Observamos malformaciones morfológicas muy representativas y cognadas en territorios de Kiev donde los índices de dosis eran considerablemente inferiores a los de la Zona de Exclusión (2). En este sentido, las características de las malformaciones morfológicas se asemejan al proceso estocástico cuando las desviaciones del crecimiento normal siguen el principio de “todo o nada”.



Ilustración 4. Pino (*Pinus silvestris*) con un gran exceso de ápices

Este tipo de anomalía morfológica debe su origen al deterioro del mecanismo de dominancia apical, motivo también del exceso de ramificación que se aprecia en muchas especies de plantas.

El efecto de una cantidad exagerada de yemas “imprevistas” se aprecia claramente en la ilustración 4, mientras que en la 5 aparece un exceso de brotes laterales en una píceas sometida a radiación.



Ilustración 5. Posición anómala de los brotes en una rama de picea.

Un hecho que podría indicar la naturaleza de este mecanismo es que el órgano que percibe la gravedad parece estar dañado, lo que tiene como consecuencia la pérdida de la orientación normal (6).

Ilustración 6. Pérdida de la orientación gravitacional en una picea (*Picea abies*) situada en la Zona de Chernobyl

La sección transversal de las agujas también resultó alterada, por lo que, en lugar de presentar forma de riñón, era más bien redonda. Parte de las agujas de uno de los fascículos era mayor de lo común. En ocasiones, aparecían “cepillos” debido a que se desarrolló en el tallo una densa mata de agujas (Ilustración 7).





Ilustración 7. Pino con aglomeración extraordinaria de agujas en fase senescente.

“Cepillos” de este tipo se localizaban en varias partes del tallo, por lo general en las yemas apicales. Este fenómeno tan interesante es el resultado de una proliferación de los primordios de las escamas al intentar formar agujas completas. No se trata de un ejemplo de “radiofobia”.

El gigantismo en las hojas se ha visto acompañado por un aumento del tamaño de algunos elementos anatómicos, como se muestra en la ilustración 8.

Ilustración 8. Estructura anatómica de agujas anormalmente alargadas en una píceas.

Realizamos fotografías de radiomorfosis regulares que hallamos en diversas plantas perennes, así como en algunas especies anuales durante los primeros años que siguieron a la catástrofe de la Central Nuclear de Chernobyl; sin embargo, también se han encontrado anomalías morfológicas en la Zona de Exclusión más recientemente. La tabla 2 muestra las características de las agujas de coníferas en los últimos tiempos (9).



Tabla 2. Indicadores morfométricos de los pinos (*Pinus silvestris*) y las píceas (*Picea abies*) sometidos a irradiación crónica y del grupo de control

Planta	Longitud media de las agujas, mm	Peso medio de las agujas, mg
Pino, control	60 ± 4	80 ± 3
Pino, irradiación crónica	19 ± 3	14 ± 2
Píceas, control	16 ± 2	5 ± 1
Píceas, irradiación crónica	40 ± 3	95 ± 5

Las anomalías morfológicas regulares en la estructura de las plantas podrían clasificarse como sigue:

Tipos de anomalías morfológicas	Causas primarias de las anomalías
Radiomorfosis irregular	Aumento de la muerte de células meristemáticas distribuidas estocásticamente en el tejido
Gigantismo en las hojas	Alteración del control posicional en el meristemo (mayor número de mitosis cuántica)
Enanismo en las hojas	Alteraciones del control posicional en el meristemo (menor número de mitosis cuántica)
Poliápices	Desaparición de la dominancia apical en el meristemo apical
Tipos de anomalías morfológicas	Causas primarias de las anomalías
Formación de agujas extraordinarias adicionales en los tallos de coníferas	Pérdida del control posicional en los catáfilos
Pérdida de orientación geotrópica de órganos	Disminución de la polaridad en los órganos
Exceso de ramificación	Disminución de la dominancia apical

También se descubrieron alteraciones de los procesos fisiológicos y bioquímicos en plantas que crecían en lugares donde el suelo estaba contaminado por radionucleidos. A modo de ejemplo, nos referimos a cambios de color que sufrió el tomillo. Es evidente que el color de una flor depende de la acidez de la savia; de ahí se deduce que la acidez de la savia cambia al estar sometida a irradiación crónica. No sería descabellado afirmar que esta respuesta del tomillo irradiado pudiera tener naturaleza estocástica.

Consecuencias mutagénicas de la irradiación en dosis bajas sobre las plantas

Se reconocen dos tipos generales de efectos radiobiológicos sobre las plantas, tanto si se trata de irradiación alta como de irradiación crónica en dosis bajas: los no estocásticos o deterministas y los estocásticos. Los efectos no estocásticos consisten en deterioros somáticos y deficiencias funcionales. Por su parte, los estocásticos se distinguen por la naturaleza probabilística de su aparición. Estos efectos carecen de umbral de dosis y la intensidad con que se manifiestan no depende de la dosis. La mutagénesis de las células somáticas y reproductoras se considera un efecto estocástico de la irradiación (3).



La frecuencia de mutaciones en la clorofila también se vio incrementada por la irradiación que desprendían los radionucleidos (Tabla 3).

Tabla 3. Mutación de clorofila albina (%) en plántulas de centeno y cebada cultivadas en la zona de 30 km

Planta	Control	Años de siembra en suelo contaminado			
		1986	1987	1988	1989
Centeno (var. Kiev-80)	0,01	0,14	0,40	0,91	0,71
Centeno (var. Kharkow-03)	0,02	0,80	0,99	1,20	1,14
Cebada (var. N° 2)	0,35	0,81	0,63	0,70	0,71

Actividad del suelo: 134Cs, 137Cs, 144Ce, 106Ru y otros, 180 kBq/kg-l

Los efectos genéticos de la irradiación se pueden demostrar por medio de algunas plantas en las que aparecen mutaciones reversivas (tablas 4-6).

Tabla 4. Influencia de la irradiación gamma sobre la frecuencia de reversiones en la forma mutante del berro (*Arabidopsis thaliana* f. *Glabrous*)

Dosis de irradiación	Número de hojas con tricomas	Recubrimiento de hojas con tricomas, %
Control, plantas no irradiadas	0	
Irradiación alta, 10 Gy	3,8 + 0,7	1,9 + 0,1
Irradiación continua, 0,3 Gy	9,7 + 1,8	1,9 + 0,3
Irradiación continua, 0,5 Gy	11,7 + 1,9	2,9 + 1,5
Irradiación continua, 5 Gy	12,5 + 1,5	19,6 + 3,1

Tabla 5. Deterioro de las células de meristemo de raíz apical en cebollas (*Allium cepa*) cultivadas en suelo contaminado por radionucleidos

Radiactividad específica del suelo, kBq/kg-l	N° de células estudiadas	Índice mitótico, %	N° de células con aberraciones, % en relación con el grupo de control	N° de células con micronúcleos, % en relación con el grupo de control	N° de células en degeneración, % en relación con el grupo de control
Control	15005	4,1	100	100	100
37	33275	4,4	240	171	250
185	29290	4,4	216	129	500
370	23325	117	150	229	900

Tabla 6. Frecuencia de aparición de varias células poliploides de polen en berros (*Arabidopsis thaliana*) sometidos a irradiación continua (primera vegetación), %

Ploidía de granos de polen	Control, plantas no irradiadas	Dosis, Gy	
		0,5	5
Células diploides	91	77	65
Células tetraploides	1	9	15
Tejido quimérico	8	14	20

Los datos que se presentan en estas tablas apuntan al hecho de que la irradiación crónica ejerce una gran influencia en las distorsiones citogenéticas de las células vegetales. Los efectos de la irradiación crónica abarcan los diversos acontecimientos genéticos que van desde alteraciones en el genoma hasta mutaciones puntuales.

Alteraciones de los procesos metabólicos en plantas irradiadas

La intensidad de muchos procesos bioquímicos ha cambiado en las plantas que han sobrevivido en la zona de Chernobyl. Que las reacciones metabólicas se hayan visto alteradas se debe básicamente a un fallo en las rutas de señalización de las plantas, así como a las reacciones de protección ante el estrés. Dichas reacciones son inespecíficas, es decir, tienen lugar cuando diversos factores de estrés de distinta naturaleza afectan a las plantas.

Los datos sobre un aumento de la concentración de antocianina en las plantas irradiadas con rayos gamma o que crecen en una zona contaminada por radionucleidos demuestran este fenómeno (tabla 7).

Tabla 7. Contenido de antocianinas en plantas irradiadas

Especies de plantas	Tipo de irradiación	Contenido de antocianinas, % en relación con el grupo de control
Maíz (<i>Zea mays</i>), plántulas	Control	100
	Irradiación alta, 10 Gy	127
	Irradiación continua: las plantas se cultivaron en suelo contaminado por radionucleidos, 975 Bq/kg ⁻¹	119
Judía (<i>Phaseolus aureus</i>), hypocótilo	Control	100
	Irradiación alta, 10 Gy	123
	Irradiación continua 0,5 Gy	157
Berro (<i>Arabidopsis thaliana</i> f. <i>Columbia</i>)	Control	100
	Irradiación alta, 10 Gy	169
	Irradiación continua 0,5 Gy	173

Como se desprende de los datos, el efecto de la irradiación crónica sobre estas plantas es mayor que en los grupos de control.



Formación de tumores en plantas sometidas a niveles bajos de irradiación durante su crecimiento

Dado que tanto los procesos de crecimiento y de regulación morfogénica como el control posicional de las plantas resultaron dañados a causa de la irradiación, es posible asumir que habrá una disminución en la respuesta normal a los estímulos producidos por el tumor bacteriano *Agrobacterium tumefaciens*.

Así, efectivamente, se estimula el crecimiento de estos tumores en las plantas cuando se someten a la irradiación de baja intensidad; este hecho ha sido probado a través de experimentos con explantes de tubérculos de patata cultivados en extractos de suelo contaminado por radionucleidos, cuya radiactividad específica era aproximadamente de 3 kBq/l-l. También se ha comprobado en cultivos de callos de *Datura stramonium* (3). La tabla 8 presenta datos que muestran el efecto de la irradiación crónica en tejidos tumorales de estramonio.

Tabla 8. Efecto de los extractos de suelo en el crecimiento y la división celular de tejidos normales y tumorales de *Datura stramonium*

Contenido de la variante	Peso del callo		Número medio de células en 1 g de tejido, x 105		Número medio de células en el callo, x 105	
	g	%		%		%
Control, tejido normal	1,98	100	39,7	100	78,6	100
Tejido normal tratado con extracto de suelo radiactivo	2,58	130,2	38,9	98	100,4	127,6
Tejido tumoral	24	100	23	100	74,5	100
Tejido tumoral tratado con extracto de suelo radiactivo	2,82	87,2	32,4	140,7	91,5	122,8

(Radiactividad del suelo: 3,1 104 Bq/kg-l; radiactividad del extracto de suelo: 20 Bq/l-l. El suelo estaba contaminado por 137Cs y 144Ce)

Aparecen nuevas formas pseudotumorales en muchas especies de plantas (*Hieracium murorum*, *Hieracium umbellatum*, *Rubus idaeus*, *Rubus caesius* y otras) que crecían en condiciones naturales en terrenos contaminados por radionucleidos. Se hallaron nodos de aspecto tumoral en casi el 80% del *Sonchus arvensis* que se encontraba en suelo contaminado (3). Además, se observó un mayor número de agallas en las hojas de robles que crecían en bosques contaminados por radionucleidos.

Inducción de la inestabilidad genómica en las plantas

Existen pruebas que permiten afirmar que la irradiación crónica en dosis bajas es la causante de diversos procesos celulares activos de las plantas. La manifestación de los distintos fenómenos (inestabilidad genómica, efectos espectador y respuestas adaptativas) ha logrado que los radiobiólogos consideren una nueva hipótesis con respecto a la contribución de las respuestas radiobiológicas derivadas de los procesos celulares activos.

“Inestabilidad genómica” es un término que se emplea para describir un índice de alteraciones genéticas mayor de lo normal. La inestabilidad genómica, con respecto a los extremos del cromosoma, se describió por primera vez como el comienzo retardado de aberraciones cromosómicas de novo (10) y la inducción de mutaciones. Hemos analizado la inestabilidad cromosómica ocasionada por la radiación en muchas especies de plantas después de transplantarlas desde suelo radioactivo a un sustrato “limpio”. Para ello, en estos estudios se ha mantenido la exposición a un amplio abanico de niveles de dosis y se ha procedido al examen de los efectos tardíos de la irradiación (Tabla 9).

Tabla 9. Aberraciones cromosómicas (%) como consecuencia de la irradiación continua sobre meristemos apicales de raíces de diferentes especies de plantas*

<i>Especies de plantas</i>	<i>Control</i>	<i>1986</i>	<i>1987</i>	<i>1988</i>	<i>1989</i>
<i>Lupinus alba</i>	0,9	19,4	20,9	14,0	15,9
<i>Pisum sativum</i>	0,2	12,9	14,1	9,1	7,9
<i>Secale cereale</i>	0,7	14,9	18,7	17,1	17,4
<i>Triticum aestivum</i>	0,9	16,7	19,3	17,7	14,2
<i>Hordeum vulgare</i>	0,8	9,9	11,7	14,5	9,8

* *Las plántulas se cultivaron en una solución nutritiva que contenía 70.000 Bq/l¹*

Como mejor se observa la inestabilidad genómica inducida por la irradiación crónica en niveles bajos es en el comportamiento de las plantas de trigo de invierno que se encuentran en nuestra “Colección de mutantes del trigo de Chernobyl”. Se comenzó dicha colección con plantas modificadas genéticamente que en 1987 se recogieron en las inmediaciones del reactor siniestrado (11). Los campos de trigo de invierno se encontraban en territorios caracterizados por elevados niveles de radiactividad. Las plantas estuvieron expuestas a irradiación intensa procedente de nubes radiactivas, de radionucleidos que absorbieron y que se fijaron en la superficie de los órganos en 1986, y de fuentes de radiación internas debidas a esos radionucleidos en 1987. Las espigas de trigo cayeron y dieron lugar a familias compactas que se desarrollaron a partir de cada una de ellas en el otoño de 1986; estas nuevas espigas presentaban muchas variaciones morfológicas. Los profesores P. K. Shkvarnikov y N. F. Batygin, famosos por sus trabajos sobre el seleccionismo del trigo, reunieron semillas de plantas de trigo que habían sufrido graves modificaciones; en otoño de 1987, aquellas semillas fueron plantadas en terreno limpio. Desde entonces y hasta este momento, el comportamiento genético de las plantas mencionadas se ha visto sometido a un cambio ininterrumpido.

La variabilidad de las características morfológicas es muy amplia: cada año cambian la forma de la envoltura de las espigas, la presencia de aristas, el tamaño de las espigas y las plantas, las glumas, determinadas peculiaridades fisiológicas y bioquímicas, entre las que se incluyen la madurez, la calidad del gluten y otras características. La variabilidad de los mutantes de esta colección es muy intensa e impredecible.



En la tabla 10 se muestra la frecuencia de las principales anomalías morfológicas en el trigo de invierno.

Tabla 10. Frecuencia de anomalías morfológicas en tres generaciones de trigo de invierno cultivado durante dos años en campos con niveles de contaminación elevados

<i>Tipo de morfosis</i>	<i>Años de investigación</i>		
	1986	1987	1988
Zonas de esterilidad en la espiga	49,0	29,8	1,9
Acortamiento de la espiga	10,0	9,4	0,8
Ramificación de la espiga	4,5	11,1	9,4
Acortamiento del tallo	4,5	5,7	4,9
Alargamiento del tallo	4,4	4,7	5,4
Aumento de las aristas	2,8	2,8	4,7
Irregularidad de las aristas	1,4	3,4	2,9
Formas de cabeza cuadrada	4,9	14,0	24,7
Color alterado del tallo	0,9	1,7	1,9
Gigantismo de la espiga	1,4	1,8	2,9
Espiguillas adicionales	14,0	14,8	29,7

Las modificaciones morfológicas que se aprecian en las plantas de la colección de forma generalizada se muestran en la ilustración 9.



Ilustración 9. Las espigas de trigo de invierno con formas diferentes fueron la prueba de una significativa inestabilidad genómica.

La inestabilidad genómica inducida por la radiación parece estar relacionada con un mecanismo específico. Varios grupos de científicos han demostrado que las proteínas responsables de la reparación del ADN pueden contribuir al proceso de inestabilidad, como es el caso de la p53 (10). También se ha confirmado que determinadas proteínas reparadoras del ADN participan en la protección de los telómeros (10). Las células que sufren mutaciones en la codificación genética de estas proteínas están sujetas a múltiples formas de inestabilidad: reparación defectuosa de la ruptura de la doble hebra, fusión cromosómica de los extremos o unión de telómeros desprotegidos con los extremos expuestos a radiación resultantes de las rupturas de la doble cadena. Cabe la posibilidad de que las alteraciones epigenéticas (cambios en la metilación, la acetilación y la fosforilación) también sean responsables de la inducción de la inestabilidad en el fenotipo (10).



Este elevado número de fenómenos permite deducir que las respuestas radiobiológicas se manifiestan con gran intensidad en diversos niveles de la organización de los sistemas vegetales. La efectividad biológica relativa de la irradiación crónica es muy alta, en especial la de la irradiación interna. Los efectos de la irradiación crónica se diferencian en aspectos significativos de las respuestas radiobiológicas de las plantas sometidas a irradiación intensa. Los efectos tardíos de la irradiación, por lo general genéticos, desempeñan un papel cada vez más importante en el aumento del riesgo para la biota en territorios contaminados por radionucleidos, ya que pueden resultar muy peligrosos para las plantas, tanto si se habla de individuos aislados como de poblaciones enteras. No es improbable pensar que, aparte de la influencia perjudicial de la irradiación continua, exista en este fenómeno un factor de señalización de alarma para los seres vivos y que se deba manifestar un sistema de respuestas como una reacción adaptativa integral. El origen de la inestabilidad genómica, los cambios de las normas de reacción, la ampliación del espectro de fenotipos, un aumento de la frecuencia del sobrecruzamiento mitótico y la inducción de apoptosis “imprevistas” en el meristemo son componentes de esta perversa reacción adaptativa de los organismos.

Los efectos radiobiológicos que se han investigado en plantas que crecían en terrenos contaminados por sustancias radiactivas, obviamente, no son sólo válidos para las plantas, sino que, por el contrario, se pueden aplicar a todos los seres vivos, puesto que se dan unos principios comunes en la base de estas respuestas radiobiológicas. El peligro de la Catástrofe de Chernobyl no ha disminuido: está con nosotros y permanecerá aquí durante mucho tiempo.

Referencias

1. Chernobyl Catastrophe/Editor: V. G. Baryakhtar. Kiev: Editorial House of Annual Issue "Export of Ukraine", 1977. Pág. 576.
2. Chornobyl. The Exclusion Zone. Collected Papers. Editor: V. G. Baryakhtar. Kiev: Naukova Dumka, 2001. Pág. 548. (En ruso)
3. Grodzinsky, D. M., Kolomietz, O. D., Kutlachmedov, Yu. A. Anthropogenic Anomaly and Plants. Kiev: Naukova dumka, 1991. Pág. 160. (En ruso)
4. Grodzinsky, D. M. Consequences of the Chernobyl Catastrophe as a Prototype of Nuclear Terrorism. Defense and the Environment: Effective Scientific Communication Eds. K. Mahutova et al. Kluwer Academic Publishers, 2004. Pág. 119-137.
5. Kozubov, G. M., Taskaev, A. I. Radiobiology Investigations of Conifers in Region of the Chernobyl Disaster (1986-2001). Moscú: PPC "Design. Information. Cartography", 2002. Pág. 272.
6. Bubryak, I., Vilensky, E., Naumenko, V., Grodzinsky, D. Influence of Combined Alpha, Beta and Gamma Radionuclide Contamination on the Frequency of Waxy-reversions in Barley Pollen.//Sci. Total Environ., 1992, 112. Pág. 29-36.
7. Grodzinsky, D. M. Late Effects of Chronic Irradiation in Plants after the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Station//Radiat. Protect. Dosimetry, 1995, 62. Pág. 41-43.
8. Danil'chenko O. O., Grodzinsky D. M. Participation of DNA repair systems in forming of radiation adaptive reaction in plants/En: Paradigms of contemporary radiobiology; Radiation protection of personnel of the objects of atomic energetics. Kiev: Chernobyl, 2004. Pág. 15-16.
9. Sorochinsky B. V. Peculiarities of protein contents in abnormal needles in spruce (*Picea abies*) and pine (*Pinus silvestris*) from 1-km Zone of Chernobyl Nuclear Power Plant//Cytology and Genetics, 1998, vol. 32, No 5, pág. 35-40.
10. Kadhim, M. A., Moore, S. R., Goodwin, E. H. Interrelationships amongst Radiation-Induced Genomic Instability, Bystander Effects, and the Adaptive Response //Mutation Research, 2004, 568. Pág. 21-32.
11. Grodzinsky D. M./Kolomietz O. D., Burdenjuk L. A. Collection of Chernobyl Mutants of Winter Wheat. Kiev 1999. Pág. 30. (En ucraniano)



La Leucemia Infantil en Europa tras Chernobyl y su Significado en Materia de Radioprotección; un Meta-Análisis de Tres Países Incluyendo Nuevos Datos del Reino Unido.

Chris Busby

Universidad de Liverpool, Reino Unido

Green Audit, Reino Unido

Traducción Iñigo García

I. Antecedentes

El accidente de Chernobyl contaminó la mayor parte de Europa (Savchenko 1995) con radioisótopos producto de la fisión como el Yodo y el Telurio de corta vida y gran actividad, así como partículas de combustible con contenido en uranio y otros isótopos de vida media intermedia, incluyendo el Cesio-137 con una vida media de 30 años. En el Reino Unido, la monitorización de cuerpo completo mostró una persistencia del Cesio-137 en la población (Etherington and Dorrian 1991) y los muestreos en las praderas posibilitaron el modelado radiológico de la dosis equivalente. En general, las exposiciones en Europa se examinaron con cierto detalle y las dosis a la población fueron bien caracterizadas. Para todos los países de Europa excepto Bielorrusia, las dosis efectivas promedio en el primer año estuvieron bastante por debajo de 1 mSv, y en los países no-soviéticos fueron menores de 0,3 mSv. A estos niveles, los modelos de riesgo de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) predicen que no se producirán efectos mensurables sobre la salud. Las dosis son menores de un cuarto de la dosis natural de fondo, y si la dosis tiene algún significado radiológico universal, las exposiciones deben considerarse seguras. Sin embargo, aparecieron efectos sobre la salud. El efecto más claro y gráfico fueron los informes de los aumentos de la leucemia infantil en la cohorte expuesta *in utero* en Grecia (Petridou et al, 1996), Alemania (Kaletsch et al 1997) y Gales y Escocia (Gibson et al 1988, Busby y Scott Cato 2000, 2001).

Busby y Scott Cato examinaron las dosis probables a los niños y utilizaron los modelos de riesgo de radiación actuales de la ICRP, aquellos utilizados también por la legislación de protección radiológica, para demostrar que los factores de riesgo actualmente utilizados para la protección de los miembros del público sufrían de un error de más de un factor 100. Dicho error podría comenzar a explicar otras aparentemente inexplicables asociaciones entre la leucemia infantil y la exposición cerca de centrales nucleares, no tabamente el cluster de leucemia infantil actual cerca de la planta de reprocesamiento de Sellafield en Cumbria, Reino Unido. La importancia de los resultados de la leucemia infantil son que las dosis estaban bien caracterizadas y que, debido a que la cohorte está tan bien descrita, no existe realmente otra explicación para lo observado.

Por lo tanto la existencia del efecto puede considerarse como prueba *prima facie* del fallo del modelo de la ICRP y podría utilizarse para determinar los factores de riesgo adecuados para este tipo de exposición interna.

La gravedad de este tema provocó en el Reino Unido la creación del Comité para Examinar los Riesgos de Radiación por Emisores Internos CERRIE. Este comité fue creado en

2001, tras la petición conjunta del ministro de medio ambiente del Reino Unido (Mr Michael Meacher) y el ministro de salud (Ms Yvette Cooper). El cometido del CERRIE era examinar la afirmación de que, en el caso de las exposiciones internas de los radioisótopos creados como productos de fisión, los factores de riesgo reales para el cáncer y la leucemia eran mucho mayores de los valores actualmente utilizados por la legislación de protección de la radiación. El modelo de la ICRP se basaba mayoritariamente sobre los estudios históricos sobre exposiciones de radiación externa, principalmente los efectuados sobre los supervivientes de las bombas atómicas japonesas. Por otra parte, para el año 2003, el nuevo Comité Europeo sobre Riesgos de Radiación (ECRR) había publicado su modelo, e intentaba tratar de manera pragmática las claras evidencias provenientes de varias fuentes epidemiológicas y teóricas de que las exposiciones internas podrían, en algunos casos, representar un aumento de los riesgos de hasta tres órdenes de magnitud o más (ECRR2003).

Como parte de su cometido para examinar el tema, el CERRIE se dirigió al Grupo de Investigación de Cáncer Infantil (CCRG) de Oxford para hacer un seguimiento del análisis de Busby y Scott Cato (se hizo para Escocia y Gales) para examinar el Reino Unido por área de contaminación y período. Las limitaciones de los datos habían forzado a Busby y Scott Cato (2000) a utilizar períodos muy ligeramente diferentes a aquellos utilizados por Petridou *et al.* (1996) y Kaletsch *et al.* (1997) y el CERRIE decidió obtener los datos para los mismos periodos. La primera cuestión fue si existía un efecto en las áreas de exposición elevada e intermedias del Reino Unido si se utilizaban los periodos de tiempo de Petridou *et al.* para definir las cohortes de exposición. La exposición en el Reino Unido dependió de las lluvias en el momento, y se definieron las áreas en base a las medidas efectuadas por el Panel de Protección Radiológica Nacional del Reino Unido (NRPB) y proporcionadas al CERRIE. En este artículo, debido a que el CCRG proporcionó un grupo de datos que era para exactamente la misma cohorte que la examinada por Petridou *et al.* en Grecia y por Kaletsch *et al.* en Alemania, he combinado las tres poblaciones y he pesado las dosis en un meta-análisis, que he utilizado para examinar el riesgo de la leucemia infantil por este tipo de exposición interna en comparación con los mejores datos disponibles de exposiciones externas, que son los estudios de rayos X. obstétricos de la Serie de Oxford (Wakeford y Little 2003).

El CCRG, los datos de Grecia y Alemania

Para intentar contestar la cuestión relacionada con las exposiciones en el Reino Unido, se observó el número de leucemias infantiles (0-1 años) de los datos obtenidos del Grupo de Investigación de Cáncer Infantil (CCRG) en Oxford para tres áreas y varios periodos antes y después de Chernobyl, junto con el número de nacimientos totales en esas áreas y periodos. Se acordaron dos análisis. Ambos estaban dirigidos a examinar la hipótesis de que las tasas de leucemia infantil habían aumentado tras la exposición *in utero* a la radiación por la lluvia radioactiva en el Reino Unido causada por el accidente de Chernobyl. Para ello, el Reino Unido fue dividido en tres grupos de áreas que se consideró que habían recibido una exposición elevada, intermedia y baja. Se definieron también dos tipos de periodos. El primero fue para posibilitar el análisis de los periodos utilizados por Petridou *et al.* en su análisis de los efectos en Grecia (Petridou *et al.* 1996). El segundo fue especificado por CERRIE para examinar un periodo de tiempo más largo del disponible por Petridou *et al.*. Aunque el análisis de este segundo periodo dio como resultado un efecto mayor, en este artículo me gustaría examinar únicamente el periodo utilizado por Petridou, ya que puedo combinar estos datos con los resultados anteriores.



Para poder llevar a cabo dicho meta-análisis he utilizado los datos de Petridou *et al* y Kalestch *et al*, tal y como se muestran en la Tabla 4.

Tabla 1. Períodos de tiempo para los cuales el CCRG proporciona datos sobre la leucemia infantil

Código del grupo de cohorte	Periodo de tiempo	Exposición <i>in utero</i>
Periodos de análisis de Petridou <i>et al</i>		
A	01/01/80 a 31/12/85	No expuestos
B	01/07/86 a 31/12/87	Expuestos
C	01/01/88 a 31/12/90	No expuestos

Tabla 2. Datos del CCRG sobre el número de casos de leucemia infantil.

I^{er} análisis (periodos de tiempo como Petridou) Varones+Hembras

Periodo	Categoría de exposición			
	Elevada	Media	Baja	Total
01/01/1980 a 31/12/1985	3	52	66	121
01/07/1986 a 31/12/1987	1	16	24	41
00/01/1988 a 31/12/1990	2	39	35	76
Total	6	107	125	238

Tabla 3 Número de nacimientos en los periodos de análisis del CCRG

(Periodos de tiempo como Petridou) Varones+Hembras

Periodo	Categoría de exposición			
	Elevada	Media	Baja	Total
01/01/1980 a 31/12/1985	90027	1783873	2363521	4237421
01/07/1986 a 31/12/1987	23152	479996	608921	1112069
00/01/1988 a 31/12/1990	47971	997941	1236102	2282014
Total	161150	3261810	4208544	7631504

Tabla 4 Leucemia infantil en el Reino Unido, Grecia y Alemania en los periodos de exposición *in utero* por Chernobyl (con tasas por 100.000 y dosis fetales pesadas con la población promedio).

	Dosis promedio ^d (mSv)	Periodo A no expuestos	Periodo B expuestos	Periodo C no expuestos
^a Reino Unido, todos los casos	0.02	121 (2.86)	41 (3.69)	76 (3.33)
Reino Unido, nacimientos		4237421	1112069	2282014
^b Alemania, todos los casos	0.1	83 (2.30)	35 (3.76)	60 (2.96)
Alemania, nacimientos		3601176	928649	2029613
^c Grecia, todos los casos	0.2	22 (2.75)	12 (7.35)	9 (2.89)
Grecia, nacimientos		801175	163337	311391
3 países, todos los casos	0.067	226 (2.62)	88 (3.99)	145 (3.13)
3 países, nacimientos		8639772	2204055	4623018

^a del CCRG; ^b de Kaletsch et al; ^c de Petridou et al.; ^d de los datos originales, proporcionados por el NRPB para CERRIE

3. Método

En todo este análisis he utilizado el mismo método utilizado por los investigadores anteriores. He utilizado el análisis estándar de tablas de contingencia para comparar las cohortes no expuestas (periodos A + C) con las cohortes expuestas (B). He combinado todas las categorías del Reino Unido; elevada, intermedia y baja. Se calcularon los riesgos relativos, los intervalos de confianza y la significancia en base a la estadística Chi-Cuadrado Mantel Haenszel para varios grupos en el Reino Unido, y después para los datos combinados. Después he examinado las predicciones de los factores de riesgos derivados de la serie de datos obstétricos de rayos-X (Wakeford y Little 2003) con el exceso de riesgo encontrado para calcular un factor de error para la aplicación de los riesgos obstétricos de rayos-X y también para el modelo de riesgo de la ICRP.

4. Resultados

En el Reino Unido, la lluvia radiactiva por Chernobyl fue irregular y estuvo relacionada con brotes de lluvia causados por tormentas que se produjeron en Escocia, Gales y Yorkshire. Consecuentemente, las áreas de baja exposición definidas para los datos del



CCRG, principalmente el sur de Bretaña, recibieron poca exposición. Las áreas de exposición elevada tenían bastante poca población y por lo tanto he combinado los grupos de exposición elevada e intermedia para examinar el efecto en el Reino Unido, aunque para el análisis combinado el utilizado todo el grupo de datos del Reino Unido. En la Tabla 5 se presenta el riesgo relativo para las cohortes combinadas elevada e intermedia durante los periodos de exposición relativos al periodo de la exposición. En la Tabla 6 he combinado todo los grupos del Reino Unido con los grupos de Alemania y Grecia para proporcionar una comparación de los grupos expuestos y no expuestos en la base de datos combinados de los tres países.

Tabla 5. Estadísticas de las tasas de leucemia infantil en el Reino Unido en base a los grupos de exposición elevada + intermedia en Escocia, Norte de Gales y Yorkshire. Comparación de los periodos de exposición (B) con los de no exposición (A + C) según Petridou *et al.*; datos del CCRG.

Periodo de los datos	Casos Elevada + Intermedia (tasas)	Población Elevada + Intermedia
A	69 (2.8)	2453548
B	25 (4.0)	632073
C	37 (2.9)	12840973
Estadísticas. B comparado con (A + C)	Riesgo Relativo 1.4 (IC 95% 0.88 < RR < 2.20) $\chi^2 = 2.26$; $p = 0.132$; bilateral	

Tabla 6. Estadísticas de la leucemia infantil en la población combinada del Reino Unido, Alemania y Grecia utilizando todos los datos del Reino Unido del CCRG además de otros datos de Petridou *et al* 1996 y Kaletsch *et al* 1997

Periodo de los datos	Casos Elevada + Intermedia (tasas)	Población Elevada + Intermedia
A	226 (2.62)	8639772
B	88 (4.0)	2204055
C	145 (3.1)	4623018
Estadísticas. B comparado con (A + C)	Riesgo Relativo 1.43 (IC 95% 1.13 < RR < 1.80) $\chi^2 = 9.1$; $p = 0.0025$; bilateral	

5. Análisis

Errores en la utilización de los factores de riesgo la radiación interna

En los datos del Reino Unido, proporcionados por el CCRG, y basados en los criterios de cohorte de nacimiento de Petridou *et al* 1996, se observa un aumento de la leucemia infantil en la cohorte expuesta a tanto en el grupo de exposición elevada como en el grupo de exposición intermedia, y en la población total. A diferencia de los aumentos en Escocia y Gales hallados por Busby y Scott Cato 2000, este aumento no llegó a ser

estadísticamente significativo al nivel $p = 0.05$ utilizando un test bilateral. Esto difiere de los resultados de Busby y Scott Cato principalmente porque el CERRIE utilizó diferentes áreas y periodos ligeramente diferentes. Combinando los aumentos del Reino Unido con los de Grecia y Alemania (donde las dosis fueron mayores), se observa un aumento del 43% de la leucemia infantil en la cohorte combinada de 2,2 millones de nacimientos en niños expuestos a una dosis pesada con el promedio de la población de 0,067 mSv. Esta dosis ha sido calculada utilizando los datos proporcionados por el NRPB al CERRIE y también en base a los datos de las Naciones Unidas de Savchenko 1991 y los datos de Kaletsch *et al.* 1997. La dosis promedio se obtuvo pesando con la población las dosis fetales determinadas para cada país; proporcionadas por el NRPB al comité CERRIE para el Reino Unido, obtenidas del estudio alemán donde las dosis fueron medidas por el personal de Protección Radiológica Alemana, y de los datos de las Naciones Unidas para Grecia. Debería señalar que la dosis interna se desconoce. El cálculo de la dosis se basa principalmente en la dosis externa, principalmente la radiación gamma de la deposición de Cesio-137. Sin embargo, es exactamente esta dosis externa (principalmente) la que se utiliza en los modelos radiológicos de los efectos sobre la salud y por lo tanto, para el nuestro propósito, ésta es la dosis relevante.

Para calcular la disonancia entre las predicciones de los modelos de la ICRP y la cifra de casos observados hallados en Escocia y Gales, Busby y Scott Cato 2000 utilizaron el factor de riesgo fetal de la ICRP de 0,0125 por Sievert (utilizado por COMARE 1996 para examinar las leucemias infantiles de Sellafield). Sin embargo, en las discusiones internas de CERRIE, se señaló que los datos obstétricos de Stewart *et al.* (1956) forman una base mucho más firme en la que basar cualquier análisis de los riesgos derivados de una exposición interna. Stewart *et al.* hallaron un aumento del 40% del cáncer infantil en los individuos con edades de 0-14 años tras una dosis de rayos-X de 10 mSv (Wakeford y Little 2003). Aunque la causalidad de este resultado ha sido discutida por algunos, este valor ha sido traducido por Wakeford y Little a un riesgo relativo de 50 por Sievert. Es este valor el que utilizaron Richard Wakeford del British Nuclear Fuels Ltd y Colin Muirhead del NRPB para analizar las leucemias infantiles en el informe CERRIE (CERRIE 2004a).

Si asumo que una dosis de rayos-X de 10 mSv provoca un aumento del 40% del cáncer infantil, podemos observar en la Tabla 6 que la dosis promedio de 0,067 mSv de la lluvia radioactiva por Chernobyl ha provocado un aumento de la leucemia infantil del 43%. El error correspondiente en la aplicación del factor de riesgo externo obstétrico a las leucemias infantiles es por lo tanto de $43/40 * 10/ 0.067 = 160$. Se produjeron por lo tanto 160 veces más leucemias infantiles en esta población combinada de lo que se predeciría utilizando los datos de los rayos-X obstétricos. Y esto es únicamente en los niños con edades de 0-1 años. Éste es un valor mínimo, ya que todavía queda por observar los diferentes tipos de cáncer o leucemias que pueden surgir en este grupo cuando envejecen hasta los 1-14 años. Actualmente me encuentro en proceso de obtener los datos para Escocia y Gales para poder llevar a cabo dicho análisis.

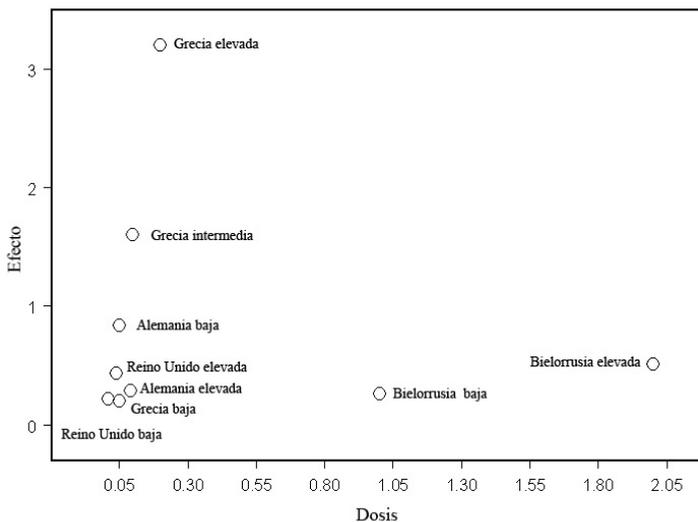
Relación dosis-respuesta.

Debido a que la base de datos es tan grande, podemos concluir sin duda alguna que se produjo un aumento de la leucemia infantil en las áreas de exposición elevada e intermedia en aquellos niños que fueron expuestos in utero a la lluvia radioactiva por Chernobyl. No podemos afirmar que el efecto no fue, en parte, debido a la irradiación pre-concepción de los padres, ya que nuestros grupos expuestos nacieron hacia finales de 1987



Además del descubrimiento de un claro efecto, observamos un gradiente biológico en las tasas sobre un rango determinado. La Figura 1 muestra los aumentos de la leucemia infantil con la dosis en los países europeos. En Alemania, Kaletsch et al 1997 tenían datos para tres áreas de dosis y encontraron que la relación dosis-respuesta era bifásica. Esto también es así para los datos del Reino Unido cuando los subdividimos en áreas de dosis elevada, intermedia y baja. En ambos países el efecto mayor se produjo en el área de dosis intermedia. También se informó de aumentos de la leucemia infantil en Bielorrusia (Ivanov et al.) y el efecto allí fue bastante modesto aunque las dosis eran mayores que en Grecia. Los datos sugieren que en el rango de 0-2 mSv la relación dosis-respuesta global es bifásica.

Fig 1 Relación dosis-respuesta a para la leucemia infantil en los países examinados por este estudio y por CERRIE (datos del CCRG y CERRIE 2004a). El efecto es un exceso de riesgo fraccional, y la dosis está en mSv.



Este comportamiento bifásico no es tan notable en patologías que se produzcan en los niños vivos por una causa in utero y, ya que por encima de una cierta dosis algún sistema de defensa podría desbordarse y podría intervenir la muerte fetal. Sin embargo, no queda claro que los niveles de dosis de los que hablamos estén correlacionados con las exposiciones internas del tipo específico que provocan las enfermedades. Para empezar, las exposiciones utilizadas para estos estudios están basadas en medidas de radiación externa o de deposiciones de Cesio en el suelo. Si las exposiciones fueran por la leche del ganado que se alimentó en invierno con el ensilaje contaminado con radionucleidos, esta leche podría terminar en cualquier lugar de ese área, no necesariamente donde produjo la deposición principal; y en realidad es altamente improbable que el ganado lechero se alimente en las áreas donde llueve más, es decir, en las montañas.

Los resultados hallados en este estudio muestran que se produjo un aumento de la leucemia infantil en las categorías de exposición elevada e intermedia escogidas por el CERRIE en el Reino Unido. La magnitud del efecto fue menor que el encontrado por Busby y Scott Cato cuyo estudio de periodo de diagnóstico encontró un $RR = 3.87$ $p = 0.0001$ para la cohorte expuesta combinada de Escocia y Gales, aproximadamente de acuerdo con un informe anterior de Gibson et al. para Escocia. Esto no debería ser sorprendente ya que las áreas definidas para el análisis del CERRIE eran bastante diferentes.

Dadas las dosis promedio extremadamente bajas involucradas en el área combinada de exposición, el Reino Unido, Grecia y Alemania ($< 70\mu Sv$), el aumento de la leucemia infantil no fue predecida por el modelo de la ICRP y define un error en la utilización del factor de riesgo definido por los datos obstétricos de rayos-X de al menos un factor 160.

El análisis de los datos del comité CERRIE encontró un desacuerdo parecido entre el número esperado de casos en el Reino Unido, Alemania y Grecia pero no consiguió llegar a ninguna conclusión determinada. Hemos reproducido a continuación la Tabla 4A6 del CERRIE 2004 como Tabla 7. El bajo valor para Bielorrusia podría ser el resultado de una curva dosis-respuesta bifásica, pero al menos parte de la explicación se encuentra en la falsificación de los datos de la leucemia por parte del Estado Soviético que se ocupó de intentar minimizar las pruebas de los efectos de la catástrofe de Chernobyl (Busby y Yablokov 2006). A pesar de la clara disonancia entre lo que fue calculado por el representante del British Nuclear Fuels Richard Wakeford y el epidemiólogo jefe de la NRPB, Colin Muirhead, que preparó la tabla 4A6, el texto del informe del CERRIE (p88) no concuerda con los datos de la tabla, afirmando claramente: cualquier sugerencia de que el riesgo de la leucemia infantil debido a la exposición a radionucleidos por la lluvia radiactiva de Chernobyl haya sido materialmente infravalorado esta basado principalmente en los hallazgos de un único estudio.

En el texto del informe mayoritario del CERRIE los autores del informe concluyen que:

En general, los resultados... no proporcionan pruebas persuasivas suficientes de que el riesgo de la exposición interna a radionucleidos haya sido gravemente infravalorada por las estimaciones del riesgo obtenidas de estudios de exposiciones in utero aplicadas para casos de fuentes de irradiación interna. Según la opinión de la gran mayoría de los miembros del Comité, es probable que la lluvia radioactiva debida al accidente de Chernobyl provocara un aumento del riesgo de la leucemia infantil. Una fracción sustancial de los miembros piensa que este aumento está en concordancia con el nivel anticipado por los modelos de riesgo actuales.

Es difícil ver cómo estas afirmaciones pueden ser racionalizadas con los resultados presentados en la tabla 4A6 de ese mismo informe. La Agencia Internacional de Cáncer de Lyon (IARC) iba a producir un informe sobre la leucemia infantil y escribió al CERRIE 2004 para decirles que estaban terminando un estudio, pero en el momento de escribir el texto no se tenía aún nuevas noticias sobre la investigación de la IARC.



Tabla 7 Tabla 4A6 del CERRIE 2004a; Exceso de Riesgo Relativo de leucemia infantil estimada en cuatro cohortes de nacimiento.

Estudio	ERR (IC 95%)	Coficiente ERR Sv ⁻¹ (IC 95%)	ERROR ICRP Cociente al coeficiente externo ERR (IC 95%)
Gran Bretaña	0.22 (-0.14, 0.69)	11000 (-7000, 34500)	220 (-140, 690)
Grecia	1.6 (0.4, 4.1)	8000 (2000, 20500)	160 (40, 410)
Alemania	0.48 (0.02, 1.15)	4800 (200, 11500)	96 (4, 230)
Bielorrusia	0.26 (-0.24, 1.10)	130 (-120, 550)	2.6 (-2.4, 11)

Conclusión

El modelo de la ICRP ha sido criticado por su ausencia de método científico (ECRR2003). En particular, el ECRR argumentó que la utilización de los datos de irradiación externa aguda para modelar los riesgos sobre la salud de la irradiación crónica interna involucraba una utilización errónea del método científico y empleaba un razonamiento deductivo más que inductivo. Más recientemente, la agencia de riesgos nucleares francesa IRSN ha argumentado básicamente según las mismas líneas y está de acuerdo en la validez de las críticas del ECRR (IRSN 2006). Si estos argumentos son válidos, queda claro que no es posible utilizar factores de riesgo derivados de los estudios de las bombas atómicas japonesas para informar sobre los riesgos de la irradiación interna. Y según los mismos argumentos, no resulta válido emplear los factores de riesgo obtenidos de los estudios de rayos-X obstétricos. Es necesario utilizar estudios de niños expuestos a una radiación crónica interna por isótopos producto de la fisión si queremos desarrollar modelos para predecir o explicar estas mismas exposiciones. Los clusters de leucemia infantil cerca de instalaciones nucleares, como por ejemplo en Sellafield, Dounreay y La Hague, y otras analizadas por el ECRR2003 han sido ampliamente estudiados y confirmados como reales y no debidos al azar. El intentar negar su causalidad (como por ej. en COMARE 1996) ha estado basado en los modelos de riesgo de irradiación externa. La diferencia entre las cifras de la leucemia infantil basadas en las predicciones del modelo de la ICRP o en los datos obstétricos y las cifras de los casos actuales observados cerca de estas instalaciones nucleares es de un exceso de un factor 300.

La incidencia de la leucemia infantil en estas cohortes europeas muestra que esta negativa está basada en un modelo inválido. Parece quedar claro que este modelo queda completamente invalidado por la existencia de esos niveles de leucemia infantil en estas cohortes europeas, efectos claros y objetivos descritos por diferentes grupos en diferentes países. Estos aumentos de la leucemia infantil han sido producidos por dosis menores que las experimentadas por los niños que vivían cerca de las instalaciones nucleares que desarrollaron leucemia. En el caso de las leucemias infantiles por Chernobyl no hay explicaciones alternativas además de la exposición a la radiación interna por prácticamente los mismos isótopos que en el caso de las leucemias cercanas a las instalaciones nucleares. Lo significativo de este resultado para la protección de la radiación es abrumador.

Contacto: christo@greenaudit.org; christo@liv.ac.uk

Referencias

- Busby C and Scott Cato M (2001) 'Increases in leukemia in infants in Wales and Scotland following Chernobyl: Evidence for errors in statutory risk estimates and dose-response assumptions'. *International Journal of Radiation Medicine* 3 (1-2) 23
- Gibson BE, Eden OB, Barratt A et al. (1988) 'Leukemia in young children in Scotland' *Lancet* 630
- Busby C and Scott Cato M, (2000) 'Increases in leukemia in infants in Wales and Scotland following Chernobyl' *Energy and Environment* 11 (2) 127-137
- CERRIE Minority Report (2004b) Minority Report of the Committee Examining Radiation Risk from Internal Emitters. (Aberystwyth: Sosiumi Press)
- CERRIE Report (2004a) Report of the Committee Examining Radiation Risks from Internal Emitters.' (Chilton :NRPB)
- COMARE, (1996) The Incidence of Cancer and Leukaemia in Young People in the Vicinity of the Sellafield Site in West Cumbria: Further Studies and Update since the Report of the Black Advisory Group in 1984, COMARE 4th Report (Wetherby: Department of Health).
- ECRR (2003) 2003 Recommendations of the European Committee on Radiation Risk; Health Effects of Ionising Radiation Exposure at Low Doses for Radiation Protection Purposes Regulators' Edition: Brussels, 2003 Aberystwyth: Green Audit
- G. Etherington and M. D. Dorrian (1991), 'Radiocaesium levels, intakes, and consequent doses in a group of adults living in Southern England'. International Atomic Energy Agency Document IAEA-SM-306/29 (Vienna: IAEA).
- IRSN (2005) Les consequences sanitaires des contaminations internes chroniques par les radionucléides. Avis sur le rapport CERL 'Etudes des effets sanitaires de l'exposition aux faibles doses de radiations ionisantes a des fins de radioprotection'.DRPH 22005/20 Institut de Radioprotection at de Surete Nucléaire. Fontenay aux Roses: IRSN
- Ivanov E, Tolochko GV, Shuvaeva LP, et al (1998) Infant leuiemia in Belarus after the Chernobyl accident *Eadiat. Env. Biophys.* 37 53-5
- Kaletsch U, Michaelis J, Burkart W and Grosche B, (1997) 'Infant leukaemia after the Chernobyl Accident' *Nature* 387, 246.
- Petridou E, Trichopoulos N, Dessypris N et al.. (1996) 'Infant leukaemia after in utero exposure to radiation from Chernobyl' *BMJ* 314, 1200
- Savchenko V K, (1995) The Ecology of the Chernobyl Catastrophe: Scientific Outlines of an International Programme of Collaborative Research (Paris: UNESCO).
- Stewart A M, Webb J W, Giles B D, Hewitt D, (1956), 'Malignant Disease in Childhood and Diagnostic Irradiation in Utero', *Lancet*, ii 447.
- Wakeford R and Little MP (2003) Risk coefficients for childhood cancer after intrauterine irradiation. A review. *Int. J.Radiat.Biol* 79 293-30



La Salud de los Liquidadores: un Meta-Análisis

Alexey .V. Yablokov

Concejal, Academia de Ciencias Rusa, Moscú

Esta revisión trata del análisis de los datos referentes al estado de salud de los participantes en los trabajos de emergencia (liquidadores) después de las consecuencias de la catástrofe en 1986 en la Central Eléctrica de Chernobyl. Durante un cierto período de tiempo, cientos de miles de personas tomaron parte en operaciones relacionadas con la construcción del sarcófago y en otras medidas destinadas a limitar las consecuencias de la explosión en el 4º bloque de la Central Eléctrica de Chernobyl. El número de liquidadores que tomaron parte en estas operaciones fueron aproximadamente 740.000 entre 1986 y 1990 (250.000 de Rusia, ~360.000 de Ucrania, 130.000 de Bielorusia).

Indudablemente, la mayor parte de estas personas estuvieron expuestas a radiación adicional tanto externa como interna. Este hecho habría afectado adversamente a su estado de salud. Sin embargo, estos últimos años, algunos especialistas relacionados con la industria nuclear han afirmado que el estado de salud de este grupo de gente, como promedio, no difiere del de otros grupos de población en Rusia, Ucrania y Belarús, y, aseveran, que a veces es realmente mejor. Este hecho fue vivamente descrito en el informe del grupo de especialistas del “forum de la O.N.U. para Chernobyl” “Efectos Sobre La Salud Del Accidente De Chernobyl Y Programas Especiales De Cuidado Médico”, presentado bajo el patrocinio de IAEA y de la OMS, WHO.

I. Observaciones preliminares

Para analizar los datos de salud de los liquidadores, es necesario tener presente la naturaleza de los datos de partida. Es bien conocido que durante los primeros años después de la catástrofe, a los médicos se les prohibió oficialmente relacionar con la radiación las enfermedades de la población afectada. Esta es la razón por la cual todos los datos referentes a la tasas de enfermedad dentro de los territorios contaminados por el polvo radiactivo radiactivo de Chernobyl recogidos hasta 1989 deben considerarse como falsos - “probablemente falsificados”. Un ejemplo obvio puede tomarse de los datos oficiales referentes al número de casos de leucemia. Es bien sabido que la leucemia es la primera consecuencia oncológica de la radiación. Los datos del registro nacional ruso que refieren a casos de la leucemia entre los liquidadores, durante los primeros 8 años después de la catástrofe, se presentan en la tabla I.

Empezando en 1990, el incremento esencial en el número de casos registrados de leucemia es usualmente tratado como correspondiente a los picos de leucosis en las muestras de aquellos irradiados en Hiroshima y Nagasaki (Tsib, Ivanov, 2000). Resulta interesante observar que los datos de Japón y Chernobyl con respecto al aumento de la leucemia corresponden a la relajación del secreto por parte de los regímenes políticos.

Tabla I Casos oficialmente registrados de leucemia en los liquidadores por fecha de diagnóstico, 1986-1993

(Ivanov y otros, 2004, Tabla 6.6)

Fecha de diagnóstico	Número de casos
1986	1
1987	5
1988	5
1989	3
1990	6
1991	11
1992	9
1993	8

Es bien conocido que las autoridades ocupantes prohibieron cualquier investigación sobre las consecuencias de la radiación en Japón. Es por esto por lo que el registro oficial comienza en 1950 –cuatro años y medio después del bombardeo nuclear. En la URSS la prohibición sobre los diagnósticos de enfermedades producidas por la radiación también fue anulada después de 4 años. Por lo tanto, podemos dar por sentado que los casos de la leucemia registrados entre 1986-1989 son solamente una pequeña parte de los casos reales de esta enfermedad. Oficialmente, el “control dosimétrico completo” de los participantes en el trabajo dentro de la zona de la central eléctrica de Chernobyl tuvo lugar solamente durante unos meses. (Gerasimova y otros, 2001, p. 11). Esto sucedió por diversas razones, algunas de las cuales se enumeran a continuación:

- Secreto
- Ausencia de equipamiento adecuado
- Descuido del personal y de los liquidadores
- Baja cualificación del personal
- Distorsión deliberada de las notas.

La distorsión fundamental de las estadísticas relativas a las enfermedades de los liquidadores puede estar relacionada originalmente con el hecho de que la categoría de “liquidador” no se otorga automáticamente, sino solamente por solicitud individual. El resultado es que, hoy, el status de “liquidador” se refiere no solo a las personas que estuvieron inmediatamente expuestas a la radiación creciente, sino esencialmente a todas las personas que estuvieron dentro de la zona de peligro de radiación durante el período inicial. El status oficial de “liquidador” implica recibir un amplio espectro de ayudas estatales (incremento de la pensión, alojamiento, transporte, medicinas, tratamiento médico y otras). El otorgamiento de este status se designa únicamente después de numerosos términos y condiciones formales, el logro de lo cual está relacionado con, pero no solo con la presencia de índices objetivos del empeoramiento de la salud, sino también con un número de factores subjetivos. Hasta años recientes, los verdaderos liquidadores, por diversos motivos, no registraban oficialmente su status de “liquidadores”. Algunos no se registraban por razones socio-psicológicas (por ejemplo: “Soy fuerte. No deseo ir a mendigar”); otros por motivos técnicos (burocráticos). Asimismo es bien conocido que un cierto número de personal militar que tomó parte en las operaciones de Chernobyl no poseen documentos oficiales que confirmen su participación en los trabajos de liquidación. Al mismo tiempo, es bien conocido que entre aquellas personas que tienen este status, hay muchos que lo obtuvieron sin los índices correctos, objetivos.



Todos estos factores hacen imposible llevar a cabo un análisis objetivo de la estadística referente a las enfermedades de los liquidadores. De vez en cuando, estos factores privan la investigación de cualquier sentido científico (epidemiológico, radiobiológico).

En conjunto, para una evaluación objetiva de las relaciones entre el nivel de enfermedad y el nivel de radiación adicional recibida, está claro que los liquidadores de 1986-1987 recibieron dosis elevadas. Con el desarrollo de métodos para la dosimetría biológica individual (determinación de dosis adicionales de radiación recibida midiendo la estructura de los cromosomas (método FISH) y el tejido calcinado dentro del diente (la dosimetría del ESR)) tenemos una oportunidad de reconstruir y de alcanzar la verificación de las dosis de radiación recibidas. La comparación de los datos obtenidos por estos métodos demuestra que las dosis oficialmente documentadas de la radiación pueden ser agrandadas o minimizadas (Maznik and Vinnykov, 2003).

A pesar del volumen de trabajo implicado en la recopilación de los registros estatales de los liquidadores en Rusia, Ucrania y Belarus, estos datos no se pueden considerar fiables. Las autoridades médicas oficiales reconocen que el número de los liquidadores rusos que recibieron dosis mayores de 25×10^{-2} Gy pueden ser 7 veces más altas (!) de lo que se muestra en los registros.

2. Morbilidad general

Entre la gente que fue enviada a Chernobyl, no había enfermos – todos eran sanos, y, generalmente jóvenes. En el plazo de cinco años después de la catástrofe, el 30% de ellos eran ya considerados enfermos oficialmente; en diez años menos del 9% de liquidadores eran considerados sanos y en el plazo de 16 años solamente el 1-2% restante era considerado ser sano (cuadro 2).

Tabla 2 Dinámicas de las condiciones de salud del liquidador
(Ivanov y otros, 2004; Preebylova y otros, 2004)

Año, tras la catástrofe	“Enfermas” personas, %	
1986	0	0
1991	5	30
1996	10	90 – 92
2002	16	98 – 99

En Ucrania, 18 años después de la catástrofe, el número de enfermos entre los liquidadores alcanzó el 94,2% (en Kiev – 99,85%, en la provincia de Sumskaya– 96.53%, en la provincia de Donetskaya– 95,95%) (Chernobyl... 2004).

La morbilidad general de los liquidadores en Ucrania se vió incrementada 3,5 veces en 10 años (Serduk, Bobyleva, 1998). 15 años después de la catástrofe esta cifra se ha triplicado entre los liquidadores de Rusia menores de 30 años. Las tasas anuales de crecimiento de la morbilidad entre liquidadores rusos son de 2 a 8 veces mayores que el grupo de control de la población de Belarus (Antypova et. al., 1997).

Tal como muestra el registro nacional de ruso, la principal causa de morbilidad entre los liquidadores en 1996 eran las enfermedades respiratorias; del sistema nervioso; de los órganos sensoriales; del sistema circulatorio; del sistema musculoesquelético; del tejido conjuntivo y del sistema endocrino. Los años anteriores la dinámica de morbilidad era diferente (en 1993; enfermedades respiratorias – 15,5 %; musculoesqueléticas – 14,5%; digestivas – 14,0%; en 1995; digestivas – 15,9 %, musculoesqueléticas y del tejido conjuntivo – 14,8 %; del sistema nervioso – 14,0 %; Problemas ..., 2002).

La morbilidad difiere entre los distintos grupos de edad de los liquidadores rusos; en el grupo de 25 a 49 años las enfermedades mentales y del sistema nervioso son más frecuentes, en el grupo de 30 a 59 años las enfermedades musculoesqueléticas, las del sistema endocrino y metabólicas son más frecuentes (Problemas ..., 2002).

En ciertas enfermedades, la morbilidad de los liquidadores es notablemente superior a la de la población de Rusia y Bielorusia (Tabla 3, Tabla 4)

Tabla 3 Tasa de incidencia en liquidadores rusos (varones, 1996, por 100 000) (Datos del RNMDR por V. Ivanov y otros, 2004)

Enfermedad	RNMDR	Rusia	Cociente
Sistema respiratorio	14 215	15 073	0,9
Sistema nervioso y órganos sensoriales	11 041	5 299	2,1
Sistema Digestivo	8 613	2 602	3,3
Sistema cardiovascular	7 117	1 700	4,2
Sistema musculoesquelético y tejido conjuntivo	7 012	3 054	2,3
Endocrinas y metabólicas	4 637	454	10,2
Desórdenes mentales	2 889	586	4,9
Sistema urogenital	2 383	3 519	0,7
Piel y tejido subcutáneo	1 552	3 875	0,4
Infecciones y parásitos	782	3 053	0,3
Neoplasias	713	882	0,8
Sangre y órganos hematopoyéticos	304	135	2,3
Total	61 687	41 748	1,5

Tabla 4. Tasa de incidencia en liquidadores de Bielorusia (1995, casos por 100,000 personas) (Matsko, 1999)

Enfermedad	Liquidadores	Población de Bielorusia (mayores de 18 años)
Cáncer de tiroides	23.1	7.1
Cataratas	462.8	156.1
Neoplasias malignas (linfáticos y de órganos hematopoyéticos)	26.1	18.6
Enfermedades respiratorias	24 781	23 831
Enfermedades del aparato digestivo	7 784	1 651
Enfermedades endocrinas, desórdenes nutricionales, y desórdenes inmunitarios	3 427	518
Enfermedades de la sangre y de tejidos hematopoyéticos	304.4	69.4
Desórdenes mentales	3252	1090



De acuerdo a algunos datos (Gylmanov y otros, 2001), las razones generales de invalidez de los liquidadores son enfermedades del sistema cardiovascular (47,2 %); del sistema nervioso (19,8 %); enfermedades digestivas (15,4 %) y neoplasias (8,8 %). De acuerdo con otros datos (Gerasymova y otros, 2001; Problemas... 2002) – son enfermedades del sistema nervioso (28,4 %), circulatorias (24,0 %) y desórdenes mentales (15,7 %).

Incluso los datos del registro oficial nacional (evidentemente minimizados) muestran que la morbilidad de los liquidadores rusos, en una serie de índices, han aumentado de forma esTabla durante los últimos años (Cuadro 5).

Tabla 5 Dinámica de los casos recientemente detectados de enfermedades de los liquidadores rusos (por 100 000) en 1997 – 2001 por RNMDR (*after Ivanov y otros, 2004*)

Enfermedades	1997	1999	2001	% incremento
Neoplasias	1,17	1,47	1,84	158
Sangre y órganos hematopoyéticos	0,36	0,43	0,56	156
Infecciones y parasitosis	1,14	1,40	1,52	133
Cardiovascular	12,04	14,54	15,52	129

En una amplia investigación (3.882 personas) se observó la dinámica de morbilidad general entre liquidadores en los 15 años siguientes a la catástrofe (Karamalluin y otros, 2004). La morbilidad general entre liquidadores de menos de 30 años en el momento de la catástrofe se triplicó en 15 años; en el grupo de edad de 31 a 40 años, la morbilidad máxima inicial cayó en los 8 o 9 años tras la catástrofe.

Entre los liquidadores ucranianos la enfermedad general aumentó 3,5 veces durante los primeros diez años (Serduk, Bobyleva, 1998). Se observó un noTabla incremento en patología somática y en enfermedades oncológicas (de mayor incidencia que en la población general) entre los liquidadores ucranianos (Golubchikov y otros, 2002).

También se observó una tasa creciente en el número de diferentes enfermedades por persona (polimorbilidad): antes de 1991 – 2,8 enfermedades por persona, en 1995 – 3,5 en 1999 – 5,0. (Lyubtchenko and Agal'tzev, 2001).

Las causas comunes de invalidez en los liquidadores rusos son enfermedades del sistema cardiovascular (47,2 %), del sistema nervioso (19,8 %), enfermedades del aparato digestivo (15,4 %) y neoplasias (8,8 %), lo cual supone el 91,2% de todas las causas de invalidez (Gylmanov y otros, 2001). Dentro de la lista de todas las enfermedades, la prioridad es para las patologías de los órganos digestivos, el sistema circulatorio, sistema neurológico y órganos sensoriales. Estas tres clases de enfermedad constituyen el 85-87% de todas las causas de invalidez entre los liquidadores ucranianos (Bebeshko and Kovalenko, 19994 Prysyzhnyuk y otros, 2002). Varios años después de la catástrofe el proceso de invalidez se hizo más notorio (Cuadro 6).

Tabla 6 Dinámicas de invalideces (por 1,000) entre liquidadores por grupos de dosis 1990-1993 (basado en RSMDR, de Ryabzev, 2002)

Año	0-5 cGy	5-20 cGy	Más de 20 cGy
1990	6,0	10,3	17,3
1991	12,5	21,4	31,1
1992	28,6	50,1	57,6
1993	43,5	74,0	84,7

Existe datos relativos a un decrecimiento en la potencia sexual entre la mitad de los liquidadores varones examinados (Dubivko, Karatay, 2001) y el deterioro de la espermatogénesis entre liquidadores varones (Oganesyan y otros, 2002).

3. Mortalidad

Existen 4.136 casos de muerte registrados entre las muestra de 52.714 liquidadores entre 1991 y 1998, según datos oficiales del Registro Estatal Ruso (Ivanov y otros, 2002), y durante los 15 años siguientes a la catástrofe, más de 10.000 liquidadores murieron (Gerasymova y otros, 2001). El cociente estandarizado de mortalidad (standardized mortality ratio (SMR)) varía de 0,78 a 0,88 entre estas muestras para los 4 grupos de causas de muerte:

- Por todas las causas
- Por neoplasias malignas
- Por todas las causas, excepto neoplasias malignas
- Por traumatismos y envenenamientos.

Estadísticamente esto no difiere del grupo de control de la población. Los datos con respecto a los empleados del instituto de Kurchatovs demuestran resultados similares al de los liquidadores (Shikalov at al., 2002). Se informa oficialmente de un incremento de las muertes por cáncer entre 66.000 liquidadores rusos (la dosis media calculada en unos 100 mSv) durante el período de observación de 1991 a 1998 (Maksioutov, 2002). El coeficiente ETT se estima que es de 2,04 Sv-1 (95% CI: 0.45 - 4.31).

Estos datos difieren substancialmente de los otros. De acuerdo a los datos de A.A. Gilmanov y otros, (2001) la mortalidad entre liquidadores varones es mayor de 1,4 a 2,3 veces que en los grupos de edad correspondientes a grupos dentro de la población. Los cálculos realizados por el autor de esta reseña muestran que la edad media de 162 liquidadores que murieron en un período de 10 años en la ciudad de Tollyaty (Provincia de Samarskaya, Rusia) era de unos 46,2 años (Tymonin, 2005). La duración de la vida media de los 169 liquidadores de los institutos de industria nuclear que murieron entre 1986 y 1990 era de 45,5 años (Tukov y otros, 2000). En la provincia de Kaluga – datos del registro nacional – la edad media de muerte del 84,7% de los liquidadores era de sólo 30 a 39 años (Lushnykov and Lantzov, 1999).

De acuerdo con el registro de liquidadores de empresas del sector nuclear (se examinaron 14,827 hombres y 2.825 mujeres) los niveles de mortalidad se incrementaron entre las personas con enfermedades del sistema circulatorio; del sistema vegetativo - vascular y de distonía neuro-circulatoria (Tukov y otros, 2002). Según otro datos (Gylmanov y otros, 2001); enfermedades del sistema circulatorio (50.9 %); traumatismos (26.3 %); neoplasias (5.3 %) y enfermedades de los órganos digestivos (5.3 %) fueron las causas más recientes de mortalidad entre los liquidadores varones. En 1993 las principales causas de mortalidad global



de la muestra fueron (Problemas... 2002); traumatismos y envenenamiento (46 %); enfermedades de los órganos del sistema circulatorio (29 %) y neoplasias malignas (13 %).

El riesgo de muerte prematura para este grupo de liquidadores se recopiló como sigue (Ignatov y otros, 2004);

- Por neoplasias malignas – 16.3%
- Por enfermedades del sistema hematológico – 25.9%
- Por traumatismos y envenenamientos – 39,6%
- Por otras causas– 18,2%

Desde el Consejo de la Interagencia Oficial de Expertos en Rusia el porcentaje de mortalidad entre liquidadores rusos en el año 2000 fue (Khrysanfov and Meskich, 2001);

- 63 % - patologías circulatorias;
- 31% - neoplasias malignas;
- 7% - patologías del tracto digestivo;
- 5% - patologías del pulmón;
- 5% - traumatismos y envenenamiento;
- 3% - tuberculosis.

4. Ejejecimiento prematuro

Los procesos de envejecimiento prematuro son típicos entre los liquidadores. Muchas enfermedades de los liquidadores se desarrollan 10 ó 15 años antes que la media de la población. Entre las características de este envejecimiento prematuro están (Javoronkova y otros, 2002; Holodova and Zubovsky, 2002; Vartanyan y otros, Krasylenko, Eler Ayad, 2002);

- Una ruptura de las funciones físicas superiores;
- Una acumulación enfermedades típicamente encontradas en la vejez pero incongruente con la edad del liquidador (10,6 diagnósticos por cada liquidador, 2,4 veces mayor que el grupo de control);
- Cambios degenerativo-distróficos en diferente órganos y tejidos;
- Envejecimiento acelerado de los vasos cerebrales;
- Un desequilibrio en el sistema antioxidante.

Esta investigación, que duró 10 años, de un grupo de 942 liquidadores invalidos (de 50 a 70 años de edad) mostró que, en el 42% de los casos, las enfermedades cerebro vasculares fueron la principal causa de invalidez; en el 30% de los casos fueron enfermedades del sistema cardio vascular e hipertensión. Todos los liquidadores tenían enfermedades adicionales tales como enfermedades degenerativas del aparato osteo - motor, enfermedades del sistema alimenticio y diabetes tipo 2. Estas son las dolencias típicas del envejecimiento (Zubovsky and Malova, 2002).

5. Cáncer

Por este tiempo, el Registro Nacional de Rusia había acumulado evidencias relativas a un incremento en la frecuencia de neoplasias malignas entre los liquidadores que trabajaron entre 1986 y 1987 (Ivanov and Tsyb, 2002). Antes de 1996, de acuerdo con estos datos, se encontraron 52 casos de leucemia entre los liquidadores, 47 casos de cáncer de tiroides y 1.786 casos de otros tipos de cáncer. La frecuencia de leucosis y cáncer de tiroides era más elevada que los niveles espontáneos en los mismos grupos de edad dentro de la población (Ivanov y otros, 2001).

Todos estos casos de cáncer, tal como se reseña oficialmente (Ivanov y otros, 2004), concuerdan, dentro de un intervalo de fiabilidad del 95%, con las tasas de la población general en Rusia. Se observa, por cierto, que las estimaciones de riesgo de radiación son preliminares porque el período de repetición es bastante corto (Ivanov y otros, 2004, p. 180).

Al mismo tiempo, un análisis detallado de grupos concretos lleva a conclusiones bastante distintas. Por ejemplo; la incidencia de neoplasias malignas en liquidadoras es estadísticamente distinta y es más alta que la incidencia en grupos de misma edad correspondientes a la población femenina de Rusia (Islamova, 2004); la relación estandarizada de enfermedad (the standardized illness relation (SIR)) en cáncer en todos los lugares es de 1,34 (CI 1,17-1,79); para el cáncer de tiroides el SIR es de 7,85 (CI 3.23-8.77); en el cáncer de mama el SIR es 1,84 (CI 1.23-2.45).

Los datos más fiables sobre el cáncer para liquidadores bielorusos se muestran en el cuadro 7.

Tabla 7 Incidencia de cáncer entre liquidadores varones bielorusos, 1993 – 2000, por 100 000. (Okeanov y otros, 2004)

localización	Liquidadores	Grupo de control
Todas las localizaciones*	400,8 ±7,7	361,2±6,4
Colon*	21,6±1,8	16,1±0,6
Vejiga urinaria*	16,9±1,6	10,4±0,4
Recto	19,1±1,7	17,9±0,6
Pulmón	56,9±2,9	53,9 ±1,6
Pecho	59,8 ±6,7	57,3 ±0,9
Riñón	16,2±1,6	13,0±0,9

*Diferencias Significativas

La tasa de incidencia de leucemia entre liquidadores ucranianos se muestra en el Cuadro 8.

Tabla 8 Tasa de incidencia de leucemia entre liquidadores ucranianos (Imanaka, 2002)

Year	Tasa de incidencia (por 100 000)	
	Liquidadores-1986	Liquidadores-1987
1987	13,33± 4,71	-
1988	6,42 ± 3,21	6,32 ± 4,47
1989	14,06 ± 4,69	4,41 ±3,12
1990	14,50 ± 4,59	5,32 ± 3,07
1991	18,13 ± 4,84	7,74 ± 3,46
1992	12,59 ± 3,98	12,02 ± 4,25
Total	13,35 ± 1,80	7,04 ±1,57

El incremento más significativo en cáncer de tiroides se produce entre 1990- 1993 y 1994-1997, entre liquidadores ucranianos que trabajaron en 1986-1987. Para los liquidadores que trabajaron entre 1986-1987, la tasas de incidencia de leucemia y linfoma era significativamente alta entre los años 1990-1993 y 1994-1997. En 1989-1991 se observó un alto riesgo de leucemia para los liquidadores de 1986 en comparación con los liquidadores de



1987. Los liquidadores rusos en el mismo período mostraron un incremento en todos los tipos de leucemia, incluyendo leucemia linfóide crónica y leucemia mieloide crónica. En liquidadores bielorusos que estuvieron expuestos entre 1986-1987 se vió un incremento de leucemia aguda en 1990-1991 (Ledoshchuk and Gudzenko, 2001; Ivanov y otros, 1997; Pryayazhnyuk y otros, 2002). Se observó asimismo un incremento estadísticamente significativo en la tasa de incidencia de cáncer de mama en el período 1994-1997 en liquidadoras expuestas en 1986-1987 (Pryayazhnyuk y otros, 2002).

6. Enfermedades del sistema nervioso, órganos sensoriales y enfermedades psiquiátricas

El nivel de morbilidad de enfermedades del sistema nervioso y de los órganos sensoriales entre liquidadores ucranianos triplicó el nivel medio en el país en 1996 (Serduk and Bobyleva, 1998), y entre los liquidadores rusos 6,4 veces en 1995 (About ecological... 2002).

Entre los liquidadores, el número de personas con deterioro de la memoria –tales como reducción de la capacidad de memorizar palabras e imágenes- es inusualmente alto. Tales deterioros están relacionados con cambios orgánicos dentro de la estructura de los lóbulos frontales del cerebro. 80 liquidadores varones que fueron examinados en 1986 que sufrían encefalopatía, les fueron encontrados una inferioridad estructura/funcional en los lóbulos frontales del cerebro y en la región temporal izquierda, incluyendo las conexiones corticales-subcorticales (Antypchuk, 2002, 2003). Entre 150 liquidadores varones estudiados (44.5 ± 3 years old), se encontraron evidencias de formas lentas de actividad y decreciente asimetría inter-hemisférica {sic}, un decremento en la calidad de ejecución de todos los tests cognitivos, un deterioro en la memoria y en otras funciones psicológicas superiores (Javoronkova y otros, 2002). La media de edad de los liquidadores (varones y mujeres) con encefalopatía es de 41.2 ± 0.83 años (Stepanenko, 2003); que es considerablemente más baja para la población en general.

Los datos clínicos y electro-neuro-miográficos muestra que entre los liquidadores, el deterioro del sistema nervioso periférico se produce como resultado de una polineuropatía vegeto-sensitiva, lo que difiere de otros tipos de polineuropatías (Sokolava, 2000).

Las investigaciones sobre alteraciones entre 400 liquidadores (entre 24-59 años) muestra que tienen una marcada reducción en actividad funcional del CNS, lo que está condicionado por un daño irreversible de las estructuras del cerebro (Antonov y otros, 2003, Tsygan y otros, 2003).

No cabe duda de los desórdenes psíquicos está muy extendidos entre los liquidadores (Nyagu and Loganovsky, 1998; Rumyantseva y otros, 2002 y otros). 10 años después de la catástrofe se encontró que los desórdenes psíquicos entre los liquidadores rusos eran 4,3 a 6 veces más frecuentes que en los grupos correspondientes de población. Se observó un alto nivel de desórdenes psiquiátricos entre liquidadores ucranianos, especialmente en 1990-1993 (Nyagu y otros, 1999).

Los cambios patológicos en la estructura del cerebro incluyen atrofia y ensanchamiento de los ventrículos y cambios focales (Loganovsky y otros, 2003; Nyagu and Loganovsky, 1998). Entre los liquidadores, los índices de desórdenes neuro-psíquicos son varias veces más elevados que entre otros grupos de población dentro de la zona NPP (Nyagu y otros, 2002).

Hasta el 45,9% de los liquidadores tienen desórdenes auditivos (Zabolotny y otros, 2001). Las tasas de incidencia en cataratas entre liquidadores bielorusos son más del doble que la población en general (Cuadro 9)

Tabla 9 Tasas de incidencia (por 100 000) de cataratas en Bielorusia, 1993-1994 (Goncharova, 2000)

	Liquidadores	Población de Bielorusia
1993	281,4	136,2
1994	420,0	146,1

7. Sistema respiratorio

Durante un tiempo, la incidencia de enfermedades broncopulmonares crónicas entre los liquidadores aumentó (Jakushin and Smirnova, 2002; Tseloval'nykova y otros, 2003); se observan especialmente desórdenes asociados a la regulación de la respiración causada por una disminución funcional de la capacidad pulmonar y una disminución de la elasticidad debido al debilitamiento de las estructuras intersticiales de la barrera del sangre-aire y del desarrollo de fibrosis peri-alveolar por la radiación (Kuznetsova, 2004). Se ha demostrado que la mayoría de los liquidadores que fueron expuestos en 1986-1987 a la influencia de la inhalación de nucleidos radioactivos han desarrollado desórdenes de respiración progresivos (Chykina y otros, 2002).

8. Sistema cardiovascular

El nivel de la morbilidad entre los liquidadores con distonía vascular vegetativa, 10 años después de la catástrofe, excedió el nivel medio para Ucrania 16 veces (Serduk and Bobyleva, 1998). 13 años después de la catástrofe el nivel de enfermedades cardiovasculares entre los liquidadores rusos era 4 veces más alto que en los grupos correspondientes de la población (Bol'shov y otros, 2000). La frecuencia del desarrollo y la evidencia de desórdenes de los órganos cardiovasculares entre los liquidadores (especialmente entre los liquidadores expuestos en 1986-1987) son especialmente altas comparadas con la población en general. Los resultados de una investigación típica se presentan en el Cuadro 10.



Tabla 10 Algunas características del sistema cardiovascular de los liquidadores varones, provincia de Voronejskaya, Rusia (*Babkin y otros, 2002*)

Indice	Liquidadores (n=56)	Habitantes del territorio contaminado (n=60)	Control (n=44)
AD – sístole	151,9 ± 1,8	129,6 ± 2,1	126,3 ± 3,2
AD –diástole	91,5 ± 1,5	83,2 ± 1,8	82,2 ± 2,2
CHD %	9,1	46,4	33,3
infartos, %	4,5	16,1	0
grosor medio de la pared de la arteria carótida	1,71 ± 0,90	0,81 ± 0,20	0,82 ± 0,04
Carga hereditaria, %	25	25	27,3

De los actuales datos podemos ver que el grupo de liquidadores se diferencia del resto de los grupos, lo que es especialmente significativo considerando que todos los grupos comparten un fondo genético similar.

Se ha puesto de manifiesto que entre 118 liquidadores, estudiados durante 15 años, un tercio de ellos había desarrollado enfermedad isquémica cardíaca (Noskov, 2004). En otro estudio, se reveló un incremento ($p < 0,05$) en la incidencia de enfermedad isquémica cardíaca CHD, desde un 14,6% en 1993 hasta un 23,0 % en 1996 entre grupos controlados de liquidadores (Strukov, 2003), también fue observado el síndrome de hipodinamia del miocardio y una disminución del tono vascular arterial de la circulación mayor (Kovaleva y otros., 2004) y de un aumento de la presión sistólica arterial (Zabolotny y otros, 2001). Entre los liquidadores de Kishinev (República de Moldova) las enfermedades cardiovasculares se han triplicado en los último años (el doble que el grupo de control): el 25% tiene infiltración de la aorta y un 22 % tiene el ventrículo izquierdo hipotrófico (Kirke, 2002). Los distintos desórdenes de la circulación cerebral se han descubierto entre la mayoría de liquidadores expuestos entre 1986-1987 (Romanova, 2001; Bazarov y otros, 2001). Esto tiende a ocurrir debido a un cambio en las características constructivas de arterias y de arteriolas pequeñas (Troshina, 2004). 10 años después de la catástrofe, un examen de 410 liquidadores que fueron expuestos en abril de 1986 ha demostrado que la dinámica de los índices de la patología vascular cerebral crónica, de la hipotensión arterial, de CHD y de infartos es más alta que los índices del grupo de control. Es crucial observar estos cambios entre los liquidadores jóvenes pues indican una sensibilidad creciente a los factores implicados en los efectos de la radiación (Kuznetsova y otros, 2004).

9. Sistema músculo esquelético

El dolor en huesos y articulaciones es típico para la inmensa mayoría de los liquidadores. Aproximadamente el 50-57% de los liquidadores examinados muestran manifestaciones de osteoporosis y osteopatías. La exposición en los grupos de edades jóvenes a menudo lleva al desarrollo de estas enfermedades (Nikitina, 2002; Shkrobot y otros, 2003; Kirke, 2002). 12 años después de la catástrofe, se descubrió osteoporosis difusa en la estructura mandibular del 88% de los liquidadores examinados (Drujynina, 2004).

Todos los liquidadores examinados en esta fase han manifestado desórdenes en la circulación sanguínea ocular, incluyendo “*crimps*” {sic}, aneurisma y “*succises*” {sic} (Rud y otros, 2001). Los desórdenes conjuntivos y vasculares generales eran 10 veces más frecuentes entre los liquidadores que en el grupo de control ($p < 0,001$).

Estos desórdenes micro-circulatorios entre los liquidadores son típicos como resultado de daños en el endotelio capilar – parte interior de los capilares (Petrova, 2003).

10. Piel

El 97% de liquidadores con psoriasis la han desarrollado después de la catástrofe. En todos los casos, la psoriasis viene acompañada por desórdenes funcionales del sistema nervioso y debilitamiento del tracto alimenticio (Maljuk y Bogdantsova, 2001).

11. Sistema sanguíneo y linfático

Se han observado desórdenes relacionados con el sistema sanguíneo y linfático entre los liquidadores. Estos difieren considerablemente de los índices del grupo de control:

- La duración media de relajación-NMR de T1 en plasma sanguíneo (Popova y otros, 2002)
- Estado de las membranas de los eritrocitos según el índice de la actividad de la reacción del receptor-lectina (Karpova and Koretskaya, 2003).
- Un desequilibrio de las fracciones medias de componentes moleculares en plaquetas, en eritrocitos y en el plasma sanguíneo (Zagradskaya, 2002).
- Una disminución de la dispersión del multiplicador granular {sic} en los núcleos del linfocito
- Una disminución del área y de la distancia del perímetro de la zona ingranular y de un aumento frecuente de la irregularidad dentro de esta zona (Akulich, 2002)
- Cambios en la cantidad de leucocitos, eritrocitos y linfocitos en la sangre periférica (Tukov y otros, 2002).

Incluso después de diez años, la linfopoyesis continúa alterada entre los liquidadores (Cuadro 11).

Tabla 11 Dinámica de correlación de tipos de linfopoyesis (%) entre liquidadores rusos (by Karamullin y otros, 2004)

	Tipos de linfopoyesis		
	Quasi-normal	Hiper-reactivación	Hipo-reproducción
Liquidadores alrededor de 5 años después de la catástrofe	32	55	13
Liquidadores 5-9 años después de la catástrofe	38	0	62
Liquidadores 10-15 años después de la catástrofe	60	17	23
Grupo sano (control)	76	12	12



12. Enfermedades del aparato digestivo y otros órganos internos

Se registran 3,5 a 4 veces más frecuentemente enfermedades de aparato digestivo entre liquidadores bielorusos que entre el resto de la población adulta del país (Antypova y otros, 1997). Un estudio controlado de 118 liquidadores, durante 15 años reveló (Noskov, 2004):

- Cambios en el hígado - 40,6 % ;
- Cambios en la estructura del páncreas - 60,2 %;
- Espesamiento de la pared de la vesícula biliar – 29 %;
- Urolitiasis - 25 %;
- Cambios en la glándula tiroides - 60,2 %.

Los cambios del páncreas se incrementaron con el tiempo (Cuadro 12).

Tabla 12 Dinámica de cambio (% de los examinados) en el páncreas entre liquidadores varones ucranianos (Kamarenko y otros, 2002; Komarenko and Polyakov, 2003)

	1987-1991	1996-2001
Engrosamiento de la glándula	31	67
Incremento de la ecogenicidad del tejido	54	81
Cambio de la estructura	14	32
Cambio del contorno	7	26
Cambio de la cápsula	6	14
Ensanchamiento el canal de Wirsung	4	10
Todos los cambios de la ecoestructura	37,6 (1987)	87,4 (2002)

13-15 años después de la catástrofe, los liquidadores, en comparación con grupos de control, tienen (Pimenov, 2001; Drujynina, 2004);

- Desarrollo intenso de caries;
- Abrasión dental patológica;
- Enfermedades periodontales y de la membrana mucosa del interior de la boca

En 1996, la incidencia de úlcera de estómago entre liquidadores ucranianos era 3,5 veces más alta que la media de Ucrania (Serduk and Bobyleva, 1998).

13. Alteraciones hormonales

En los 13 años posteriores a la catástrofe, la morbilidad del sistema endocrino entre los liquidadores rusos era 10 veces más alta que en los grupos correspondientes de la población (Bol'shov y otros, 2000). Se descubrió entre los liquidadores una profunda reorganización de la regulación de la pituitaria y cambios en la producción hormonal en las glándulas endocrinas (Drygina, 2002). El 22% de varones liquidadores examinados habían aumentado la cantidad de prolactina (la hormona pituitaria), lo que es típico solamente para las mujeres jóvenes (Strukov, 2003).

Durante 1990-1994 el riesgo de las enfermedades de la glándula de tiroides era 8.9 veces más alto entre los liquidadores de Belorrusia que entre la población adulta de Belarus y en 1996 las enfermedades de la glándula de tiroides entre los liquidadores eran 11, 9 veces más comunes que entre la población adulta de Belarus (Antypova y otros, 1997). En un amplio grupo de liquidadores masculinos rusos expuestos en 1986-1987 (1.752 personas), se descubrió un aumento importante en el número de casos de cambios estructurales en el tejido de la glándula de tiroides, 6-7 años después de la catástrofe (Cuadro 13).

Tabla 13 Dinámica (número de casos en %) de los cambios estructurales del tejido de la glándula de tiroides de liquidadores masculinos ucranianos (según Lyashko y otros, 2000).

Característica	1992 r.	1994 r.
Formación nodal	13,5	19,7
Hiperplasia	3,5	10,6
Tiroiditis	0,1	1,9

La morbilidad de la tiroiditis crónica en liquidadores ucranianos estaba entre la media en el período 1992 -1995 y en 2001 aumentó el 154% (Moskalenko, 2003). La mayoría de 500 liquidadores examinados durante los primeros años después de la catástrofe tenía alteraciones importantes en el sistema suprarrenal pituitario. En 6 años hubo una regulación de los índices del estudio para el estado de reposo, pero esta renormalización no ocurrió para la condición de la carga funcional (Mitryaeva, 1996).

14. El crecimiento del número de anomalías genéticas - mutaciones

Numerosos estudios poco después de la catástrofe mostraron la presencia de mutaciones cromosómicas radiogénicas en los linfocitos de los liquidadores, de los cuales un cierto número de ellos estaba relacionado con la dosis de radiación recibida (Shevchenko y otros, 1995; Svirnovsky y otros, 1998; Begenar, 1999; Shykalov y otros, 2002). Durante los primeros años después de la catástrofe, el número de cromosomas con anomalías inestables (dicentricos y cromosomas en anillo) y también esTablas (desplazamiento, inserción) se incrementó substancialmente (Oganesyan y otros, 2002; Demyna y otros, 2002; Maznik, 2003). En un cierto plazo, los índices de eliminación de anomalías del cromosoma tipo y de las irregularidades del genoma entre los liquidadores que fueron expuestos a una radiación más alta disminuyeron (Maznik and Vinnykov, 1997). 10-15 años después de la catástrofe, el nivel de anomalías esTablas en los linfocitos de la sangre periférica de los liquidadores se incrementó de forma constante (Mel'nikov y otros, 1998; Pilinskaya, 1999; Pilinskaya y otros, 2003).

Entre los liquidadores expuestos en 1986, el nivel más alto de daño genético fue observado en los constructores del sarcófago y en los dosimetristas (Cuadro 14)



Tabla 14 Caracteres citogenéticos de los liquidadores en 1986 en 3 meses (Shevchenko, Snegireva, 1999)

Grupo	Personas, n	Número de células n	Anormalidades cromosómicas, n	Anillos discentricos + centricos
Personal de la central eléctrica nuclear de Chernobyl	83	6015	23.7 ± 2.0*	5.8 ± 1.0*
Constructores del "Sarcófago"	71	4937	32.4 ± 2.5*	4.4 ± 0.9*
Dosimetristas	23	1641	31.1 ± 4.3*	4.8 ± 1.7*
Conductores	60	5300	14.7 ± 1.7*	3.2 ± 0.8*
Médicos	37	2590	13.1 ± 2.3*	2.7 ± 1.0*
Población de Pripyat	35	2593	14.3 ± 2.4*	1.9 ± 0.8*
Control	19	3605	1.9 ± 0.7*	0 - -

* $p < 0.05$;

Se llevó a cabo un estudio citogenético 8-9 años después de la catástrofe que mostraba que en este grupo de liquidadores la frecuencia de células con desplazamientos casi cuadruplicaba a las del grupo de control (Shevchenko, Snegireva, 1999). La cantidad de anomalías cromosómicas manifestaron un claro máximo en 1992-1993 (Cuadro 15).

Tabla 15 Dinámica de los caracteres citogenéticos (Mean ± SEM, 10^{-3}) de los linfocitos de los liquidadores 1990 – 1995 (Shevchenko, Snegireva, 1999)

	Personas, n	Células anotadas, n	Anormalidades cromosómicas, n	Anillos discentricos + centricos	Cdr + ace*
1990	23	4268	14.9 ± 1.9*	1.0 ± 0.5*	5.3 ± 1.1
1991	110	20077	19.7 ± 1.0*	0.9 ± 0.2*	6.8 ± 0.6*
1992	136	32000	31.8 ± 1.0*	1.4 ± 0.2*	9.0 ± 0.5*
1993	75	18581	34.8 ± 1.4*	0.9 ± 0.2*	11.9 ± 0.8*
1994	60	181793	1.8 ± 1.3*	1.8 ± 0.3*	10.3 ± 0.8*
1995	41	12160	18.8 ± 1.2*	0.4 ± 0.2	7.3 ± 0.8*
Control	82	26849	10.5 ± 0.6	0.2 ± 0.1	3.9 ± 0.4

* $p < 0.05$;

* Cdr – células que contienen anillos discentricos y/o centricos; ace - acéntricos.

15. Alteraciones del sistema inmunitario

El sistema inmune de los liquidadores está en condiciones inestables, dando por resultado un estado de inmunodeficiencia. Muchos liquidadores, 10-15 años después de la catástrofe, tienen una desviación en los índices cuantitativos de inmunidad celular y humoral y cambios en el estado inmune (Melnov y otros, 2003; Matvienko y otros, 1997; Shubnik, 2002; Gajeeva y otros, 2001; Novykova, 2003; Soloshenko, 2002; Korobko y otros, 1996; Potapnev y otros, 1998; Bazyka y otros, 2002; Maluk and Bogdantsova, 2001; Grebnyuk y otros, 1999).

Estos cambios aparecen en:

- Cambios en la correlación de la sub-población de linfocitos T, T-helpers y T-supresores
- Una disminución general en el conteo de linfocitos T y B
- Una disminución en los niveles de inmuno globulina en suero de los tipos A, G, y M
- Producción irregular de citocinas
- Activación de los granulocitos neutrófilos

Ha tenido lugar un aumento de la morbilidad debido a las enfermedades alérgicas tales como rinitis (6-17 veces más) y urticarias (4-15 veces más) en liquidadores de la ciudad de Obninsk (Rusia) 7-9 años después de la catástrofe en comparación con la población de la ciudad (Tataurstchykova y otros, 1996). 4 años después de la catástrofe solo el 17% de los liquidadores examinados habían repuesto los niveles del neuropéptido dermofina, y más del 50% había disminuido los niveles de otros neuropéptidos (de leucoencefalina y metionina encefalina) (Sushkevich y otros, 1995).

La mayoría de los 400 liquidadores ucranianos examinados sufren cambios en la ultraestructura de los neutrófilos (destrucción de contenidos, hiper-segmentación del núcleo, crecimientos polimórficos anómalos y otros) y en los linfocitos (incrementos en la sinuosidad del contorno de la membrana, segregación de la cromatina y de componentes estructurales del nucleolo) (Zak y otros, 1996).

17. La salud de los hijos de los liquidadores

Existen cada vez más datos referentes al precipitado descenso en la salud de los hijos de los liquidadores. Los hijos de los liquidadores ucranianos tienen mayor morbilidad de órganos digestivos, aparato respiratorio, del sistema nervioso y del sistema endocrino. Están sujetos a malformaciones congénitas, condiciones hereditarias e incremento de enfermedades infecciosas (Ponomarenko y otros, 2002).

En las áreas donde tuvieron lugar los estudios de las familias (por ejemplo en la provincia de Razanskaya; Lyaginskaya y otros, 2002), se demostró lo siguiente:

- Un incremento de la frecuencia de recién nacidos enfermos
- Un incremento de la frecuencia de malformaciones congénitas
- Un incremento de la frecuencia de nacimientos de niños con un peso inferior a los 2.500 gramos
- Un retraso en el desarrollo pre-natal
- Mayor frecuencia de enfermedades en general.

Tales enfermedades son más comunes entre los hijos de liquidadores expuestos entre 1986-1987 (Cuadro 16).



Tabla 16 La salud de los hijos de los liquidadores
(según Lyaginskaya y otros, 2002)

	El padre recibió 5 y más cSv	El padre recibió 5 cSv	Todos los niños en la provincia Ryazan
Coefficiente de retrasos en el desarrollo prenatal	3	2	1
Morbilidad	El más alto	Intermedio	Bajo
Número de malformaciones congénitas	El más alto	Intermedio	Bajo
Nacimientos malsanos	Muchos nacimientos	Intermedio	Unos pocos

En los estudios de morbilidad de los hijos de liquidadores existe una prevalencia de desórdenes crónicos de los órganos de oído, nariz y garganta, desviación de leucocitos, anomalías sustanciales del sistema nervioso, caries plural, gingivitis crónica y anomalías del sistema dental-mandibular (Marapova and Hytrov, 2001).

También es interesante que los niños examinados tienen un mayor número de anomalías cromosómicas en las células somáticas. El número de supresiones, inversiones del anillo, de isocromátidas y fragmentos únicos y de casos de poliploides se ha incrementado (Ibragymova, 2003).

Incluso según los datos evidentemente minimizados del registro nacional ruso, entre los hijos de los liquidadores, menos del 30% está considerado como “sano” (Cuadro 17).

Tabla 17 Estado de salud de los hijos de los liquidadores
(V. Ivanov y otros, 2004)

Grupo	Liquidadores (%)	Sus hijos (%)
“sano”	8,6	27,8
“necesita más investigación”	24,0	54,4
“enfermo”	67,4	17,7

18. Conclusión

Esta revisión se basa en el material que fue publicado en gran parte entre 2000 - 2004 y discute datos referentes a la salud de los liquidadores 10-15 años después de la catástrofe. El número total de las publicaciones que tratan este problema incluye más de 1.500 artículos y otros papeles y resumir este volumen de investigación requeriría no un artículo sino varias monografías. Sin embargo, los datos de esta revisión son suficientes para llegar a una conclusión: La salud de las personas que participaron en medidas para reducir al mínimo las consecuencias del accidente de Chernobyl, y que recibieron dosis adicionales de radiación, es desastrosa. Los liquidadores mueren mucho antes, caen enfermos con más frecuencia y permanecen enfermos más tiempo (con muchas enfermedades) que la gente de los grupos de misma edad correspondientes a través de Rusia, de Belarus y de Ucrania.

Esto sucede a pesar de la asistencia médica regular, adicional e intensiva, incluyendo las medicinas y los tratamientos de sanatorio/balneario. Gracias a un examen médico más cuidadoso podemos decir definitivamente que las consecuencias de la radiación en dosis pequeñas no se pueden reducir a la “radio-phobia”, o a la “persecución”, o a los problemas socio-económicos, como es ampliamente demandado por los especialistas relacionados con la industria nuclear.

El material referente a la salud de los liquidadores muestra que algunas estructuras del sistema nervioso (incluyendo en sistema nervioso central) son especialmente dañadas por la radiación de bajo nivel. Distintas células epiteliales (incluyendo en revestimiento de los capilares) y el sistema inmunitario son también muy vulnerable.

Datos referentes a la salud de los liquidadores muestran que la falsificación oficial de datos médicos entre 1986-1989 excluye la posibilidad de una valoración exacta de las consecuencias completas de la catástrofe de Chernobyl. Por ejemplo el “Foro O.N.U de Chernobyl” indica que 50 liquidadores han muerto debido a enfermedad aguda por la radiación, cerca de 300 liquidadores ha muerto de cánceres y se predicen para el futuro menos de 5.000 muertes de cáncer adicionales relacionados con Chernobyl . Sin embargo, los datos aquí considerados demuestran que estas cifras deben incrementarse en dos o tres órdenes de magnitud (es decir, estas cifras deben multiplicarse por 100 o por 1.000).

En virtud de mejorar la eficacia del tratamiento para los liquidadores sería conveniente obtener datos de ESR individual (dosimetría del esmalte dental) y del método FISH (hibridación in situ de la fluorescencia), para determinar el daño causado al ADN, lo que proporcionaría una mejor medida retrospectiva de la dosis que los registros oficiales, que son claramente incorrectos.



Referencias

- About the ecological factors of the worsening of the demographical situation.** 2002. «Ecological Security of Russia». Material of Interagency Commiss. On Ecolog. Security, RF Security Council (September 1995 – April 2002), 4, Moscow, pp. 211- 225 (in Russian).
- Akulich N.V.** 2003. Epigenotype of the lymphocytes among persons exposed the ionizing impact. Selected Sci. Papers, Mogilev' State Univ. name A.A. Kuleshov, Mogilev, pp.204 -207 (in Russian).
- Alymov N.I., Pavlov A.Yu. Sedunov S.G., Gorshenin A.V., Popovich V.I., Loskutova N.D., Belobrovkin E.A.** 2004. The estimation of the condition of the immune system of the organism of the persons living on the territory exposed to the radiation impact because of the catastrophe on Chernobyl NPP. «Med.-biol. Problems of anti-radiation and anti-chemical protection”. Collect. Of Papers Russian Sci. Confer., Sankt-Petersburg, May 20-21, 2004, Sankt-Peterburg, pp. 45 - 46. (in Russian).
- Antypova S.I., Korjunov V.M, Polyakov S.M., Furmanova V.B.** 1997. Problems of the health state of the participants of the liquidation of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. «Med.-biol. Effects and ways to overcome the consequences of the Chernobyl accident», Collect. of Sci. Papers, devout. 10th anniversary of Chernobyl' accident. Minsk – Vitebsk, p. 3 (in Russian).
- Antypova S.I., Korjunov V.M., Suvorova I.V.** 1997a. The tendencies of liquidator's morbidity with chronic non-specific diseases. «Actual problems of the med. rehabilitation of the sufferers after Chernobyl' catastrophe», Materials Sci.- Pract. Conf., devout. By 10th anniversary of Republican Hospital of Radiation Medic. (Minsk, 30 June, 1997), Minsk, pp. 59 – 60 (in Russian).
- Antypchuk K.Yu.** 2003. Memory state of the persons who have had the acute radiation sickness because of the catastrophe of Chernobyl's NPP in the remote period. Ukrainian Radiol. Jour., vol. 11, № 1, pp. 68 -72 (in Ukrainian).
- Antonov M.M., Vasil'eva N.A., Dudarenko S.V., Rozanov M.Yu., Tsigan V.N.** 2003. Mechanisms of forming of psychosomatic irregularities under the influence of small dozes of ionizing radiation. New Med. Thechnol. Herald, vol. 10, № 4, pp. 52 – 54 (in Russian).
- Arynychina N. T., Milkamanovich V.K.** 1992. The Comparison characteristic of the 24-hour monitoring data of heart arrhythmias among invalids with the ischemic heart disease living on the territories polluted by the radioactive nuclides and in clean regions of Belarus. Abstracts, Jubille Conf. 125th Belarus Sci. Therapeutic Soc., Minsk, 22-23 December, 1992, Minsk, pp. 75 – 76 (in Russian).
- Babkin A.P., Choporov O.N., Kuralesin N.A.,** 2002. The features of the diseases of the cardiovascular system of liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe and of the persons who live on polluted territories. Labor and Industr.- Ecolog. Med., № 7, pp. 22 – 25 (in Russian).
- Baeva E.V., Sokolenko V.L.,** 1998. Expression of T-cellular superficial marker by the lymphocytes of persons exposed to the small dozes of radiation. Immunology, № 3, pp. 56 – 59 (in Russian).
- Bazarov V.G., Belyakova I.A., Savchuk L.A.,** 2001. Cerebral dynamic under the experimental vestibular stimulation among liquidators of the catastrophe consequences. Jour. Ear, Nose and Throat Illness, № 4, pp. 1 – 5 (in Ukrainian).
- Bazyka D., Chumak A., Byelyaeva N.** 2003. Immune cells in Chernobyl radiation workers exposed to low dose irradiation. Int. J. Low Radiation, vol. 1, pp. 63 -75.
- Bebeshko V.G., Kovalenko A.N. (Eds.)** 1999. Medical Consequences of Chernobyl nuclear power station accident. Book 2. Clinical aspects of the Chernobyl catastrophe. Kiev, “MEDECOL” interdisciplinary Scientific and Research Centre BIO-ECOS, 399 p. (In Russian).

- Begenar V.F.** 1999. Immune hematological and cytogenetic aspects of the impact of small doses of radiation on women organism. Russ. Associate Obstetric - Gynecol. Herald, № 1, pp. 33 – 36 (in Russian).
- Bero M.P.,** 1999. The distribancies of sexual health of male liquidators. Jour. Psych. Med. Psychology, № 1(5), pp. 64 – 68 (in Russian).
- Bol'shov L.A., Aruthyunyan P.V., Linge I.I., Barkhudarov R.M., Osypyants I.A., Gerasymova N.V., Blinov B.K., Marchenko T.A., Zyborov A.M.,** 1999. Chernobyl's catastrophe. Results and problems of overcoming of its consequences in Russia 1986-1999. (www.ibrae.ac.Ru/russian/chernobyl/nat_rep_99/13let_text.html) (in Russian).
- Chernobyl:** medical consequences (in 18 years after). 2004. LigaBusinessinform, 22 april
- Chekyna S.Yu., Pashkova T.L., Kopylev I.D., Chernyaev A.L., Samsonova M.V., Aysanov Z.R., Chuchalin A.G.** 2002. Functional state of the respiratory system of the liquidators of the Chernobyl's catastrophe: the results of seven years observation. Pulmonology, № 4, pp. 66 -71 (in Russian).
- Chuchalin A.G.** 1996. Pathology of respiratory organs among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. Therapeutic archives, vol.68, № 3, pp. 5-7 (in Russian).
- Gajeeva T.P., Tchekotova E.V., Krotkova M.V.** 2001. The state of the immunity of male liquidators after the Chernobyl's catastrophe. 11th Intern. Symp. Bioindicators. "Modern problems of Bioindication and Biomonitoring", Syktyuykar, 17-21 September, 2001. Syktyuykar, p. 31 (in Russian).
- Gerasymova N.V., Blinov B.K., Marchenko T.A., Zyborov A.M., Onischenko G.G., Ivanov S.I., Permynova G.S., Goncharik N.V., Kurganov A.A., Bol'shov L.A., Aruthyunyan P.V., Linge I.I., Barkhudarov R.M., Belyaev S.T., Tsib A.F., Ivanov V.K., Alexahin R.M., Il'in L.A., Izrael Yu.A.** 2001. Chernobyl's catastrophe. Results and problems of overcoming of its consequences in Russia 1986-2001. Russian National Report , RF Ministry of Emergency Situation, Moscow, 39 p. (www.ibrae.ac.ru/russian/nat_rep2001.html) (in Russian).
- Golubchikov M.V., Mikhenko Yu. A., Babynets A.T.** 2002. The changes in the state of health of the population of Ukraine in post-catastrophe period: Reports 5-th Anual sci. pract. Conference «To 21 century with safety nuclear technology», Slavytich, 12-14 April, 2001, Scientific and technological aspect of the Chernobyl, № 4, pp. 579-581 (in Ukrainian).
- Goncharova R.I.** 2000. Remote consequences of the Chernobyl Disaster: Assesment After 13 Years. In: E.B. Burlakova (Ed.). Low Doses Radiation: Are they Dangerous? NOVA Sci. Publ., pp. 289 – 314.
- Gylmanov A.A., Molokovich N.I., Sadykova F.H.** 2001. Health state of liquidators' children. Diagnostics, treatment and rehabilitation. Materials Intern. Inter-disciplinary Sci.- Practical Conf., devoted by 15th anniversary of the Chernobyl' catastrophe, Kazan', 25 - 26 April, 2001. Kazan', pp. 25 – 26 (in Russian).
- Demyna E.A., Klyushin D.A., Petunin Yu.I.** 2002. Cytogenetic and carcinogenic effects of small doses on liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. Abstracts, 3rd Intern. Symp. "Mechanism of the Ultra-Law doses action", Moscow, 3 - 6 December, 2002, Moscow, p. 71 (in Russian).
- Dregyna L.B.** 2002. Clinic-laboratory estimations of the state of adaptive-regulation systems of liquidators in remote times. Doc. Thesis, Biol. Sci., All-Russian Center Emergency and Radiation Medic., Sank- Petersburg, 25 p. (in Russian).
- Drujynina I.V.** 2004. The condition of the bone tissue of jaws of persons who took part in the liquidation of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. Materials Inter-region. InterUniversities Sci. Students Conf., Perm', 5-7 April, 2004. vol. 1, Perm' - Izhevsk, pp. 53 -54 (in Russian).



- Dubivko G.F., Karatay Sh.S.** 2001. Dependence of the sexual function of a man from the stressors and radioactive impacts. Diagnosis, cure and rehabilitation suffering in emergency cases. Materials Intern. Interdisciplinary Sci.-practical Conf., devoted by 15th Anniversary of the Chernobyl' Catastrophe, Kazan', 25 - 26 April, 2001, Kazan', pp. 113 -117 (in Russian).
- Grebenyuk A.N., Bejenar' A.F., Antushevitch A.E., Lutov R.V.** 1999. About estimation of the immune statue of women after radiation and chemical factors impact. Military.-Med. Journ., № 11, pp. 49 – 54 (in Russian).
- Ibragymova A.I.** 2003. Clinic data about the genotoxic influence of the ionizing radiation. Russ. Herald of Perinatology and Pediatric, vol. 48, № 6, pp. 51 – 55 (in Russian).
- Imanaka T. (Ed.)**. 2002. Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Recent Research Activities about the Chernobyl Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto University Research Reactor Institute. Kurri-Kr-79, July
- Islamova A.R.** 2004. Morbidity with the malignant neoplasms of female liquidators. Doc. Thesis, Med. Sci., Obninsk, Med. Radiolog. Sci. Center, 19 p. (in Russian).
- Ivanov V.K., Matveenkov E.G., Birjukov A.P.** 1996. Analysis of a new revealed sickness of the liquidators of Kalugskaya province. «Chernobyl Legacy», Mater. Sci.-Practical Conf. "Med.-Psycholog., Radioecological and Social-Economical aspects of liquidation of consequences oa Chernobyl Accident in Kaluga Province", Kaluga - Obninsk, 2, pp. 233 – 234 (in Russian).
- Ivanov, E.P. et al.** 1997. Chernobyl registry and hematological surveillance of Belarus liquidators. p. 171-192 in: Sixth Symposium on Chernobyl-Related Health Effects, Tokyo, 10-11 December.
- Ivanov V.K., Tsyb A.F., Nilova E.V.** 1997. Cancer risks in the Kaluga oblast of the Russian Federation 10 years after the Chernobyl accident. Radiat. Environ. Biophys. Vol. 36, pp. 161-167.
- Ivanov V.K., Rastopchin E.M., Gorsky A.L.** 1998. Cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident: solid tumors, 1986-1995. Health Phys., vol. 74, pp. 309 - 315.
- Ivanov V.K., Tsyb A.F., Ivanov S.I.,** 1999. Liquidators of the Chernobyl's catastrophe: radiation-epidemiologic analysis of medical consequences. Moscow, Publ. "Galanis", 312 p. (in Russian).
- Ivanov V., Tsyb A., Ivanov S., Pokrovsky V.** 2004. Medical Radiological Consequences of the Chernobyl Catastrophe in Russia. Estimation of Radiation Risk. St. Petersburg, Publ. "Science", 388 p. (in Russian).
- Il'in L.A., Kryuchkov V.P., Osanov D.P., Pavlov D.A.,** 1995. Levels of the radiation of the liquidators in 1986-1987 and the verification of dosimetric data. Radiat. Biol. Radioecology, vol. 35, 6, pp. 803 – 827 (in Russian).
- Javoronkova L.A., Rygov B.N., Barmakhova A.B., Kholodnova N.B.,** 2002. Features of the disturbances of EEG and of cognitive functions after the impact of the radiation. Russ. Acad. Sci. Reports, vol. 386, № 3, pp. 418 – 422 (in Russian).
- Kamarenko D.I., Glukhen'kiy E.V., Polyakov O.B.** 2002. Structural changes of the pancreas of the liquidators of the Chernobyl's catastrophe, which were revealed by the prospective sonographic data in the remote period. Ukran. J. Hematology Transfusiol., № 5, pp. 28 – 32 (in Ukrainian).
- Karamullin M.A., Sosukin A.E., Shutko A.N., Nedoborsky K.V., Yazenok A.V., Ekymova L.P., Grischuk A.V., Babhak A.V.** 2004. Importance of the factor of the doze of the radiation for the forming of the sickness in the remote period among the participants of the liquidation of the consequences of the Chernobyl's catastrophe according of their age. Abstracts, "Actual Questions of Radiation Hygiene", Sci.-Practical Conf., Sankt-Peterburgh, 21 - 25 June, 2004, Sankt-Peterburg, pp. 170 – 171 (in Russian).

- Karpova I.S., Koretskaya N.V.**, 2003. The influence of the character of the radiation doze on the activity of the receptor-lectin reaction at liquidators of the Chernobyl's catastrophe. *Biopolymers and Cell*, vol. 19, № 2, pp. 133 -139 (in Ukrainian).
- Kirke L.** 2002. Early development of some diseases among the liquidators of the Chernobyl's catastrophe. Reports, 7th Intern. Sci.-Practical Conf. "Aging Pacient. Quality of Life", Moscow, 1 - 3 October, 2002, *Hospital Gerontology*, vol. 8, № 8, p. 83 (in Russian).
- Kharchenko V.P., Zubovsky G.A., Kholodnova N.B.** 1995. Changes in the brains among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. *Herald of Roentgenology and Radiology*, № 1, pp. 11 – 14 (in Russian).
- Kholodova N.B., Zubovsky G.A.** 2002. Polymorbidity like a syndrome of the premature aging in the remote period after the irradiation with the small dozes. Reports, 7th Intern. Sci.-Practical Conf. "Aging Pacient. Quality of Life", Moscow, 1 - 3 October, 2002, *Hospital Gerontology*, vol. 8, № 8, p. 86 (in Russian).
- Klimenko D.I., Snysar I.A., Samophalova E.G.** 1996. Immunologic reactivity and functional state of hearing and of vestibular analyzer of liquidators of the Chernobyl's catastrophe. Remote consequences of irradiation for immune and haemopoetic systems. *Abstarcts, Sci.-Pract. Conf.*, 7-10 May, 1996, Kiev, pp. 29 – 30 (in Ukrainian).
- Komarenko D.I., Polyakov O.B.** 2003. Post-radiational pancreatopathy: remote consequences of the ionizing radiation. *Gastro-Enterology Herald*, № 1, pp. 31 -35 (in Ukrainian).
- Korobko I.V., Korit'ko S.S., Blet'ko T.V., Korbut I.I.** 1996. Features of functioning of the interferon system among the liquidators. *Immunology*, № 1, pp. 56 – 58 (in Russian).
- Krasylenko E.P., Eler Ayad M.S.** 2002. Age features of the intersystem correlation of the cerebral hemodynamics among persons with high genetic or ecological risks of the development of the cerebro-vascular pathology. *Aging and Longevity Problems*, vol. 11, № 4, pp. 405 – 416 (in Russian).
- Kuznetsova S.M., Krasylenko E.P., Kuznetsov V.V.** 2004. Vascular diseases of the brain and cerebral blood circulation of the participants of the liquidation of the Chernobyl's catastrophe. *Hospital Gerontology*, vol. 10, № 8, pp. 18 – 28 (in Russian).
- Law.** 1996. Federal law "about the introduction of changes and of additions into the Law of Russian Federation "About the social protection of citizens exposed to the influence of the radiation because of the catastrophe on Chernobyl NPP", December 11, 1996.
- Leberman A.N.** 2003. Radiation and reproductive health. Sankt-Peterburg, Publ. "New Century", 225 p. (in Russian).
- Ledoshchuk B.A., Gudzenko N.A.** 2001. Haemoblastosis in liquidators: 15 years after Chernobyl catastrophe. Main results and perspective. In: International Conference "Fifteen Years after the Chernobyl Accident. Lessons Learned", Kiev, Chornobylinterinform. pp. 3-10 (in Russian).
- Loganovsky K.** Medical consequences of the Chernobyl's catastrophe: what do we know after 19 years? (www.chornobyl.net/ru/261/prn/) (in Russian).
- Loganovsky K. N.** 1999. Clinic-medical aspects of the psychiatric consequences of the Chernobyl's catastrophe. *Social and Medical Psychiatry*, vol. 9, 1, pp. 5 – 17 (in Russian).
- Loganovsky K.M., Kovalenko O.M., Yur'ev K.L., Bomko M.O., Antypchuk K.Yu., Denisjuk N.V., Zdorenko L.I, Rossokha A.P., Chornij A.G., Dubrovena G.V.** 2003. Verification of the organic affection of the brain in the remote period of the acute radiation sickness. *Ukrainian Medical Annual Report*, № 6, pp. 70 – 78 (In Ukrainian).
- Lushnykov E.F., Lantsov S.I.** 1999. Mortality of liquidators in Kalujskaya province in 10 years after the catastrophe on Chernobyl's NPP. *Med. Radiol. and Radiat. Safety*, vol. 44, № 2, pp. 36 – 44 (in Russian).



- Lyaginskaya A.M., Osypov V.A., Smirnova O.V., Isichenko I.B., Romanova S.V.** 2002. Function of reproduction of the liquidators of the consequences of the Chernobyl's accident. *Med. Radiol. and Radiat. Safety*, vol. 47, № 1, pp. 5 – 10 (in Russian).
- Lyashko L.I., Tsib A.F., Sushkevich G.N.** 2000. Radioactive nuclide's methods in the diagnostics of the thyroid gland diseases among the liquidators of the Chernobyl's catastrophe. Intern. Conf. "Modern Problems of Nuclear Medicine and Radio-pharmacology", 2nd Congr. Russ. Soc. Nuclear Medicine, Obninsk, 23 - 27 October, 2000, Obninsk, pp. 95 – 96 (in Russian).
- Maksioutov M.M.** 2002. Radiation Epidemiological Studies in Russian National Medical And Dosimetric Registry: Estimation of Cancer and Non-Cancer Consequences Observed among Chernobyl Liquidators. In: Imanaka T. (Ed.). Recent Research Activities about the Chernobyl Accident in Belarus, Ukraine and Russia. Kyoto University, Research Reactor Institute, Kyoto. Pp. 168 – 187.
- Maljuk E.S., Bogdantsova E.N.** 2001. The features of the appearance and of the clinical course of psoriasis of the liquidators of the consequences of the Chernobyl's NPP. *Collect. Of Sci. Papers «185 years Krasnodar Region. Med. Hospital, named Prof. S.V. Otchapovsky»*, Krasnodar, p. 134 (in Russian).
- Marapova L.A., Hytrov B.Yu.** 2001. The stomatologic status of liquidator's children. «Diagnostic, cure and rehabilitation of sufferers during emergency operations», *Materials Intern. Interdisciplinary Sci.-Pract. Conf., devoted by 15th anniversary of the Chernobyl catastrophe*". Kazan', 25 - 26 April, 2001, Kazan', pp. 193 -195 (in Russian).
- Matsko M.P.** 1999. Current state of Epidemiological Studies in Belarus about Chernobyl Suffers. In: Imanaka T. (Ed.). Research Activities about the Radiological Consequences the Chernobyl NPS Accident and Social Activity the Suffers by the Accident. Kyoto University, Research Reactor Institute, Kyoto, pp.127 -138.
- Matvienko V.N., Javoronok S.V., Sachek M.M.** 1997. Flowing cytometric analysis of subpopulations of lymphocytes of the peripheral blood of the liquidators. «Med.-Biol. Effects and ways to overcome of the consequences of the Chernobyl NPP Accident», *Collect. of Sci. Papers, devoted by 10th anniversary of Chernobyl NPP' Accident*. Minsk- Vitebsk, pp. 34 – 36 (in Russian).
- Maznik N.A., Vinnykov V.A.** 1997. The dynamics of the Cytogenetic effects in the lymphocytes of the peripheral blood of liquidators of the Chernobyl's catastrophe. *Genetics and Cytology*, vol. 31, № 6, pp. 41 – 46 (in Russian).
- Maznik N.A., Vinnykov V.A., Maznik V.S.** 2003. The estimation of the distribution of individual dozes of the radiation of the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe, according to data of the cytogenetic analysis. *Radiat. Biol., Radioecology*, vol. 43, № 4, pp. 412 – 419 (in Russian).
- Medical consequences of the Chernobyl's catastrophe.** 1995. The results of the IPHECA Pilot Projects and National Programmes. *Sci. Report, WHO, Geneva*, 560 p.
- Mel'nikov S.B., Koryt'ko S.S., Greschenko M.V.** 1998. The dynamic of the cytogenetic status of the liquidators. *Public Health*, № 2, pp. 21 – 23 (in Russian).
- Mel'nov S.B., Koryt'ko S.S., Aderyho K.N., Kondrachuk A.N., Shymanets T.V., Nikonovich S.N.** 2003. The estimation of the immunological status of liquidators of 1986-87, in remote periods after the participating in catastrophe works. *Immuno-pathology, Allergology and Infectology*, № 4, pp. 35 – 41 (in Russian).
- Mitryaeva N.A.** 1996. The hypothalamo-pituitary-adrenal axis of the liquidators of the consequences of the Chernobyl's NPP. *Med. Radiology and Radiol. Safety*, vol. 41, № 3, pp. 19 – 23 (in Russian).
- Mitjunin A.** 2005. National consequences of the liquidations of the Chernobyl's catastrophe. *Atomic Startegy at XXI Century*, № 1, 22 p. (in Russian).

- Nekytina N.V.** 2002. Study of the mineral density of the bone and of the intensity of the exchange of the bone tissue of the liquidators of the consequences of the Chernobyl's NPP. Abstracts, 6th Region. Conf. Junior Researchers of Volgograd Province, Volgograd, 13 -16 November, 2001 , Volgograd, pp. 87 – 88 (in Russian).
- Noskov A.I.** 2004. Visceral organs' pathologies in Chernobyl' NPP liquidators under 15th years observations. Materials Sci. - Pract. Conf. with Intern. Participation and Workshop for Junior Scientists "Modern achievements of the fundamental sciences for solving actual medical problems", Astrakhan', pp. 272 – 274 (in Russian).
- Novykova N.S.** 2003. Clinic-immunological characteristics of the liquidators of the consequences of the Chernobyl's NPS in the remote period. Doc. Thesis, Med. Sci., Novosibirsk State Medical Academy, Novosibirsk, 22 p. (in Russian).
- Nyagu F.I., Loganovsky K.N.** 1998. Nero-psychiatric effects of ionizing irradiation. Kiev, Publ. Chernobylinterinform, 350 p. (in Russian).
- Nyagu A.I., Loganovsky K.N., Chuprovsky N.U. et al.** 1999. Neuropsychiatric effects in: V.G.Bebeshko, A.N.Kovalenko (Eds). - Book 2. Clinical aspects of the Chernobyl catastrophe. - K.: "MEDECOL" interdisciplinary Scientific and Research Centre BIO-ECOS, Kiev, pp. 154 - 186 (In Russian).
- Oganesyan N.M., Asryan K.V., Mirydjanyan M.I., Petrosyan Sh.M., Pogosyan A.S., Abramyan A.K.** 2002. Estimation of medical consequences of low doses impact on Armenian liquidators of Chernobyl' accident. Abstracts, 3rd Intern. Symp. "Mechanisms of UltraLow Doses action", Moscow, 3 – 6 December, 2002, p. 114 (in Russian).
- Okeanov A.E., Cardis E., Antipova S.I.** 1996. Health status and follow-up of the liquidators in Belarus. In: "The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident". Proc. 1st Intern. Conf., Minsk, Belarus, March 1996, pp. 851 – 859.
- Okeanov A.E., Sosnovskaya E.Y., Priatkina O.P.** 2004. A national cancer registry to asses trends after the Chernobyl accident. Swiss Med. Weekly, 134, pp. 645 – 649.
- Onyschenko N.P., Kokueva O.V., Sofina L.I., Hosroeva D.A., Litvynova T.N.** Method of the forecasting of the extent of the risk of the development of the chronic pancreatitis among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's NPP. Patent 2211449 Russia, MPK {7} G-1N 33/48, G01N 33/50 / - N 2001114065/14; Declaration from 25.05.2001; Publication data 27.08.2003, Bull. N 24.
- Petrova I.N.** 2003. Clinical meaning of the micro circular irregularities under the morbus hypertonicus among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's NPP. Doc. Thesis, Med. Sci., Kuban State Medical Academy, Krasnodar, 22 p. (in Russian).
- Pilinskaya M.A.** 1999. Cytogenetic effects in the somatic cells of faces like the biomarkers of the influence of ionizing radiation in small doses of persons who suffered in consequence of the Chernobyl's catastrophe. Intern. Jour. Radiat. Med. № 2, pp. 60 – 66.
- Pilinskaya M.A., Dybsky S.A., Dybs'ka O.B., Pedan L.R.** 2003. Cytogenetic examination of the participants of the liquidation of the Chernobyl's catastrophe consequences with FISH method. Ukran. Medical Science Academy Reports, vol. 9, № 3, pp. 465 – 475 (in Ukrainian).
- Ponomarenko B.M., Bobyl'ova O.O., Prokleena T.L.** 2002. Present-day state of children's health born by persons suffered in Chernobyl's catastrophe. Ukrainian Herald of social hygiene and organization of public health, № 4, pp. 19 – 21 (in Ukrainian).
- Popova O.V., Shmarov D.A., Budnik M.I., Kozhinets G.I.** 2002. The study of NMR relaxation of blood plasma under the influence of ecological factors of extra-slight intensity. Abstracts, 3rd Intern. Symp. "Mechanisms of Ultra-Low dose action", Moscow, 3 - 6 December, 2002, Moscow, p. 124 (in Russian).



- Potapnev M.P., Kuz'menok O.I., Potapova S.M., Smol'nykova V.V., Mislitsky V.F., Rjeutsky V.A., Vasylevskaya T.A., Vahsukhina L.V.** 1998. Functional insufficiency of T-cell immunity among the liquidators in 10 years after the catastrophe on Chernobyl NPP. Belarus National Academy Sci. Reports, vol. 42, № 4, pp. 109 – 113 (in Russian).
- Preeblyova N.N., Sydorets V.M., Neronov A.F., Ovsyannikov A.G.** 2004. The results of the examination of liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. Collect. of Papers, 69th Final Sci. Session Kursk State Medical University and Dept. Med.-Biol. Sci. Central-Black Soil Sci. Center, Russ. Acad. Med. Sci., Kursk, part 2, pp. 107 – 108 (in Russian).
- Problems of the ensuring of the ecological and of the radiation- sanitary safety of the regions suffered from the radiation pollution. 2002.** «Russian Ecological Safety». Materials Ineragency Comm. Of Ecological Safety, RF Security Council (September 1995 – April 2002), part 4, Moscow, pp. 178 – 203 (in Russian).
- Prokopenko N.A.** 2003. Pathology of the cardiovascular and of the nervous systems as a consequences of the synergism of radiation affection and of the psycho-emotional tension of the persons suffered from the catastrophe on the Chernobyl's NPP. Aging and Longevity Problems, vol. 12, № 2, pp. 213 – 218 (in Russian).
- Pryayazhnyuk A.E., Greeschenko V.G., Fedorenko Z.P., Fedorenko V.A., Gulak L.O., Fuzik N.N., Slypenjuk E.M., Bormasheva I.V.** 1999. Epidemic study of the malignant neoplasms among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. Intern. Jour. Radiat. Med., № 2, pp. 42 – 50 (in Russian).
- Regulation** of the Constitutional court of RF about the case of checking of the constitutionality of some states of the 1st asset of the Federal law from the 24th November 1995 “About the carrying in of changes and of additions into the Law of RF “About the social guard of citizens exposed to the influence of the radiation because of the Chernobyl's catastrophe”. (http://www.ksrf.ru/doc/postan/p18_97.htm) (in Russian).
- Romanenko N.I., Bobrova V.I., Nemchinova T.G., Golovchenko Yu. I.** 1995. The features of the influence of small doses of ionizing radiation on the condition of nervous system. Materials Intern. Conf. 24 – 28 May, 1995, Kiev, Ukraine, Kiev, p. 264 (in Russian).
- Romanenkova V.** 1998. Russia – Chernobyl – Liquidators – Health. Joint Lent of News, TASS, 24 April, 1998 (rv/lp 241449 APR 98).
- Romanova G.D.** 2002. Features of the cerebral hemodynamics and of the functional state of brain among liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. Doc. Thesis, Med. Sci., All-Russian Center for Extreme and Radiat. Medicine, Sankt-Peterburg, 17 p. (in Russian).
- Rud' L.I., Dubinkyna V.O., Petrova I.N. Kolomijtseva N.E.** 2001. State of the blood stream in the supratrochlear artery and of the vegetative regulation under the arterial hypertension among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. «New Tech. of Eyes' Micro-Surgery”, Materials 12th Sci.- Pract.. Conf., Orenburg, 14 November, 2001, Orenburg, pp. 298 – 299 (in Russian).
- Rumyantseva G.M., Chinkina O.V., Levina T.M.** 2002. Psychosomatic aspects of the development of the psychical violations of the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. Psychotherapy and Psychopharmacology, vol. 4, № 1, pp. 1 – 5 (www.consilium-medicum.com/media/psycho/02_01/7.shtml) (in Russian).
- Seenyakova O.K., Rjeutsky V.A., Vasylevich LM.** 1997. The analysis of some indexes of the state of health of children of the participants of the liquidation of the Chernobyl's catastrophe consequences. “Actual Questions Med. Rehab. Suffers of Chernobyl' Catastrophe”, Materials Sci.-Pract. Conf., devoted 10th anniversary Republ. Hospital of Radiat. Medicine (Minsk, 30 June, 1997), Minsk, pp. 44 – 45 (in Russian).

- Serduk A.M., Bobyleva O.A.** 1998. Chernobyl and the health of the Ukraine population. 2nd Intern. Conf. «Remote med. Consequences of the Chernobyl Catastrophe», Kiev Ukraine, 1 - 6 June, 1998, Kiev, p. 132 (in Russian).
- Shevchenko V.A., Semov A.B., Akaeva E.A.** 1995. Cytogenetic effects among the persons suffered from the catastrophe on the Chernobyl's NPP. *Radiat. Biology, Radioecology*, vol. 35, # 5, pp. 646 – 653 (in Russian).
- Shykalov V.F., Usatyi A.F., Sevintsev Yu.V., Kruglova G.I., Kozlova L.V.** 2002. Analysis of sweep-biological consequences of the Chernobyl's catastrophe for the liquidators – employees of Russian Scientific Center “Kurchatov's Institute”. *Med. Radiology and Radiat. Safety*, vol. 47, № 3, pp. 23 – 33 (in Russian).
- Shkrobot C.I., Gara I.I., Salij Z.V., Furdela M.Ya.** 2003. Features of the clinical passing of the vegetative disfunction and the state of the mineral thickness of bone tissue among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. *Scientific herald Ternopol. State Med. Academy*, № 2, pp. 80 – 81 (in Ukrainian).
- Shubik V.M.** 2002. Immunologic changes in the remote period after the influence of small doses of ionizing radiation. Abstracts, 3rd Intern Symp. "Mechanisms of Ultra-Low Dose action", Moscow, 3 - 6 December, 2002, Moscow, p. 154 (in Russian).
- Sokolova A.V.** 2000. The diagnostics and the treatment of the vegetative sensor polyneuropathy of the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. *Doc. Thesis, Med. Sci. Perm' State medical Academy, Perm'*, 37 p. (in Russian).
- Soloshenko E.N.** 2002. State of immune homeostasis among the sick with spread dermatosis, which were exposed to the radiation during the Chernobyl's catastrophe. *Ukrainian Jour. Hematology and Transfusiology*, № 5, pp. 34 – 35 (in Ukrainian).
- Stepanenko I.V.** 2003. Dependence of the changes of the immunologic indexes on the blood pH among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. *Laborat. Diagnost.*, № 3, pp. 21 – 23 (in Russian).
- Strukov E.L.** 2003. Endocrine control under the cardiovascular diseases and under some disfunctions of endocrine organs among persons exposed to the influence of the factors of Chernobyl's catastrophe. *Doc. Thesis, Med. Sci. All-Russian Center for Extreme and Radiat. Medicine, Sankt-Peterburh*, 42 p. (in Russian).
- Sushkevich G.N., Tsib A.F., Lyasko L.I.** 1995. The level of neuropeptides among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. «Actual and Future disturbances of psychical health after nuclear catastrophe in Chernobyl», *Materials Intern. Conf., Kiev*, 24 - 28 May 1995, Kiev, “Chernobyl Doctors” Assoc., p. 70. (in Russian).
- Svirnovsky A.I., Shamanskaya T.V., Bakun A.V.** 1998. About the hematological and cytogenetic indexes of the persons suffered from the catastrophe on the Chernobyl's NPP. 2nd Intern Conf. “Remote Medical Consequences of the Chernobyl catastrophe», Kiev, Ukraine, 1 - 6 June 1998, Kiev, p. 360 (in Russian).
- Talalaeva G.V.** 2002. Change of the biological time of the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. *Herald of Kazakh National Nuclear Centre*, # 3, 11 p. (in Russian).
- Tataurschykova N.S., Seedorovich I.G., Ardabatskaya T.B., Zelenskaya N.S., Polyushkina N.S.** 1996. The analysis of the prevalence of the allergic pathology among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. *Hematology and Transfusiology*, vol. 41, № 6, pp. 18 – 19 (in Russian).
- Tlepshukov I.K., Baluda M.V., Tsib A.F.** 1998. Change of the haemostatic homeostasis among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. *Hematology and Transfusiology*, vol. 43, № 1, pp. 39 – 41 (in Russian).



- Troshina O.V.** 2004. The features of the cerebral hemodynamics and of the peripheral neuromotor apparatus in the remote period among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. Doc. Thesis, Med. Sci., Institute of Total pathology and pathophysiol., Moscow, 23 p. (in Russian).
- Tseloval'nykova N.V., Balashov N.S., Efremov O.V.** 2003. Prevalence of the diseases of the respiratory organs among the liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. «Prophylactics as base for modern public health», Materials 38th Interregional Sci.-Pract. Conf. of Physicians, Ul'yanovsk, pp. 133 -135 (in Russian).
- Tsib A.V., Ivanov V.K.** 2000. Medical consequences of the Chernobyl's catastrophe: forecast and factual data of the National register (www.ibrae.ac.ru/russian/register/register.html) (in Russian).
- Tsygan V.N., Dudarenko S.V., Antonov V.M., Rosanov M.Yu., Vasil'eva N.A.** 2003. Mechanisms of formations of the psychosomatic disorders under low doses impact. Modern Medicine. Theory and Practice, № 5, pp. 16 – 21 (in Russian).
- Tukov A.R., Shafransky I.L., Kleeva N.A.** 2002. Comparison of the indexes of peripheral blood and of the doze of external radiation among male liquidators of the consequences of the Chernobyl's catastrophe. Med. Radiol. And Radiat. Safety, vol. 47, № 6, pp. 27 – 32 (in Russian).
- Tymonin L.** 2005. Letters from the zone. Tol'yatty Publ. «Agny», 199 p. (in Russian)
- Vartanyan L.S., Gurevich S.M., Kozachenko A.I., Nagler L.G., Burlakova E.B.** 2002. Remote consequences of the influence of small ionizing radiation dozes on the condition of enzymatic antioxidant system of people. Reports, 3rd Intern. Symp. "Mechanisms of the Ultra-Low dose action", Moscow, 3 - 6 December, 2002. Radiat. Biology. Radioecology, vol. 43, № 2, pp. 203 – 205 (in Russian).
- Yakushin S.S., Smirnova E.A.** 2002. Ecological and medical aspects of the radioactive nuclides pneumopathy. Abstracts, All-Russian Sci-Thech. Conf. Students, Young Scientists and Specialists, Ryazan', pp. 2 – 3 (in Russian).
- Zabolotniy D.I., Shildovskaya T.V., Rymar V.V.** 2001. Hemodynamic irregularities in the carotid system and in vertebrobasilar one among the victims in the result of the Chernobyl's catastrophe. Jour. Ear, Nose and Throat Illness., № 4, pp. 5 – 13 (in Ukrainian).
- Zagradskaya O.V.** 2002. Clinic-metabolite aspects of the remote consequences of the impact of the radiation among liquidators suffering from CHD. Doc. Thesis, Med. Sci., Perm' Styate Med. Academy, Perm' 24 p. (in Russian).
- Zak K.P., Butenko Z.A., Mikhaylovskaya E.V.,** 1996. Hematological, immunological and molecular-genetic monitoring of the participants of the liquidation of the catastrophe on the Chernobyl's NPP. Abstracts, «Remote Consequences Changes in Immune and Haemopoet. systems», Sci.-Pract. Conf., Kiev, 7-10 May 1996, Kiev, pp. 12 – 13 (in Ukrainian).
- Zubovsky G.A., Malova Yu.V.** 2002. The Features of the aging of liquidators organisms. Reports, 7th Intern. Sci.-Pract. Conf. "Aging Patient. Quality of Life", Moscow, 1-3 October 2002, Medical Gerontology, vol. 8, № 8, c. 82 (in Russian).

¿Hubo síndrome de irradiación aguda entre los habitantes en un radio de 30 km?

Tetsuji Imanaka

*Research Reactor Institute, Universidad de Kioto
Kumatori-cho, Osaka 590-0494 Japón, imanaka@rri.kyoto-u.ac.jp
Traducción de: Elena Mendoza Sánchez
(Facultad de Traducción y Documentación, Universidad de Salamanca)*

Introducción

Según el informe del Foro sobre Chernobyl de 2005⁽¹⁾, como consecuencia del síndrome de irradiación aguda (SIA) derivado del accidente de la CN de Chernobyl, 28 personas murieron, todas ellas pertenecientes al cuerpo de bomberos y al personal de la CN que estaban de servicio en el momento del accidente. Sin embargo, se aseguró que no se produjo SIA entre los habitantes que se encontraban en los alrededores de la CN de Chernobyl en el momento del accidente. Esta opinión de carácter oficial se ha repetido en numerosas ocasiones desde la primera conferencia de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) sobre el accidente de Chernobyl, celebrada en agosto de 1986.⁽²⁻⁴⁾ Se calculó que la dosis externa media de los evacuados en un radio de 30 km de la CN de Chernobyl fue de 20 y 30 mSv para los territorios de Ucrania y Belarús (antes Bielorrusia), respectivamente. Por su parte, la dosis máxima individual se estimó entre 400 y 300 mSv para los evacuados ucranianos y bielorrusos, respectivamente. Basándose en la noción tradicional de que el SIA sólo se da en los casos en los que la exposición a la radiación es superior a 1.000 mSv, se concluyó que dicho síndrome no pudo producirse de ninguna manera entre los evacuados de un radio de 30 km de la CN de Chernobyl.

Por otro lado, tras la caída de la URSS, en varias publicaciones aparecieron pruebas de que se había observado SIA entre los habitantes de los alrededores de Chernobyl. En 1992, Yaroshinskaya reveló el contenido de unos protocolos secretos del Partido Comunista Soviético que encerraban información sobre una serie de casos de SIA entre habitantes de los alrededores de Chernobyl, de los que se informó al Grupo Operativo del Buró Político del Comité Central del Partido Comunista en Moscú.^(5,6) La Tabla I recoge extractos de la información contenida en los protocolos. A pesar de que el número de muertes y enfermedades graves descrito en los protocolos por lo general se corresponde con el de las ocurridas entre los bomberos y el personal de la planta, los casos citados del SIA entre niños nos muestran que hubo otros muchos casos de SIA entre los habitantes de los alrededores de la CN de Chernobyl. Asimismo, cabe destacar que, según el protocolo, el día 6 de mayo dos niños fueron ingresados en el Hospital número 6 de Moscú, que alberga el centro nacional para el tratamiento de SIA en la URSS. Lupandin también apuntó la existencia de casos de SIA entre los habitantes después de que en 1992 examinara historiales médicos que se encontraban en el Hospital Central del distrito de Khoyniki, en la región de Gómel (Belarús).^(7,8) Así, contabilizaba ocho casos que presentaban claramente SIA y otros 82 casos con síndromes que se consideraban relacionados con la exposición a la radiación.



En este artículo se analiza nuevamente la posibilidad de que se diera SIA entre los habitantes, centrándonos en la cuestión de la exposición a la radiación de las personas que vivían en los alrededores de la CN de Chernobyl en el momento del accidente.

Radiactividad y contaminación

La explosión en el reactor número 4 de Chernobyl tuvo lugar a la 1:23h del 26 de abril de 1986. Los testigos declararon que hubo varias explosiones seguidas, como fuegos artificiales en mitad de la noche. Entonces el reactor comenzó a arder, situación que se prolongó durante más de diez días, emitiendo enormes cantidades de radiactividad al medio que rodeaba la zona. Según el informe de la URSS de 1986,⁽³⁾ hasta el 6 de mayo continuó emitiéndose diariamente una gran cantidad de radiactividad, como muestra la Figura 1. Hay resaltar que la cantidad emitida que se muestra en la Figura 1 está corregida por decaimiento a partir de la actividad del día 6 de mayo. Es decir, teniendo en cuenta el decaimiento debido a la semivida de los radionucleidos de vida corta, la verdadera emisión en el primer día fue aproximadamente 6 veces mayor que la que muestra la Figura 1. En el segundo y tercer día, las emisiones fueron entre 4 y 5 veces mayores que las de la Figura 1. Por lo tanto, podemos afirmar que la emisión radiactiva durante los tres primeros días fue mucho más intensa de lo que la Figura 1 nos sugiere.

Tabla 1. Extractos de la información contenida en los protocolos secretos del Grupo Operativo del Buró Político del Comité Central del Partido Comunista de la Unión Soviética.

Fecha	<Información sobre el estado de salud de los afectados>
1986 4 de mayo:	La situación, según recuentos a fecha 4 de mayo, es de 1.882 personas hospitalizadas en total. El número total de personas examinadas alcanza las 38.000. La enfermedad por radiación se manifestó con distinta gravedad en 204 personas, entre ellas 64 niños.
5 de mayo:	El número total de personas hospitalizadas alcanzó las 2.757, entre ellas 569 niños. De todas ellas, 914 presentan síntomas de la enfermedad por radiación. 18 personas se encuentran en estado muy grave y 32 en estado grave.
6 de mayo:	Según cifras de las 9:00 del día 6 de mayo, el número de personas hospitalizadas asciende a un total de 3.454 personas. De ellas, 2.609 están ingresadas para recibir tratamiento, incluidos 471 niños. Según datos confirmados, el número casos de enfermedad por radiación es de 367, de los cuales 19 son niños. 34 de estas personas afectadas se encuentran en estado grave. En el Hospital número 6 de Moscú permanecen ingresadas 179 personas, entre ellas 2 niños.
7 de mayo:	Durante el último día, fueron ingresadas otras 1.821 personas. A las 10:00 del día 7 de mayo, el número de personas ingresadas para recibir tratamiento es de 4.301, incluidos 1.351 niños. De entre ellas, se confirmó el diagnóstico de enfermedad por radiación en 520, incluyendo a miembros del personal del Ministerio del Interior de la URSS. 34 personas están en estado grave.
8 de mayo:	Durante el último día, el número de personas hospitalizadas aumentó en 2.245, incluidos 730 niños. 1.131 personas fueron dadas de alta. La situación a las 11:00 del día 8 de mayo es de un total de 5.415 personas ingresadas para recibir tratamiento, incluidos 1.928 niños. El diagnóstico de la enfermedad por radiación se confirmó en 315 personas

Nota: En el documento secreto están incluidos un total de 40 protocolos.

Véase <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/reports/kr21/kr21pdf/IM-data.pdf>.

Se estima que la primera nube radiactiva causada por la explosión del reactor se movió en dirección oeste y sobrepasó durante varios kilómetros hasta alcanzar el sur de la ciudad de Pripyat, donde vivían aproximadamente 50.000 trabajadores de la CN y sus familias. En el segundo día (27 de abril), la dirección principal de la columna radiactiva cambió hacia el Noroeste y el Norte. En el tercer día (28 de abril), se consideró que la nube radiactiva tenía dirección norte. Entonces, ésta se desvió hacia el Este (29 de abril) y hacia el Sur (30 de abril y 1 de mayo).⁽⁹⁾

La Figura 2 nos muestra la contaminación por plutonio en el territorio ucraniano.⁽¹⁰⁾ Las zonas más contaminadas resultaron estar hacia el oeste y hacia el norte de Chernobyl. Teniendo en cuenta la tendencia de la emisión diaria mostrada en la Figura 1 y los cambios de dirección de la nube radiactiva, podemos suponer que la contaminación más importante en un radio de 30 km se produjo durante los tres primeros días tras el accidente.

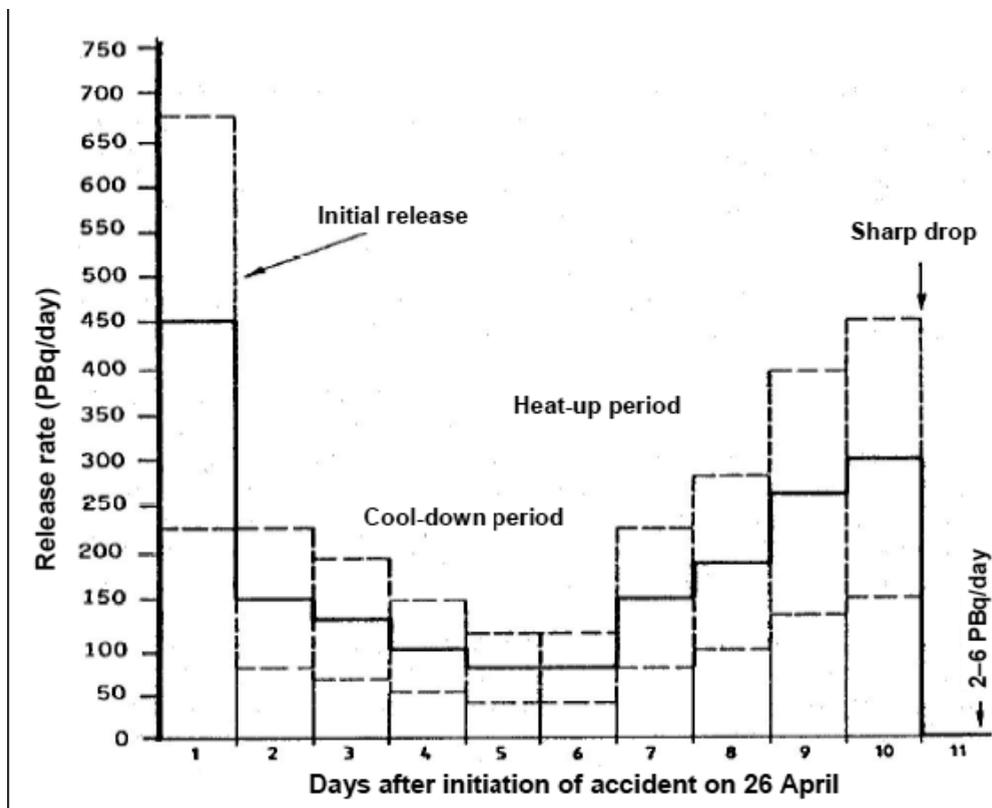


Evacuación en un radio de 30 km

A pesar de que la mayoría de los habitantes de la ciudad de Pripjat sabían del accidente desde el primer día (26 de abril), muchos de ellos pasaron ese día como un sábado cualquiera. Fue alrededor de mediodía del segundo día (27 de abril) cuando se dio la orden de evacuación con instrucciones de llevar consigo el pasaporte y comida para tres días. La evacuación de la ciudad de Pripjat comenzó a las 14:00h del 27 de abril, aproximadamente 36 horas después del accidente. Tres horas más tarde, la ciudad quedó completamente deshabitada.(11)

La decisión de evacuar a las personas en otros pueblos y ciudades en un radio de 30 km se tomó el séptimo día (2 de mayo). La evacuación de los habitantes de las zonas rurales, junto con el ganado, comenzó el 3 de mayo. Ésta fue una tarea muy complicada y concluyó el 14 de mayo. En total, 116.000 personas fueron evacuadas en un radio de 30 km de la CN de Chernobyl: 90.000 de territorio ucraniano, incluidas las 45.000 de la ciudad de Pripjat, y 26.000 de territorio belaruso.(11,12)

Figura 1. Tasa de emisión diaria de materiales radioactivos a la atmósfera durante el accidente de Chernobyl, sin incluir los gases nobles.⁽³⁾ Los valores están corregidos por decaimiento a partir del 6 de mayo de 1986 y tienen un margen de error de $\pm 50\%$.

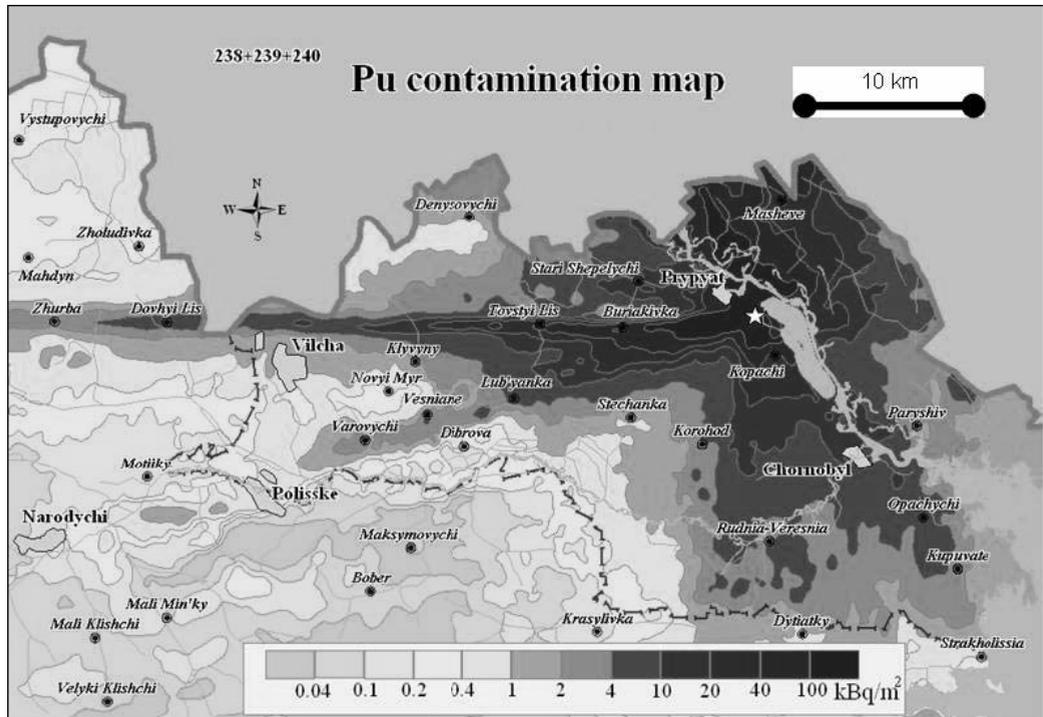


La situación de la radiación en los pueblos en un radio de 30 km

La Figura 3 muestra de una forma detallada la situación de la radiación en un radio de 30 km el día 1 de mayo de 1986. Estos datos fueron publicados en un informe⁽¹³⁾ elaborado para una conferencia internacional que se celebró en 1996 en Minsk y en el que colaboraron la CE, Ucrania, Belarús y Rusia. El nivel más alto correspondiente a $3.306 \mu\text{Gy h}^{-1}$ se observó en el pueblo de Krasnoe, a unos 6 km al norte de la CN de Chernobyl. El segundo nivel más alto, correspondiente a $3.045 \mu\text{Gy h}^{-1}$, se registró en los pueblos de Yanov y Usov. En la parte norte de la zona incluida en un radio de 30 km se registró un nivel de radiación por lo general alto. Si atendemos al modelo de contaminación por plutonio que muestra la Figura 2, resulta un tanto extraño observar que no se registró un nivel alto de radiación en los pueblos situados al oeste, sobre los cuales podemos suponer que pasó la primera nube radiactiva. Desafortunadamente, la información sobre la situación de la radiación se proporcionó únicamente para el día 1 de mayo, como muestra la Figura 3, pero no así para otros días tras el accidente.



Figura 2. Mapa de contaminación por $^{238+239+240}\text{Pu}$ del territorio adyacente a la CN de Chernobyl (parte ucraniana).⁽¹⁰⁾



También se encontró otra información interesante relacionada con la situación de la radiación en un radio de 30 km en la Referencia 13. Los rombos en la Figura 4 indican el cambio en la tasa de dosis calculado en el distrito de Khoyniki por el Grupo de Defensa Civil bielorruso, datos que fueron normalizados a unidad de sedimentación de ^{137}Cs . El autor de este artículo calcula dos curvas suponiendo dos tipos de composición de radionucleidos depositados en el suelo.^(14,15) El trazo de la línea continua está basado en la información proporcionada por Izrael et al.,⁽¹⁶⁾ mientras que la línea de puntos se calculó mediante la reducción de las proporciones de ^{95}Zr y ^{140}Ba con el objetivo de encajar en la pauta establecida. Podemos decir que el cálculo 2 de la Figura 4 logra reconstruir de forma adecuada el cambio temporal de la situación de la radiación durante el primer periodo después del accidente de Chernobyl. Podemos pensar, por lo tanto, que la tasa de dosis el 27 de abril fue aproximadamente dos veces mayor que la del 1 de mayo.

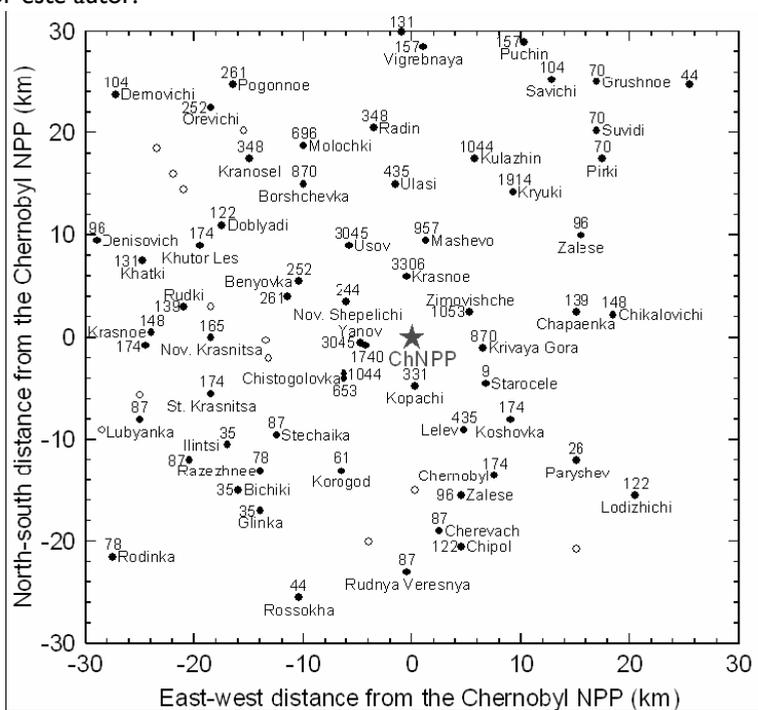
Casualmente, cuando el autor de este artículo visitó el pueblo de Krasnoe en noviembre de 2005, el nivel de radiación en dicho lugar era de aproximadamente de $2 \mu\text{Gy h}^{-1}$, es decir, 1.500 veces menor que el valor que muestra la Figura 3.

Estimación de la dosis externa por Imanaka

Con el objetivo de esclarecer la posibilidad de que las personas que vivían en un radio de 30 km hubieran recibido una dosis de radiación que pudo desencadenar SIA, se se hizo un cálculo de las dosis externas de los evacuados de varias poblaciones a partir de la información mencionada anteriormente y las tres siguientes hipótesis:

- La deposición de partículas radiactivas tuvo lugar a las 12:00h el 27 de abril de 1986.
- La línea de puntos en la Figura 4 se puede aplicar a todas las poblaciones para reconstruir el cambio temporal de la tasa de dosis en el aire antes de la evacuación.
- Dentro de una población se puede suponer una distribución individual de la dosis de tipo log-normal.

Figura 3. Tasa de dosis en el aire en las poblaciones en un radio de 30 km alrededor de Chernobyl el 1 de mayo de 1986. Unidad: $\mu\text{Gy/h}$.⁽¹³⁾ Los nombres de las poblaciones han sido añadidos por este autor.



La dosis media para cada población se calculó integrando la tasa de dosis desde las 12:00h del 27 de abril hasta las 12:00h del día de la evacuación. Los resultados de la estimación de la dosis externa están recogidos en la Tabla 2. El procedimiento detallado que se utilizó para obtener los valores de dicha Tabla está descrito en las Referencias 14 y 15. Basándose en una distribución log-normal con un valor de la desviación estándar geométrica de $10^{0.277}$ que se obtuvo de la información recogida en la Referencia 13, se calcularon en cada pueblo los fragmentos de población cuya dosis se situaba por encima de 500 y 1.000 mSv. Se escogió el valor de 500 mSv como un nivel de dosis por encima del cual se presenta una crisis clínicamente significativa en la función hematopoyética. Según la Referencia 12, había 159 habitantes en el pueblo de Usov en el momento del accidente, lo que significa que 32 y 4



personas pudieron recibir más de 500 y 1.000 mSv, respectivamente. Aunque no se sabe con seguridad el número de habitantes de Krasnoe, a juzgar por su tamaño, la población debe de ser varias veces la de Usov. Nuestros resultados de la estimación de la dosis externa, por tanto, indican que un número sustancial de evacuados recibió una dosis externa superior a 500 o 1.000 mSv, la cual podría causar SIA.

Figura 4. Cambio en la dosis en el distrito de Khoyniki en el primer mes tras el accidente normalizado a unidad de sedimentación de ^{137}Cs .⁽¹⁴⁾

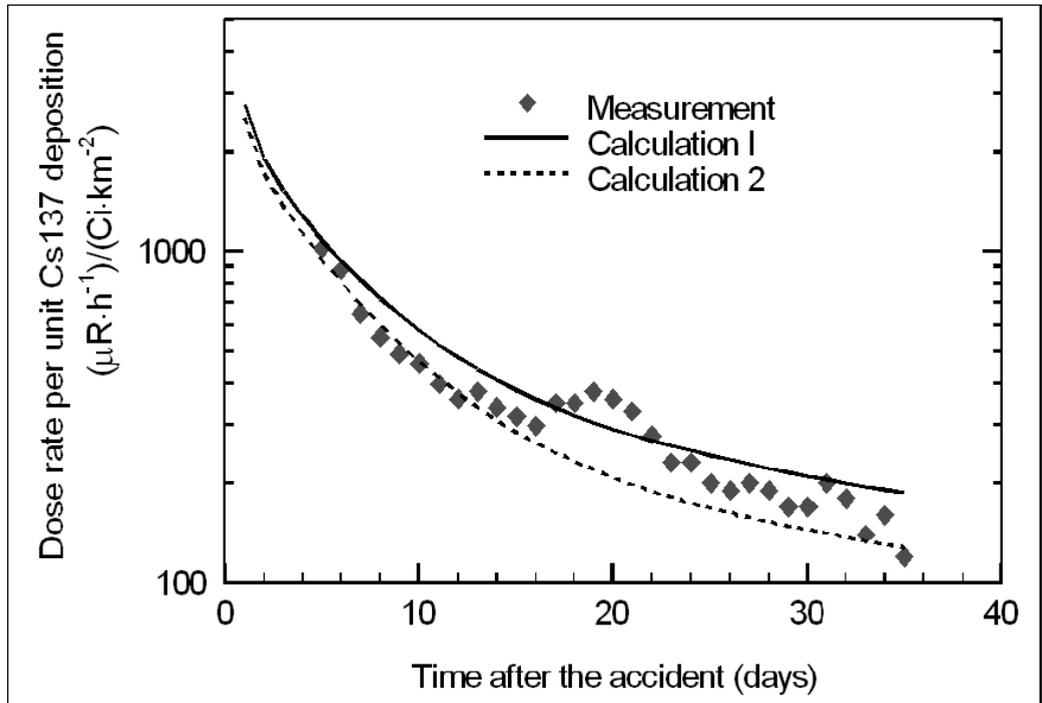


Tabla 2. Estimaciones de la dosis externa en varias poblaciones en un radio de 30 km hasta la evacuación.

Población	Dosis el 1 de mayo, $\mu\text{Gy h}^{-1}$	Fecha de la evacuación	Dosis externa total antes de la evacuación, mSv	Población por encima de 500 mSv, (%)	Población por encima de 1.000 mSv, (%)
Krasnoe	3,306	(3 de mayo)	0,32	24	3,5
Usov	3,045	3 de mayo	0,29	20	2,6
Borshchevka	0,870	(5 de mayo)	0,10	0,5	~0
Chernobyl	0,174	5 de mayo	0,02	~0	~0

*La fecha de evacuación ha sido obtenida de Likhtarev et al.⁽¹²⁾ y deducida de las fechas de las poblaciones cercanas.

Estimación de la dosis del Foro sobre Chernobyl

La conclusión del Foro sobre Chernobyl de que la dosis externa media fue de 20 mSv para los evacuados en un radio de 30 km de la parte ucraniana se basa principalmente en el trabajo de Likhtarev et al(12). A través de cuestionarios relacionados con el comportamiento diario de 36.000 evacuados, se reconstruyó la dosis externa individual de aproximadamente 31.000 evacuados en un radio de 30 km, incluidos alrededor de 14.000 habitantes de la ciudad de Pripyat. Las dosis externas medias de los evacuados se establecieron respectivamente en 11,5 y 18,2 mSv para la ciudad de Pripyat y otras poblaciones en un radio de 30 km. La dosis externa máxima de la totalidad de los evacuados se calculó en 381 mSv. Si admitimos estas estimaciones, resulta difícil dudar de la presencia de SIA entre los habitantes de los alrededores de la CN de Chernobyl.

Tanto Likhtarev et al. como el autor de este artículo ofrecen estimaciones de la dosis externa media para los evacuados del pueblo de Usov. Nuestro cálculo (320 mSv) es tres veces mayor que el de Likhtarev et al. (118 mSv). Aunque la razón de esta diferencia no está clara, se deben mencionar algunos detalles en relación con el trabajo de Likhtarev et al. En primer lugar, su estudio de reconstrucción de la dosis excluyó a unas 4.000 personas, ya que se trataba de personas habían estado en zonas altamente contaminadas o habían visitado la estación de Chernobyl.

En segundo lugar, su cálculo medio de 18,2 mSv para los evacuados de otras poblaciones fue sólo 1,5 veces mayor que el de los evacuados de la ciudad de Pripyat. Esta proporción parece demasiado pequeña teniendo en cuenta que los habitantes de la ciudad de Pripyat fueron evacuados el segundo día, mientras que los habitantes de otros pueblos permanecieron más de una semana antes de ser evacuados. A partir de la información contenida en el informe de la URSS de 1986,(3) las dosis externas medias se establecieron respectivamente en 160 y 33 mSv para los evacuados de otros pueblos y para los de la ciudad de Pripyat.

En tercer lugar, aunque en su artículo aparecía la información detallada de la situación de la radiación utilizada para calcular la dosis externa en la ciudad de Pripyat, no aparecía ninguna información concreta sobre la radiación utilizada para calcular la dosis externa en otros pueblos. El artículo de Muck et al.,(18) en el que Likhtarev aparece como coautor, contiene información interesante en lo que respecta a la estimación de la dosis por inhalación en un radio de 30 km. En él se da cuenta de una evolución en el tiempo de la dosis durante las tres semanas siguientes al accidente en 49 poblaciones en un radio de 30 km. Teniendo en cuenta las pautas de emisión de radiactividad descritas en este artículo, esos cambios temporales en la tasa de dosis que recoge el artículo de Muck son muy difíciles de entender. Por ejemplo, la tasa máxima en el pueblo de Yanov se registró el 2 de mayo (el séptimo día) y la de Krasnoe el 1 de mayo (el sexto día). En todas las zonas, las dosis en los tres primeros días (26-28 de abril) fueron mucho menores que posteriormente.

Si los datos del artículo de Muck también se utilizaron en trabajos anteriores para calcular las dosis externas, se debería considerar la posibilidad de que los valores de la dosis externa en la Referencia 12 presenten estimaciones a la baja, algo que también podría decirse de las conclusiones del Foro sobre Chernobyl.



Conclusión

Con el objetivo de considerar la posibilidad de que se produjera SIA entre los habitantes de los alrededores de la CN de Chernobyl, en este artículo se calcula la dosis externa de los evacuados de varios pueblos con un índice de contaminación alto, utilizando para ello la información publicada sobre la situación de la radiación junto con otras hipótesis. Nuestras conclusiones se resumen en las siguientes:

La dosis externa media para los evacuados de las poblaciones en un radio de 30 km no alcanzó los 500 ó 1.000 mSv, el umbral de dosis para determinar la presencia de SIA.

Teniendo en cuenta la distribución de las dosis individuales dentro de un pueblo, en las zonas con un índice de contaminación alto un número considerable de habitantes (del 20 al 24%) podrían haber recibido dosis externas superiores a 500 mSv. Algunos de ellos podrían haber recibido incluso más de 1.000 mSv.

Nuestros resultados concuerdan con la información que aparece en varias publicaciones de que hubo un número importante de casos de SIA entre los habitantes de los alrededores de Chernobyl.aciones de que hubo un numero importannes/cion alto, u

Nuestros cálculos son aproximadamente 3 veces mayores que los manejados por Likhtarev et al., en los que se basaron las conclusiones del informe del Foro sobre Chernobyl: que no se produjo SIA entre los habitantes.

Aunque en este artículo no se han mencionado datos relativos a la dosis interna, es necesario hacer una puntualización. Según el informe del Foro sobre Chernobyl, la dosis interna media de los evacuados ucranianos fue de 10 mSv, sin incluir 300 mSv de la dosis del tiroides. Prohl et al. intentaron calcular la dosis por ingesta de los evacuados en un radio de 30 km.(19) y establecieron que la dosis efectiva total por inhalación e ingesta oscilaba entre 35 y 1.600 mSv para los niños y entre 15 y 440 mSv para los adultos, de la cual más del 50% procedía de la dosis del tiroides. Estas cifras indican claramente que la dosis interna, de la cual no se ha hablado en este artículo, contribuyó de forma considerable a la dosis total.

El abril de 2006 se cumplieron veinte años desde el accidente de Chernobyl. Se debe hacer hincapié, sin embargo, en que aún hay una gran contradicción en lo que respecta a las estimaciones de la dosis de radiación que recibieron inmediatamente tras el accidente los habitantes que vivían en los alrededores de la CN de Chernobyl. Asimismo existen contradicciones en lo que concierne a los casos de SIA entre ellos. Para resolver dichas contradicciones, habrán de realizarse más esfuerzos en este sentido.

Referencias

1. El Foro sobre Chernobyl; Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Government of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. AIEA, septiembre de 2005.
2. Comisión Nacional de la Energía Atómica de la URSS; The Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant and Its Consequences. Agosto de 1986.
3. AIEA; One Decade after Chernobyl: Summing Up the Consequences of the Accident. Proceedings of an International Conference, Viena, 8-12 abril de 1996, STI/PUB/1001, AIEA, 1996.
4. UNSCEAR (Comité Científico de las Naciones Unidas para los efectos de las radiaciones atómicas); Source and Effects of Ionizing Radiation, Informe UNSCEAR 2000, Anexo J. Naciones Unidas, 2000.
5. A. Yaroshinskaya; Chernobyl: Top Secret. Drugie-berega, Moscú, 1992 (en ruso).
6. A. Yaroshinskaya; Impact of Radiation on the Population during the First Weeks and Months after the Chernobyl Accident and Health State of the Population 10 Years Later. En: Imanaka T. ed.; Research Activities about the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Sufferers by the Accident Chernobyl. KURRI-KR-21 (<http://www.rri.kyotou.ac.jp/NSRG/reports/kr21/KURRI-KR-21.htm>), 104-107, 1998.
7. V. Lupandin; Invisible Victims. NABAT No. 36, Minsk, octubre de 1992 (en ruso).
8. V. Lupandin; Chernobyl 1996: New Materials concerning Acute Radiation Syndrome around Chernobyl. KURRI-KR-21, 108-113, 1998.
9. Yu. A. Izrael, Chernobyl: Radioactive Contamination in the Environment, Gidrometizdat, 1990 (en ruso).
10. A. Gaydar and O. Nasvit; Analysis of Radioactive Contamination in the Near Zone of Chernobyl NPP. En: Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia. KURRI-KR-79 (<http://www.rri.kyotou.ac.jp/NSRG/reports/kr79/KURRI-KR-79.htm>) 59-73, 2002.
11. Comité Asesor Internacional: The International Chernobyl Report: Technical Report. AIEA, 1991.
12. I. A. Likhtalev et al.; Retrospective Reconstruction of Individual and Collective External Gamma Doses of Population Evacuated after the Chernobyl Accident. Health Physics, 66(6): 643-652 (1994).
13. I. K. Baliff and V. Stepanenko ed.; Retrospective Dosimetry and Dose Reconstruction. Experimental Collaboration Project No.10, EUR 16540, EC, 1996.
14. T. Imanaka and H. Koide; Dose Assessment for Inhabitants Evacuated from the 30-km Zone Soon after the Chernobyl Accident. KURRI-KR-21, 121-126, 1998. ECRR 2006: CHERNOBYL 20 YEARS AFTER 177
15. T. Imanaka and H. Koide; Assessment of External Dose to Inhabitants Evacuated from the 30-km Zone soon after the Chernobyl Accident. Radiation Biology Radioecology, 40: 582-588 (2000).
16. Yu.A.Izrael et al.; Radioactive Contamination in the Environment of the Zone around the Chernobyl Atomic Station, Meteorology and Hydrology, 1987 No.2, pp.5-18 (en ruso).
17. 1990 Recommendations of ICRP, Publicación 60 de la CIPR, Anales de la ICRP, 21 1991.
18. K. Muck et al.; Reconstruction of the Inhalation Dose in the 30-km Zone after the Chernobyl Accident. Health Physics, 82(2):157-172 (2002).
19. G. Prohl et. al.; Reconstruction of the Ingestion Doses Received by the Population Evacuated from the Settlements in the 30-km Zone around the Chernobyl Reactor. Health Physics, 82(2):173-181 (2002).



Análisis combinado espacio-temporal de las tasas de malformación en Baviera después del accidente de Chernobyl

HELMUT KÜCHENHOFF, ASTRID ENGELHARDT, ALFRED KÖRBLEIN

Traducción: José Antonio Leal

Las tasas de mortalidad en el estado alemán de Baviera, en su conjunto, no subieron en 1987, el año siguiente al accidente de Chernobyl. Tampoco un análisis de los datos mensuales muestra ninguna asociación entre la exposición a la radiación y las tasas de malformación siete meses después. Pero en un análisis detallado por distritos, tomando en cuenta la estructura espacial, encontramos una asociación entre las tasas de malformación y la concentración de cesio calculada en mujeres embarazadas. Usamos una estimación no paramétrica de la relación dosis-respuesta, que nos da un incremento del riesgo en el incremento de malformación en las regiones con mayor exposición al cesio. Los resultados deben ser interpretados cuidadosamente puesto que el análisis se ha realizado como un estudio de observación exploratorio. Los resultados no están en consonancia con el entendimiento actual de los efectos biológicos, incluyendo la existencia de un umbral de dosis, de los efectos teratogénicos de una radiación ionizante de bajo nivel.

Antecedentes

La radiación ionizante es un factor de riesgo admitido en malformaciones congénitas, lo que las hace un objetivo relevante en el estudio de posibles efectos sobre la salud derivados del accidente de Chernobyl. Se ha informado de una creciente frecuencia de nacimientos con malformaciones congénitas en diferentes países europeos después del accidente de Chernobyl. Sin embargo, las bases de datos existentes a menudo no poseen los criterios de calidad requeridos para un análisis epidemiológico significativo. El registro de EUROCAT sólo cubre aproximadamente el 10% de la población europea. La baja fiabilidad de casos actuales es también un problema sistemático en muchos registros.

En una crítica de Hoffmann [1] se da una visión general de la literatura sobre las tasas de malformación siguientes a Chernobyl. Se informa de un incremento significativo de defectos del tubo neural. Se encontró en Bielorrusia un aumento en malformaciones congénitas. En Croacia, se detectó un incremento de anomalías en el sistema nervioso central en fetos abortados o en neonatos que murieron dentro de los 28 días siguientes al parto. El registro EUROCAT, sin embargo, no reveló indicación alguna de incrementos sistemáticos en la frecuencia de síndrome de Down, anencefalia o espina bífida. La mayoría de los investigadores argumentaron que la exposición a radiación de la lluvia radiactiva de Chernobyl sería demasiado baja para provocar un incremento mensurable en las tasas de malformación.

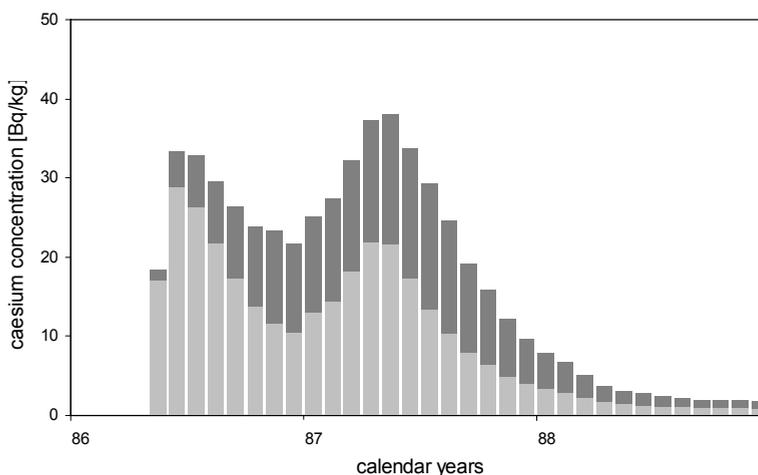
En Alemania, los datos de la frecuencia de malformaciones en el nacimiento fueron tomadas *a posteriori* en el Estado de Baviera, varios años antes y después de Chernobyl (1984 a 1991). Baviera fue el Estado de la Alemania Federal con mayor exposición a la radiación de Chernobyl. Un estudio, realizado por la Oficina de Protección de Alemania Federal contra la

Radiación (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS), no encontró diferencias significativas en las tasas de malformación entre la más zona más expuesta del sur de Baviera y la zona norte menos contaminada después de Chernobyl [2].

En un estudio de mortalidad perinatal en Alemania después del accidente de Chernobyl, Körblein y Küchenhoff encontraron un pequeño pero estadísticamente significativo aumento de la mortalidad en 1987, el año después del accidente de Chernobyl. Además, un análisis de los datos mensuales dio una asociación entre la carga de cesio y la mortalidad perinatal siete meses más tarde [3]. Habría habido un posible efecto similar sobre malformaciones congénitas pues los estudios experimentales en ratones han demostrado que la irradiación del feto con 200 R durante el período de mayor organogénesis (días 6 al 13 después de la concepción) dio lugar a un 100% de descendencia con malformaciones y, en menor grado, a muertes neonatales [4].

En nuestro estudio llevamos a cabo un análisis de tendencia con el mismo modelo que en [3]. Entonces usamos las ideas del análisis en [2], en el cual se realizó la comparación de regiones.

Cuadro I: Desarrollo de la concentración del cesio en las mujeres embarazadas después del accidente de Chernobyl. Las columnas claras son las contribuciones de la leche, las columnas oscuras las contribuciones adicionales de la carne de vaca, del cerdo y de los cereales.



Datos

De un total de 29.961 recién nacidos con las malformaciones solamente 7.171 casos fueron considerados apropiados para la evaluación; los otros fueron excluidos por diversas razones por la Oficina de Protección de Alemania Federal contra la Radiación (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS). Cada caso fue registrado con diagnóstico, sexo, fecha de nacimiento y residencia de la madre. Este conjunto de datos fue proporcionado por BfS para su evaluación.

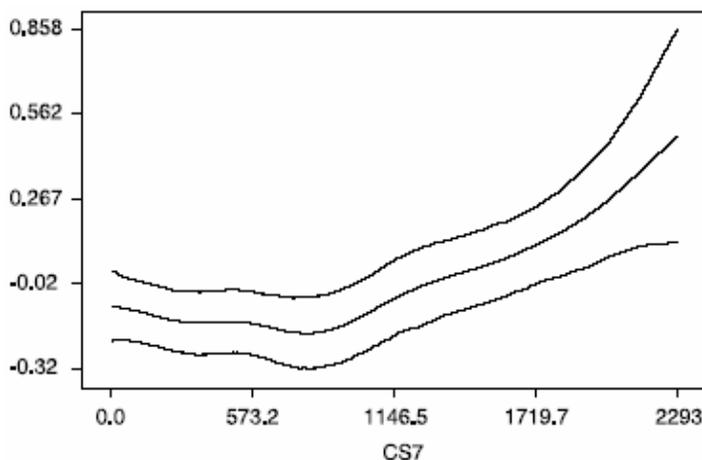
Los datos de la contaminación del suelo por cesio-137 a nivel de distrito (96 distritos) también fueron obtenidos de BfS. Las medidas diarias de la concentración del cesio en la leche de vaca en Munich a partir de mayo de 1986 hasta finales de 1988 fueron



proporcionadas por la Sociedad para el Medio Ambiente y la Salud financiada por el gobierno (Gesellschaft für Umwelt und Gesundheit, GSF).

Los valores mensuales de concentración de cesio en embarazadas, se calcularon basándose en los 4 componentes principales del alimento (leche, carne de vaca, cerdo, cereales) y en tasas de consumición media. Están reflejados en el cuadro 1. Hay un primer pico en la carga del cesio en junio/ julio de 1986, y un segundo en abril/mayo de 1987. Durante el invierno 1986/87 las vacas fueron alimentadas con hierba contaminada cosechada en el verano de 1986. Por lo tanto la concentración del cesio en mujeres embarazadas demuestra un segundo aumento en invierno de 1986/87.

Cuadro 2: Efecto estimado en términos de cesio (CS7) en las tasas de malformación, en el modelo de Bayes. Los números del eje “y” son los logaritmos de las tasas de probabilidad. Las curvas superiores e inferiores indican límites de fiabilidad del 95%.



Métodos

En un primer paso, se aplican los modelos utilizados por Körblein y Küchenhoff en [2] para ajustar las tasas de malformación mensuales en Baviera:

$$P(Y = 1) = \alpha + \exp(\beta_0 + \beta_1 t) + \beta_2 (cs(t - 7))$$

En el siguiente paso, se realiza un análisis espacio-temporal. Se analizan las tasas mensuales de malformación en los 96 distritos bávaros en 96 meses (1984-1991) en función de la localización y el tiempo.

Como aproximación a la exposición interna al cesio en un distrito k en la fecha t , se forma un término de cesio $cs(k,t)$ el cual es el producto del tiempo dependiente de la concentración $cs(t)$ en embarazadas y la contaminación por cesio del suelo $cs(k)$ en un distrito k con $k = 1, \dots, 96$. Utilizamos un modelo logístico no paramétrico de la regresión de la forma siguiente:

$$P(Y(k, t) = 1) = G(\alpha_k + f(cs(k, t - 7) + g(t)))$$

Aquí $G(z) = 1/(1 + \exp(-z))$ es la función logística

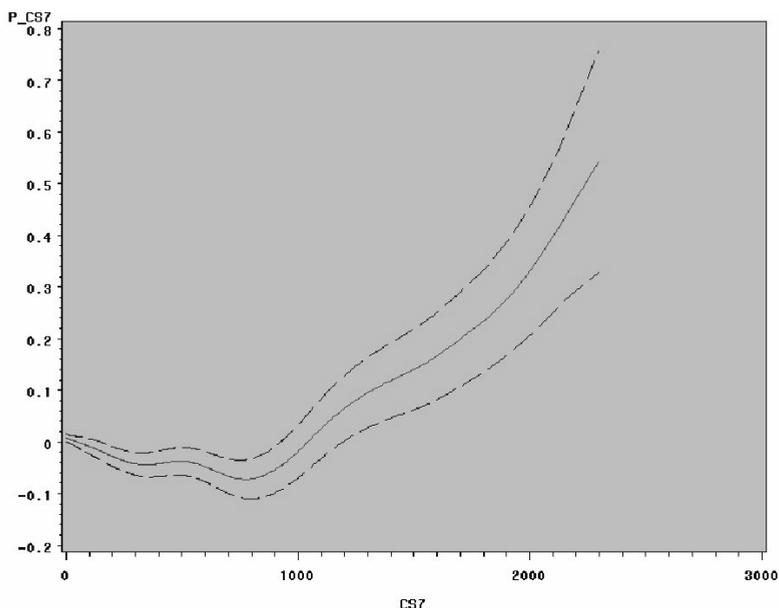
La probabilidad de una malformación en un niño i en la región k y en un mes t viene indicada por $P(Y(k,t) = 1)$.

La expresión $f(cs(k,t-7))$ es una función suave que asocia las tasas de malformación con la concentración residual de cesio $cs(k,t-7)$ (intervalo: 7 meses). Esta asociación está calculada con métodos no paramétricos. Además, se toma en consideración la estructura espacial asumiendo un efecto fortuito regional que tenga una correlación en función de la distancia entre las regiones. La función $g(t)$ es un componente lineal flexible de la tendencia general.

Para el cálculo utilizamos una aproximación Bayesiana de Fahmeir y Lang [5]. La función f se calcula por aproximación spline con margen de error. Los cálculos se realizaron con el programa Bayes X [6].

Para el análisis de sensibilidad ajustamos otros modelos menos complicados, incluyendo un modelo logístico paramétrico con tendencia polinómica y término polinómico del cesio, y un modelo logístico no paramétrico del efecto regional sin considerar la estructura espacial. Estos análisis fueron realizados por el programa SAS. También hicimos los análisis con intervalos de 6 y 8 meses entre la exposición y el parto.

Cuadro 3: Efecto estimado en términos de cesio en las tasas de malformación, en el modelo no paramétrico. Los números del eje "y" son los logaritmos de las tasas de probabilidad. Las curvas superiores e inferiores indican límites de fiabilidad del 95%.





Resultados

El primero modelo no nos da ninguna asociación significativa entre las exposiciones al cesio y las tasas globales de malformación en Baviera

En el segundo modelo, se encuentra una relación de respuesta a la dosis en el cuadro 2. Aunque los métodos de prueba formales no se han realizado, los límites de confianza del “punto a punto” dan una indicación clara de una asociación entre la exposición al cesio y el riesgo de la malformación. El resultado fue confirmado en aproximaciones paramétricas y no paramétricas sin el efecto espacial (ver cuadro 3).

Conclusión

Para resumir, no se encontró relación entre las tasas de malformación y la exposición al cesio en la primera parte del análisis. En un segundo análisis, utilizando un modelo de regresión a nivel de área, se encontró una relación entre la exposición al cesio residual en embarazadas y las tasas de malformación (intervalo de 7 meses). Hay una disminución evidente del riesgo de la exposición del cesio a dosis bajas que, sin embargo, no debe ser sobreinterpretada puesto que los datos son también compatibles con un umbral adecuado en las dosis bajas. Pero el descenso en dosis bajas puede explicar el hecho de que no se encontraran efectos del cesio en los datos globales de Baviera.

En 1996, la comisión alemana para la protección contra la radiación (SSK) calculó la dosis efectiva de radiación procedente de Chernobyl en las áreas de mayor exposición cerca de los Alpes (Voralpengebiet) en 0.65 mSv en el primer año de investigación. Las recomendaciones de ICRP 90 [7] indican que los riesgos son mayores durante el período de mayor organogénesis (de 3 a 7 semanas tras la concepción), con un umbral de dosis estimado de aproximadamente 100 mSv de radiación de bajo impacto al feto, y que la influencia de malformaciones a dosis bajas se puede por tanto descartar (citado en el reciente informe WHO sobre los efectos sobre la salud del accidente de Chernobyl del 26 de julio de 2005). Como la exposición a la radiación en Baviera fue de 2 órdenes de magnitud menor que este umbral de dosis, no debería esperarse efecto alguno en lo que a malformaciones se refiere.

Nuestros resultados desafían el concepto de un umbral de dosis de alrededor de 100 mSv para la inducción de malformaciones y sugiere que la curva de respuesta a dosis muy bajas es no-monótona. Según Burlakova [8], los efectos de la radiación están mejor caracterizados por una curva bimodal de respuesta a la dosis con un máximo de dosis baja, seguido por una región en meseta o incluso un decrecimiento, y un incremento subsecuente a dosis más altas. El mecanismo propuesto implica un incremento de la eficiencia en reparar el ADN por radiación de bajo nivel que exceda cierta dosis gatillo.

En conclusión, creemos que los efectos biológicos de la radiación de ionización a dosis muy bajas no están siendo bien entendidos y merecen una mayor atención.

Referencias

1. Hoffmann W. Fallout from the Chernobyl nuclear disaster and congenital malformations in Europe. *Arch Environ Health*. 2001 Nov-Dic;56(6):478-84. (Polvo radiactivo procedente del desastre nuclear de Chernobyl y malformaciones congénitas en Europa).
2. Irl C, Schoetzau A, van Santen F, Grosche B. Birth prevalence of congenital malformations in Baviera, Germany, after the Chernobyl accident. *Eur J Epidemiol*. 1995 Dic;11(6):621-5. (Predominio en nacimientos con malformaciones congénitas en Baviera, Alemania, después del accidente de Chernobyl)
3. Körblein A, Küchenhoff H. Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident. *Radiat Environ Biophys*. 1997 Feb;36(1):3-7. (Mortalidad perinatal en Alemania tras el accidente de Chernobyl)
4. Russell LB, Russell WL. An analysis of the changing radiation response of the developing mouse embryo. *J Cell Physiol*. 1954 May;43(Suppl. 1):103-49. (Un análisis de la cambiante respuesta a la radiación de embrión del ratón en desarrollo)
5. Fahrmeir L, Lang S. (2001): Bayesian Inference for Generalized Additive Mixed Models Based on Markov Random Field Priors. *Journal of the Royal Statistical Society C*, 50: 201-220. (Conclusión Bayesian para modelos mixtos añadidos generalizados basados en los campos aleatorios Priors).
6. Brezger A, Kneib T, Lang S. (2005): Bayes X: Analysing Bayesian structured additive regression models. *Journal of statistical software* 14 (11). (Análisis Bayesian de modelos de regresión añadidos estructurados)
7. ICRP (2003) International Commission on Radiological Protection. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus), Publication 90. *Annals of the ICRP* 23. (Comisión Internacional para la Protección Radiológica. Efectos biológicos tras la irradiación prenatal (embrión y feto)).
8. Burlakova EB, Goloshchapov AN, Gorbunova NV, Gurevich SM, Zhizhina GP, Kozachenko AI, Konradov AA, Korman DB, Molochkina EM, Nagler LG, Ozerova IB, Skalatskaia SI, Smotriaeva MA, Tarasenko OA, Treshchenkova IA, Shevchenko VA. [The characteristics of the biological action of low doses of irradiation]. *Radiats Biol Radioecol*. 1996 Jul-Ag;36(4): 610-31.



Consecuencias Radio-Ecológicas en Bielorrusia 20 años después de la catástrofe de Chérbobil y la necesidad de Radio Protección a largo plazo para la población.

PROFESOR V.B. NESTERENKO, expert-ecologista A.V. Nesterenko
Instituto de Seguridad de Radiación Belrad

Traducción: Pilar Nieto

I Análisis de la implementación de las medidas de Radio Protección a largo plazo para la población de Bielorrusia.

El 28 y 29 de Abril de 1986 el Instituto de Energía Nuclear de la Oficina Técnica de la Academia de Ciencias de BSSR (INE) presenta las propuestas de implementación de las medidas profilácticas con yodo para la población y la reubicación de toda la población que vivía a 100-Km. de NPP.

En abril de 1986 nuestra propuesta no fue aceptada, y no fue hasta el comienzo de mayo cuando el gobierno decidió implementar las medidas profilácticas con yodo y reubicar a las personas desde 30 kilómetros de la zona circundante de NPP. Entonces varios cientos de niños fueron traídos a las regiones limpias de Rusia.

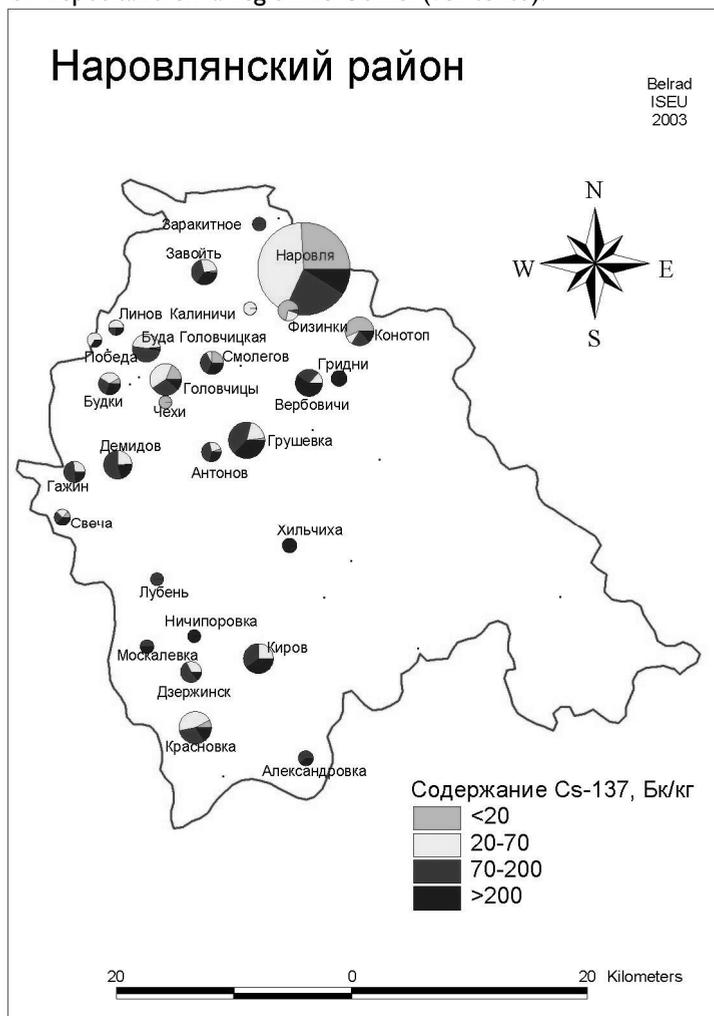
De acuerdo con una decisión del gobierno de Bielorrusia, se organizó una comisión científica y técnica al principio de mayo. Ésta estaba formada por el académico A. Borisevich, el Presidente de la Academia de Ciencias, Profesor I.N. Nikitchenko, Profesor V.B. Nesterenko, Profesor Ye.P. Petryayev, Profesor S.S. Shushkevich y Profesor Ye.F. Konoplya.

El 3 de mayo, de 1986 visité las regiones de Chérbobil de Bielorrusia junto con un grupo de especialistas del servicio de seguridad de radiación de INE. A continuación se le envió otra carta al gobierno con la propuesta de reubicar a la población que vivía a 100-Km. de la zona desde NPP, así como propuestas que concernían a otras medidas de radio protección.

Al final de Mayo de 1986, el primer mapa de Cesio -137 depositado en la región de Gomel (Fig.1) estaba dibujado en el Instituto. Siguiendo la presentación de estos datos la población de las regiones del sur de Bielorrusia (a 50-70 Km de la zona desde NPP) fue también reubicada, entre el 5 y el 10 de junio de 1986.

Durante el primer mes tras del accidente, después de tomar la decisión de reubicar a los habitantes del distrito afectado, las autoridades locales comenzaron a implementar los siguientes principios: no permitir seguir trabajando los recursos, {sic} dejar su distrito y fomentar la construcción de nuevas viviendas en estos distritos. Un buen ejemplo de tal error es la decisión tomada por el Comité Regional Ejecutivo de Mogilyov de construir el asentamiento Maysky en el Cherikov y reubicar allí a los habitantes de Chudyany y Malinovka del mismo distrito. Como resultado los habitantes de los nuevos asentamientos, produjeron productos agrícolas en sus parcelas individuales (de 3a 5 Km. desde el nuevo asentamiento Maysky) con una densidad de contaminación de 40 a 80 Ci/km²

Fig I. Cesio 137 depositado en la región de Gomel (ver texto).



El 22 de junio de 1986 INE presento el mapa del depósito de Cesio -137 en la región de Mogilyov al ministro de los Servicios de Salud Pública (MPHS), el Ministro de Agricultura (MAP) y al Comité Ejecutivo Regional de Mogilyov. No hubo reacción.

N.A. Borisevich, V.B. Nesterenko y el Presidente del Comité de Hidrometeorología presentaron el mapa al gobierno y al comité central del partido comunista de Bielorrusia, proponiendo que el MPHS investigara plenamente el posible peligro de vivir en los 50 asentamientos de la región de Mogilyov. Nuestra propuesta no fue aceptada y no se tomaron decisiones concretas, pero en septiembre nuestro instituto fue visitado por el comité del partido en orden a desviar al staff del Instituto de actividades conectadas con Chernobyl y a "comprobar" la efectividad de sus inadecuadas medidas de radio protección para la población.



En septiembre de 1986, por aprobación de la Academia de Ciencias y el gobierno de Bielorrusia, INE presento un mapa del depósito de radiación en las regiones del sur de la republica la cual incluía depósitos de Cesio-137 así como otros radioisótopos depositados.

Las sustancias alimenticias locales fueron transportadas desde todas las regiones del sur de Bielorrusia al Instituto para monitorizar la radiación. Al mismo tiempo se hicieron medidas de la concentración de radionucleidos en los alimentos en el INE, el Instituto de Física de la Academia de Ciencias y el Departamento de Física Nuclear de la Universidad estatal de Bielorrusia en el verano de 1986, con la participación de los Servicios de Agroquímica del MAP de Bielorrusia, muestras del suelo se tomaron en todas las regiones del sur de Bielorrusia, y en septiembre-octubre se hicieron los mapas de los depósitos de radiación en las propiedades agrícolas en las regiones del sur de Bielorrusia (distritos y granjas).

La población de Bielorrusia que vivía en el área contaminada por cesio-137 por encima de 37kBq/m² eran 2,105,200 personas (incluyendo más de 500 mil niños). En un mayor grado un cuarto del territorio y una quinta parte de la población de la republica resultó afectada.

Hoy en día las regiones de Chernobyl de Bielorrusia están caracterizadas por una distorsionada estructura demográfica. Durante los años siguientes a la catástrofe 135,000 personas fueron reubicadas y no menos de 200,000 personas se convirtieron en refugiados forzosos o dejaron su propio distrito contaminado. Los primeros en abandonarlo fueron los jóvenes, intelectuales, especialistas cualificados y oficiales. En algunos distritos afectados los pensionistas llegaron a ser alrededor del 70% de la población

La contaminación radiactiva del territorio causó serios problemas en la agricultura, especialmente la contaminación radiactiva de la producción agrícola y las sustancias alimenticias producidas en esas tierras. Alrededor del 20% (1.6 millones de hectáreas) de todas las propiedades agrícolas fueron expuestas a la contaminación por ¹³⁷Cs por encima de 1 Ci/km², en su mayor parte en los distritos agrícolas tradicionales. Desde 1986 a 1990, 257,100 hectáreas de propiedades agrícolas fueron excluidas de la circulación agrícola.

Se cometieron muchos errores en Bielorrusia durante la implementación de actividades en territorios contaminados, incluyendo la falta de efectividad protectora de las medidas para la población. Estos errores fueron el resultado de la equivocación por la Junta de Gobierno de Moscú y las autoridades de Bielorrusia actuando de acuerdo a las ordenes de la comisión gubernamental de Chernobyl localizada en Moscú. La burocracia de Moscú estaba ocupada describiendo un falso cuadro en cuanto a la seguridad de vivir en regiones contaminadas para mostrar al mundo entero que las dimensiones del daño en Bielorrusia no eran significativas.

Los siguientes son ejemplos del resultado de esta negligencia. El 13 de junio de 1986 L.N. Kuznetsov, el presidente del Comité estatal para la Producción Agrícola, (Gosagroprom) de la USSR, en coordinación con P.N. Burgazo, el Jefe Estatal Médico de la Unión Soviética, aceptó "Recomendaciones temporales para el manejo de la producción agrícola en Bielorrusia en territorios radio-contaminados". Esto permitió la producción de productos agrícolas incluso en tierras dentro de 3ª zona donde la dosis era entre 5 microoentgens a 20 microoentgens por hora y su distribución a través de toda la república. La población local que vivía en el área todo el año acumulaba altas cantidades de radio nucleidos debido a la dependencia local a los alimentos radio-contaminados.

“Recomendaciones para el uso de la Carne conteniendo sustancias radiactivas $2.0 \cdot 10^{-7}$ a $1.0 \cdot 10^{-6}$ Ci/kg para la producción de carne cocinada para 1986” fueron aceptadas por el mismo L.N. Kuznetsov en coordinación con A.I. Zaichenko, el diputado jefe estatal médico; Fueron crueles y cínicos. Niveles de concentración de Cesio 137 permisibles, se alcanzaron en salchichas mezclando carne limpia con carne contaminada radiactiva conteniendo Cesio-137 con concentraciones entre 18,000 y 37,000 Bq/kg.

En junio de 1986 los mismos hombres aceptaron “Las Recomendaciones temporales para el procesado primario de lana recibida de animales Radio-contaminados”. La única factoría para el procesado primario de lana en toda la República de Bielorrusia fue localizada en Zhuravichi en la región de Gomel; después de procesar simultáneamente la lana “limpia” y “contaminada” en esta empresa, toda la lana eventualmente llegó a ser radiactiva. Fue utilizada para hacer vestidos, con el aumento adicional de dosis externa de la población.

El de 23 de julio de 1986 G.A. Romanenko, el diputado Presidente de Gosagroprom de la Unión Soviética en coordinación con A.I. Zaichenko, el Diputado Jefe Médico Estatal, aceptó las “Recomendaciones temporales para el procedimiento de impuesto de venta, aceptación, almacenamiento y uso de granos y alimentos vegetales de cultivo 1986, recolectados en el territorio de la RSFSR, de Ucraiana y Bielorrusia expuesto a contaminación radiactiva”. Se recomendó continuar la producción de grano, para hacer alcohol; lo que causó la contaminación por Cesio-137 de la leche, la carne y, finalmente, la población.

Sobre la base de esas recomendaciones Gosagroprom del BSSR, en asociación con el ministro de producción de cereales de la BSSR, repitió estas instrucciones en su orden No. 3c/21 C de 27 de Junio de 1987.

Para llevar a cabo estas instrucciones alrededor de 1 millón de toneladas de grano radiactivo fueron procesadas y sirvieron para alimentar granjas de aves y granjas de cría de cerdos. Al mismo tiempo dos ministros aprobaron la lista de 17 distritos de las regiones de Gomel y Mogilyov. Este grano debía haber sido expuesto a un continuo control dosimétrico lo que hizo posible que los niveles de concentración de Cesio-137 en el grano fueran de 3,700 a 370 Bq/kg.

El 1 de Julio de 1987, hubo una orden del gobierno de la Unión Soviética basada en las conclusiones del MPHS que hizo posible fijar una dosis límite para la población que vivía en territorio contaminado de alrededor de 50 rem sobre 70 años. Esto fue asignado de la siguiente forma: Durante los primeros 10– 25 años la distribución de la dosis anual debía ser 3; 3; 2.5; 2; 2; 1.5; 1.5; 1; 1; 1 y posteriormente 0.5 rem cada año hasta 70th años después del accidente. En el informe sobre la situación de la radiación en las regiones de Mogilyov, Gomel, Bryansk y Kiev el Comité para Hidrometeorología de la URSS, MPHS de la URSS, el Consejo de Ministros de Bielorrusia, Ucrania y Rusia concluyó lo siguiente:

Es posible para la población continuar viviendo en distritos con contaminación territorial por encima de 40 Ci/km² mientras utilicen alimentos importados (especialmente leche) implementando las siguientes actividades preventivas



- ◆ “Descontaminación en asentamientos contaminados por encima de 40 Ci/km²” (eliminar estratos de suelo, hacer cubiertas firmes, cambiar, cambiar los tejados de paja etc.) y simultáneamente arar y sembrar las hierbas perennes y cultivos en los campos de alrededor de estos asentamientos: los asentamientos contaminados por encima de 60 Ci/km², fueron consignados durante 1987, el resto – en 1988.
- ◆ “La implementación de todo el complejo. Actividades de especial conservación del suelo en todas las tierras de cultivo en 1987 y en todos los pastos en la zona alrededor de 40 Ci/km² en 1987 y 1988. Separación de terrenos (en otoño de 1987) para cultivar hierba urgente para pastos para las vacas pertenecientes a la población de los asentamientos contaminados por encima de 40 Ci/km² al costo de las tierras de cultivo (con su exclusión de la tenencia de tierras)”
- ◆ “Completar las actividades de conservación del suelo en 1987 en los territorios de granjas privadas contaminadas por debajo de 40 Ci/km² y la implementación de actividades intensivas de conservación del suelo (con la aplicación de alrededor de 20 toneladas de zeolitas por hectárea y aumentando las cantidades de fertilizantes) en los asentamientos contaminados por encima de 40 Ci/km²”
- ◆ “La implementación de un complejo de actividades en propiedades agrícolas contaminadas por alrededor de 80 Ci/km² condujo a disminuir la contaminación de productos agrícolas en 1987 y 1988, y en tres o cuatro años más la polución de todos los productos alimenticios se espera que disminuya a los niveles establecidos como normales conduciendo a la cancelación de todas las restricciones en la utilización de los productos agrícolas privados de los terrenos privados (en los diez primeros años)”.

En marzo de 1988 el presidente de Gosagroprom de la URSS, V. Murakhovsky aprobó la “Guía para Conducir la Agricultura en condiciones de Contaminación Radiactiva de la Parte del territorio de la RSFSR, la Ucraniana SSR y Bielorrusia SSR desde 1988 a 1990” presentado por la comisión interdepartamental de expertos científicos en radiología y agricultura, concerniendo a las peculiaridades en la producción de agricultura en los territorios contaminados desde 1.5 a 40 Ci/km².

Esta guía sugería una aplicación de un aumento anual de 1.5 dosis de los fertilizantes de fosfórico y potasio en los campos de heno y pastos . La continuación de cría de ganado; la aplicación de 2 a 3 Kg. de doble súper fosfato y 3 a 4 Kg. de cloruro potásico y sulfato por 100 m² anualmente, materiales de cal y zeolitas (200 kg por 100 m²) para reducir la entrada de radionucleidos en frutos, verduras y patatas en las huertas.

El uso de pienso local no se limitó –se suministró para el engorde con pienso limpio o ligeramente contaminado 1-1.5 meses antes de la matanza; no hubo restricciones en la cría de ganado vacuno y porcino y su engorde, pero 1.5 o 2 meses antes de la matanza prevista el ganado vacuno debía ser puesto a cubierto y engordado con pienso limpio. Como es evidente en la guía, el cuerpo de especialistas de la Unión Soviética requería una continuación de la producción en los territorios contaminados, por media anual, a pesar del hecho de que el engorde con pienso contaminado causaba contaminación de todo tipo de productos.

Estas instrucciones del Comité de Agricultura de Gomel desde 1987 a 1990 a las empresas oficiales las enviaron a las personas de las zonas de los reasentamientos donde el pasto y el cereal se sembraba para que se utilizara en la alimentación del ganado.

En septiembre de 1989 un grupo de 92 científicos (incluidos 5 bielorrusos) se unieron en un peligroso juego conectado con el concepto de “vida sin incidentes” en los territorios radio-contaminados. Ellos hicieron una petición a Gorbachov. En la petición afirmaban que la dosis de 35 REM durante una vida, aceptada por el Comité Nacional de Radio protección (NCRP) de la URSS, estaba basada en el examen a largo plazo del estado de salud de la población de Hiroshima y Nagasaki, así como en el distrito de Chelyabinsk de Rusia afectado por el accidente de almacenamiento de desechos radioactivos en 1957. En su petición los autores insistían en que debía hacerse la reubicación de los habitantes del asentamiento y que ellos debían retomar sus condiciones de vida normales sin ninguna restricción aún cuando la dosis excediera de 35 REM durante la vida. Estas propuestas fueron aprobadas por IAEA, WHO, NCARE y el UN.

Esto fue en 1989. Los científicos de Bielorrusia y Ucrania no estuvieron de acuerdo con “35 REM durante una vida” concepto del NCRP de la URSS. La Academia de Ciencias de Bielorrusia estableció una nueva recomendación para vivir en los territorios contaminados: 7 REM durante una vida.

MPHS de la URSS (A.Kondrusev) y NCRP de la URSS (L.A. Ilyin) organizaron una visita de representantes del Comité Internacional de Radio protección y WHO a Bielorrusia. El 24 de junio de 1989, en la reunión en la Academia de las Ciencias, fuimos persuadidos para aceptar el concepto de los “35 REM durante un período de vida” y durante la exposición de mi informe el Dr. Pellerin declaró que nosotros deberíamos aceptar 70 y 100 REM durante una vida dada la falta de financiación para proveer de alimentos limpios y radio protección a la población.

El nuevo concepto para vivir en territorios contaminados después del accidente de Chernobyl indica que el límite permisible de 0.1 REM (1 mSv) por año debe ser aceptado, objetivo alcanzado paso a paso: en 1991 – 0.5 rem (5 mSv)/a; en 1993 – 0.3 rem (3 mSv)/a; en 1995 – 0.2 rem (2 mSv)/a; en 1998 – 0.1 rem (1 mSv)/a.

La nueva organización por zonas aceptada era:

Zona de obligatoria reubicación: Cesio-137 – 40 Ci/km², Estroncio-90 – 3 Ci/km², Plutonio – 0.1 Ci/km²,

Zona de reubicación: Cesio-137 – 15 to 40 Ci/km², Estroncio-90 – 2 to 3 Ci/km², Plutonio – 0.05-0.1 Ci/km², aun cuando la dosis anual puede exceder de 5 mSv/a.

Pero ahora más de 28 mil personas vive en esta zona {sic}, incluyendo 7,000 niños. En Ucrania todas las personas que vivían en la zona de 15 Ci/km² fueron reubicadas.

Zona con derecho a reubicación: Cesio-137 5 a 15 Ci/km², Estroncio-90 – 0.5 a 2 Ci/km², Plutonio – 0.01 a 0.05 Ci/km², aun cuando el límite de radiación para la población excede de 1 mSv/a.

Zona para vivir con monitorización periódica: Cesio-137 1 a 5 Ci/km², aun cuando el límite de radiación para la población no debe exceder de 1 mSv/a.



2. Organización de la monitorización radiológica de las propiedades agrícolas y productos alimenticios.

En el verano de 1986 el staff de INE y MAP (2 personas de cada organización) seleccionaron muestras de suelo de todo tipo de propiedades agrícolas (5 muestras por cada 100 hectáreas) y terrenos individuales. Las muestras con coordenadas distintas selectivas fueron enviadas al INE donde fueron testadas en el γ -espectrómetro. Para el 15 de julio de 1986 más de 10,000 muestras fueron enviadas. Los mapas de los depósitos de Cesio-137 en propiedades agrícolas, en granjas, distritos y regiones fueron hechos según el resultado de estas pruebas. Se hicieron medidas radioquímicas de la concentración de Estroncio-90 de las muestras.

Los meses siguientes al accidente de Chernobyl el control de los productos alimenticios de las zonas contaminadas fue dirigido a los tres Institutos.

A mediados de julio de 1986 se crearon laboratorios móviles radiológicos por Gosagroprom y MPHS de Bielorrusia, el Instituto de Energía Nuclear, la Universidad estatal de Bielorrusia, y el Instituto de Física produjeron unos radiómetros y los distribuyeron a los Servicios Radiológicos e Institutos del Ministerio de Agricultura para la Producción Agrícola de la República. Los laboratorios móviles con especialistas de MPHS y Gosagroprom, visitaron todas las granjas de las regiones de Gomel y Mogilyov y establecieron que la mayoría de las plantas, pienso y productos de animales agrícolas, estaban contaminados por Cesio-137 y Estroncio-90.

Desgraciadamente sin conocer el alcance del accidente las autoridades de los departamentos y regiones de la república ordenaron la producción de los productos contaminados en todas partes basados en las recomendaciones de la Unión. Sin embargo se organizaron servicios de control de radiación en las 27 empresas de la industria de la carne, 127 empresas de productos lácteos, 114 empresas de la industria de comidas, 61 empresas de del Ministerio de Producción Cereal, 56 empresas de la industria de fruta y verduras y también en 1,200 granjas colectivas y estatales cuyos territorios habían sido contaminados por radionucleidos. Aparte de esto, 12 institutos de investigación agrícola, 3 republicanos, 6 regionales, 117 laboratorios bacteriológicos veterinarios locales local, 188 estaciones para testar la carne, 117 laboratorios interregionales, 6 estaciones regionales para química? chemisation {sic}, 10 empresas de pedigrí 78 granjas de aves se utilizaron como lugares de implementación de la monitorización radiológica. El sistema completo de monitorización incluía 2,122 plazas.

Durante estos primeros meses los fondos para equipar los laboratorios fueron provistos por los departamentos de los Institutos de Minsk, incluidos en la producción de varios cientos de radiómetros KRVP-3AB de Lenin Minsk que producían para equipar submarinos atómicos. De acuerdo a nuestra solicitud un amplio envío de aparatos radiométricos SRP-68-01 (alrededor de 4,000) fue repartido desde U-mines y empresas atómicas en Siberia. Radiómetros KRP-1, KRVP-3AB, RKP-4SM, SRP-68-01, RUPP, RIS-1 fueron montados y producidos Para equipar todos los centros para mediados de junio de 1986 fueron necesarias las siguientes cantidades: 502 radiómetros DP-100, 639 – SRP-68-01 y aproximadamente 300 aparatos KRVP. A comienzos de junio había solo 121 DP-100 y 37 SRP-68-01. El 1 de enero de 1987 había 189 DP-100, 57 KRVP-3AB y 799 SRP-68-01.

Para octubre de 1986 preparamos 3,077 especialistas de la Universidad Estatal de Bielorrusia y la Academia de Ciencias de la República para trabajar en los centros de control de radiación.

En agosto de 1986 fue aprobado el sistema de monitorización de la radiación de los productos alimenticios del mercado de Minsk.

En agosto de 1987 fue aprobado el sistema de monitorización de la radiación de los productos alimenticios productos agrícolas y medio ambiente de Bielorrusia. Aparte de los productos agrícolas, se monitorizó la contaminación de setas, bayas silvestres y hierbas.

Todos los mapas y hallazgos de los niveles de contaminación en los productos alimenticios fueron clasificados como secretos. En la primavera de 1989, en la primera sesión del Soviet Supremo de la URSS, debido a la iniciativa de los diputados de Bielorrusia, Ucrania y A.D. Sakharov, se decidió eliminar de la lista de secretos todos los detalles conectados con la catástrofe de Chernobyl.

Después de la eliminación de la lista de secretos de material relacionado con Chernobyl y a consecuencia de las acciones de los cuerpos del Estado para la radio protección de la población, los habitantes de Bielorrusia (así como los de Ucrania y Rusia) comenzaron a desconfiar de toda la información respecto al tamaño del accidente, el grado de la contaminación local de los alimentos y los efectos para la salud admitidos por los organismos del Estado.

Incluso en ese tiempo el principal peligro para la población provenía del consumo de productos alimenticios contaminados por radionucleidos. Ese peligro -de acumulación constante de radionucleidos en los habitantes de las regiones de Chernobyl y su exposición interna a pequeñas dosis- todavía permanece en el día de hoy: 17 años después del accidente de Chernobyl.

El escritor bielorruso Ales Adamovich, A.D. Sakharov, presidente de la Fundación para la Paz y el jugador de ajedrez Anatoly Karpov me han sugerido que debería organizar un Instituto para la Radio Protección de la población de Bielorrusia.

Ante todo, la población debe ser informada a cerca de la actual situación de la radiación después del accidente de Chernobyl; deben ser informados a cerca de la contaminación por radionucleidos de los productos alimenticios y nature gifts {sic}, y los habitantes de las regiones de Chernobyl deben ser entrenados en medidas sencillas de radio protección.

El Instituto de Seguridad radiológica de Belrad (Instituto Belrad) fue establecido en 1990. El instituto Belrad sugirió al Soviet Supremo, al Gobierno de Bielorrusia y al presidente de los comités regionales ejecutivos, la creación de una red de centros locales para el control de la radiación de los productos alimenticios para la población (LCRC). Estas sugerencias fueron incluidas en la Ley de las Repúblicas de Bielorrusia "A cerca del régimen legal en los territorios contaminados por mediación como resultado de la catástrofe de Chernobyl" con el siguiente texto en el artículo 40: "En los asentamientos localizados en zonas de contaminación radiactiva, el Comité Estatal de la República de Bielorrusia para superar las consecuencias de la catástrofe de Chernobyl abrirá LCRC, cuando sea necesario bajo la supervisión de las autoridades locales para la implementación de los requerimientos de los ciudadanos en relación a los test de productos alimenticios y cosas de uso general".



El Instituto Belrad desarrolló un dosímetro β - y γ - "Sosna". Su producción fue organizada en el Instituto y en los trabajos industriales de Gomel, Borisov y Rechitsa (más de 300 mil aparatos producidos). Al mismo tiempo la producción de los dosímetros RKSB-104 fue organizada en Minsk, trabajos industriales.

Habiendo desarrollado y producido más de 1,000 gamma-radiómetros RUG-92 el Instituto Belrad promovió el equipamiento de los servicios radiológicos de MAP, el Ministerio de Selvicultura de la Unión de Cooperación de Bielorrusia y LCRC, con aparatos fiables con un alto rango para monitorizar las concentraciones de Cesio-137 en productos alimenticios, agua y medio ambiente.

En la parte sur de Bielorrusia se organizó una red de 370 LCRC. Los primeros 30 LCRC fueron abiertos debido al soporte financiero de la Fundación Paz de la URSS (A. Karpov) y a la Fundación Paz de Bielorrusia (M. Yegorov). El Comité de Chernobyl nombró al Instituto Belrad cabeza de la organización para crear y mantener el LCRC y como consultor de la población.

En tales centros, localizados en las escuelas y edificios de la administración local la población tenía la oportunidad de medir la concentración de radionucleidos en sus productos alimenticios y obtener información objetiva sobre la seguridad de su uso, así como consejos sobre el proceso de técnicas culinarias para la descontaminación de radionucleidos. El staff del instituto Belrad, en asociación con las autoridades locales seleccionó los candidatos de entre los maestros, doctores, enfermeras y agrónomos. Aprendieron en nuestro Instituto y recibieron certificados. Cada mes los radiometristas enviaban informes con los resultados del control de la radiación de los productos alimenticios, nature gifts y pienso de la población. El Comité de Chernobyl jugó su parte pagando la producción de aparatos para el LCRC y los sueldos de los radiometristas.

Hoy los datos de monitorización de la radiación (etiquetados con los apellidos de los dueños de los productos alimenticios) consisten en más de 350,000 muestras y estos datos dan información para la construcción de mapas que muestran la contaminación radiactiva de la leche, bayas, setas, etc.

Hoy el número de LCR soportado por el Comité de Chernobyl ha sido reducido a 40 debido a la reducción en la financiación; otros 20 LCRC continúan operando en Bielorrusia con el soporte financiero de iniciativas de Alemania. La densidad de contaminación de la leche es un factor de riesgo de vital importancia para la salud de la población especialmente para los niños. De acuerdo a los datos del LCRC en la región de Gomel y en tres distritos de la región de Brest, alrededor del 15% de la leche controlada por el LCRC tiene una contaminación de Cesio-137 por encima del nivel permisible de 100 Bq/l.

Más del 60% de la dosis anual interna es recibida por los niños por el uso de leche y alimentos contaminados por Cesio-137, lo que es considerado como el mejor indicador para determinar la seguridad de vivir en territorios contaminados. En 2001 el número de asentamientos que producían leche con una concentración de Cesio-137 superior a los niveles permisibles era de 326. Según los datos de MPHS, la leche estaba contaminada por Cesio-137 por encima de 50 Bq/l (el nivel de la concentración de cesio-137 permisible para la comida de niños no debe exceder de 37 Bq/kg, l) en más 1,100 pueblos en Bielorrusia.

3. Niveles permisibles de contaminación de productos alimenticios y medioambiente por radionucleidos por contaminación radiactiva del territorio a largo plazo.

Basado en la dosis límite de emergencia de 10 rem durante los 5 primeros años, 5 rem en 1987, 3 rem en 1988, 3 rem en 1989, 0.5 en 1990 (50% de dosis externa, 50% de dosis interna), en 1986, 1988 y 1991, MPHS de la URSS aprobó niveles temporales permisibles para la concentración de radionucleidos de Cesio-137 en productos alimenticios y agua. Tabla I muestra los niveles temporales permisibles (VDU-86, VDU-88, VDU-91), los niveles control de la república (RKU-90) y RDU-99) para la concentración de Cesio-137 en productos alimenticios y agua.

La subvención anual para la comida basada en la dosis interna permitida VDU-88 (aceptada por MPHS en agosto de 1990) era 0.7 a 0.8 rem/a. RKU-90. Esto era calculado de forma que la dosis interna debía ser 0.17 rem/a en la posible entrada de radionucleidos con los alimentos. En Bielorrusia la corriente RKU-90 esperada, resulto ser más estricta que la aceptada al comienzo de 1991 por MPHS de la USSR los nuevos niveles temporales permisibles VDU-91.

Los principios de control de radiación local consisten en un control obligatorio repetido tres veces: en el lugar de su producción, cuando se procesa y, por último, en el departamento de compras, cuando se compran los productos integrados.

Durante los primeros tres o cuatro años los centros de control de radiación fueron introducidos en todas las granjas colectivas y estatales y también en todos los trabajos relacionados, procesado y compra de productos alimenticios.

Hoy de acuerdo a los datos de MPHS, el consumo de productos alimenticios contaminados no se ha reducido pero los niveles de exposición permisibles establecidos han disminuido 10 veces.

En años recientes se han descubierto peligrosos niveles de contaminación por Estroncio-90 en grano leche y vegetales en 28 granjas de Bielorrusia.

El Instituto de Economía de la Academia de Ciencias de Bielorrusia, ha estimado que para un periodo de 30 años, el daño económico para Bielorrusia por la catástrofe de Chernobyl será de 235 millones de dólares USA – esto es 32 veces el presupuesto anual nacional para toda la república. Aunque el estado gasta del 20% al 6% del presupuesto anual para los programas de Chernobyl cada año, esta ayuda es insuficiente para la población de las regiones afectadas y no garantiza la seguridad para vivir en los territorios contaminados.

El nivel de ingresos de los habitantes de estas regiones es demasiado bajo para comprar alimentos limpios no contaminados, lo que ha forzado el consumo de comida contaminada con Cesio-137. Más del 80% al 90% de la dosis anual (Cesio-137) es recibida por los habitantes debido a su dependencia de los alimentos producidos localmente.

El efecto a largo plazo de pequeñas dosis de radiación influye negativamente en la salud de los habitantes de Bielorrusia, especialmente niños, que vivían en las regiones de Chernobyl.

4. Estado de salud de la población [5]

Como resultado de la catástrofe de Chernobyl la población de Bielorrusia estuvo expuesta y las personas recibieron la influencia de factores negativos, el primero de ellos la radiación. Toda la población de la república fue irradiada por radionucleidos de yodo durante el periodo inmediato al accidente. Alrededor de 10,000 personas han sido operadas de cáncer de tiroides incluyendo a 1,800 niños.

Entre la población que vive o ha vivido en territorios con una contaminación de Cesio-137 de una densidad por encima de 37 kBq/m², se ha confirmado científicamente un aumento significativo de la tasa de enfermedades malignas de los órganos respiratorios, digestivos y cáncer de mama así como disfunciones genéticas y malformaciones congénitas.



Otras enfermedades confirmadas en la población afectada incluyen el aumento científicamente significativo de la tasa de cataratas e isquemia, enfermedades del sistema respiratorio, urogenital, sistema endocrino, sistema inmunológico, úlceras de estómago y duodeno y disfunciones metabólicas.

El estado de salud de los niños causó una tremenda ansiedad que se caracterizó por el aumento de la tasa de enfermedades y la disminución de niños clasificados como sanos (del 85% al 20% en la república y un 6% en la región de Gomel).

5. Principios de radio protección de la población de Bielorrusia.

En Bielorrusia se aceptaron las siguientes leyes:

- ◆ Ley de la República de Bielorrusia “A propósito de la defensa social de los ciudadanos afectados por el accidente de Chernobyl NPP, 1991;
- ◆ Ley de la República de Bielorrusia “A propósito del Régimen legal de los territorios contaminados por Radiación como resultado de la catástrofe de Chernobyl”, 1991;
- ◆ Ley “Sobre la seguridad de Radiación de la población de Bielorrusia, 1998.

Estas leyes definían la media anual de exposición a la radiación efectiva de la población que es de 1 mSv/a. Hay un escrito en adición y modificación a la Ley de la república de Bielorrusia “Sobre la defensa social de los ciudadanos afectados por el accidente de Chernobyl ” No 31-I fechado el 17 de mayo 17, 2001:

“Como un índice de la evaluación donde las condiciones de vida y trabajo de la población no requiere ninguna restricción la explosión a la radiación media anual afectiva no debe exceder de 1 mSv por encima de la radiación natural de fondo y la producida por el hombre.

Si la exposición a la radiación media efectiva de la población excede de 1 mSv/a, deben ponerse en marcha medidas de radio protección.

Cuando la exposición a la radiación media efectiva se reduce de 1 a 0.1 mSv/a las medidas protectoras no deben cancelarse, pero su alcance y carácter deben ser regulados por el Consejo de ministros de la República de Bielorrusia.

Cuando la exposición a la radiación media efectiva de la población está por debajo de 0.1 mSv/a la radiación natural de fondo y la producida por el hombre las actividades protectoras no son necesarias y el territorio y la población que vive allí no se considera más bajo restricciones que conciernan a los efectos emergentes de la radiación.

Es conocido que como dosis limite de 1 mSv/a, el Inspector Jefe Sanitario de MPHS de la República de Bielorrusia aprobó la dosis límite del Cesio-137 y Estroncio-90.

La concentración de radionucleidos en productos alimenticios y agua (RDU-99) están basadas en el consumo actual anual por los habitantes de las regiones de Chernobyl. Desgraciadamente, MPHS no incluyó los niveles de concentración permisibles de Cesio-137 en la dosis básica de los alimentos correspondiente a la dosis limite de 0.1 mSv/a. Las dosis límites son valores calculados y pueden no ser medidas y ser desconocidas para la población.

Los niveles permisibles de la concentración de radionucleidos en los productos alimenticios equivalentes a 0.1 mSv/a, deben de ser una guía definitiva para la población, para el límite inferior de seguridad de los productos alimenticios.

En Rusia (en 1999) y en Bielorrusia (en 2000) se aceptaron los siguientes documentos básicos nacionales en el campo de la seguridad de radiación y protección de la población:

- ◆ Normas de seguridad de radiación y protección de la población..
- ◆ Normas básicas sanitarias para prevención de la radiación.

En Bielorrusia las actividades para superar las consecuencias del accidente de Chernobyl son implementadas en el marco de los programas especiales estatales financiados desde el presupuesto. El primer programa (1990 a 1992) fue financiado bajo condiciones de la URSS. Desde 1993 a 1995 y desde 1996 a 2000 se implementaron programas republicanos estatales. Hoy los programas estatales para superar la catástrofe de Chernobyl para el periodo 2001-2001 y hasta el 2010 están en uso.

Aparte de la asistencia médica de la población el aspecto más importante del programa es la implementación de actividades protectoras en los territorios más contaminados, la recepción de la información más objetiva sobre la contaminación radiactiva del medio ambiente, los efectos límites de radiación para la población, la garantía de que la concentración de radionucleidos en la producción agrícola no exceda de los niveles permisibles, la reducción de los efectos de la radiación para la salud de la población, y la sustentación y adaptación de las decisiones.

Se situaron simultáneamente en todos los hospitales municipales, regionales y estatales espectrómetros de radiación humana (WBC = dosímetros corporales completos). El gobierno de Bielorrusia aceptó una resolución que obligaba a todas las direcciones de empresas ministerios y departamentos a hacer medidas WBC de todos los habitantes de las regiones de Chernobyl, de Bielorrusia. Desgraciadamente la baja calidad de los existentes servicios WBC resultó en una certificación anual de menos de un tercio de WBC por el comité estatal de estándares. En el distrito de Slavgorod el WBC no estuvo operativo durante tres años, en el distrito de Bragin durante dos años.

Las WBC-medidas de la acumulación de Cesio-137 en los habitantes de estas regiones caracteriza la eficiencia de las actividades de radioprotección para la población. La ausencia de un sistema práctico para monitorizar los niveles de acumulación de Cesio-137 en los niños de las regiones de Chernobyl y para testar su eficiencia en la implementación de las actividades de radioprotección es especialmente pernicioso.

Desde 1995, el Instituto de Belrad ha comenzado a crear un marco móvil de laboratorios-WBC para monitorizar los niveles de acumulación de Cesio-137 en 500,000 niños de las regiones de Chernobyl. Ahora hay 8 laboratorios móviles radiológicos WBC, pero son necesarios 15.

Desde 1996, el Instituto Belrad ha medido niños en WBC para determinar su acumulación de Cesio-137. Desde 1996 al 2003, 190,000 niños fueron medidos en WBC. Estas medidas demostraron que sólo 10 a 15% tenían una acumulación interna de Cesio-137 por debajo de 10 a 15 Bq/kg. La máxima concentración de los niveles de Cesio-137 en niños



alcanza 4,000 a 7,200 Bq/kg. Las investigaciones medicas hechas por el doctor de medicina, Profesora Y.B. Burlakova, un académico de la Academia Rusa de las Ciencias A.V. Yablokov (Rusia), Professor D.U. Bandazhevsky y Profesor T.A. Birich (Bielorrusia) demostraron que pueden aparecer disfunciones patológicas de importantes órganos y sistemas en niños por la acumulación de un nivel de Cesio-137 en el organismo de 30 a 50 Bq/kg. El músculo cardiaco es especialmente sensible a la contaminación radiactiva del organismo.

En la comida común en familia (con alimentos radio-contaminados como norma), los niños reciben mayores dosis porque sus factores dosis son 3 a 5 veces mayores que las de los adultos, por esta razón el Instituto Belrad selecciona primero a los niños cuando planea hacer investigaciones WBC.

De acuerdo con las normas de Seguridad de Radiación (NRS-2000) GN. 2.6.1.8-127-2000, aprobadas por los Servicios del Ministerio de Salud Pública de la república de Bielorrusia en 2000 (Artículo 35) la dosis anual de la población no debe exceder el límite de la dosis básica (1 mSv/a). Estos límites están relacionados con la dosis media en un grupo crítico de población. En el e NRS-2000, en el capítulo I, hay la siguiente definición de grupo crítico de población; “es un grupo de (no menos de 10) personas de una población homogénea con una o varias características (sexo, edad, condiciones sociales y profesionales, lugar de residencia, consumo de alimentos) que está expuesta ampliamente a la radiación de fuentes actuales”

Para obtener significación estadística de una muestra ($\sigma = 0.95$) en cada asentamiento, el grupo representativo de la población debe ser medido en WBC. Este número es definido dependiendo del número de habitantes, tomando en cuenta su composición social y edad (no menos de 10% de todos los habitantes del asentamiento). El grupo crítico se selecciona de acuerdo con los resultados de estas medidas WBC. El valor medio de la dosis interna del grupo (pero no el valor medio en el asentamiento completo) se considera como la dosis interna anual para el presente asentamiento y dependiendo de su valor se toma la decisión de radioprotección para la población.

Desde 1999 a 2004 el Instituto Belrad y el centro de Investigación Nuclear (NRC) “Juelich” (Alemania) implementaron un proyecto internacional germánico-bielorruso “Niños altamente expuestos” (por encima de 20mil WBC medidas) aprobado por el Comité regional ejecutivo de Gomel KomChernobyl, Gomel, el Ministerio de Situaciones de Emergencia y la Comisión para problemas del accidente de Chernobyl y la Cámara de Representantes de la Asamblea nacional de la República de Bielorrusia. De 1996 a 2003, dentro del marco del proyecto, los resultados de las medidas WBC de ^{137}Cs en más de 145,000 niños de 250 pueblos de Bielorrusia fueron sistematizados. Siguiendo los resultados del análisis en asociación con la Universidad Radio-ecológica de Sakharovse construyeron mapas de radio contaminación en niños, de 13 (de 23) distritos contaminados como resultado del accidente de Chernobyl.

Mapas similares se hicieron de los distritos de Narovlya, Yelsk, Bragin, Lelchitsy y Chechersk. (Estos mapas se reproducen en el anexo de este capítulo).

En el marco del proyecto con el NRC “Juelich”, 20,187 se seleccionaron niños que tenían la mayor cantidad de ^{137}Cs en su organismo, para además de implementar su monitorización de WBC, implementar su radio protección. En cada pueblo se seleccionó el grupo crítico (10 personas) con los máximos niveles de ^{137}Cs . Este análisis permitió la identificación de pueblos con los grupos críticos de niños más expuestos: Svetilovichi del

distrito Vetka (por encima de 1,536 Bq/kg); Valavsk (por encima de 744 Bq/kg), Roza-Lyuksemburg (por encima de 735 Bq/kg), Skorodnoye (por encima de 682 Bq/kg) distrito de Yelsk; Lenin (por encima de 557 Bq/kg) distrito de Zhitkovichi; Beryosovka (por encima de 313 Bq/kg), Slobodka (por encima de 400 Bq/kg) distrito de Kalinkovichi; Klyapin (por encima de 667 Bq/kg), Litvinovichi (por encima de 544 Bq/kg) distrito de Korma ; Dzerzhinsk (por encima de 254 Bq/kg), Glushkovichi (por encima de 753 Bq/kg), Grebeni (por encima de 898 Bq/kg) distrito Lelchitsy; Antonov (por encima de 830 Bq/kg), Verbovichi (por encima de 1708 Bq/kg), Golovchitsy (por encima de 743 Bq/kg), Golovchitskya Buda (por encima de 358 Bq/kg), Grushevka por encima de (760 Bq/kg), Demidov (por encima de 1,090 Bq/kg), Dzerzhinsk (por encima de 286 Bq/kg), Kirov (por encima de 1,993 Bq/kg) distrito de Narovlya; Belyayevka (por encima de 561 Bq/kg), Polesye (por encima de 4,240 Bq/kg) distrito de Chechersk (ver laminas r – y)

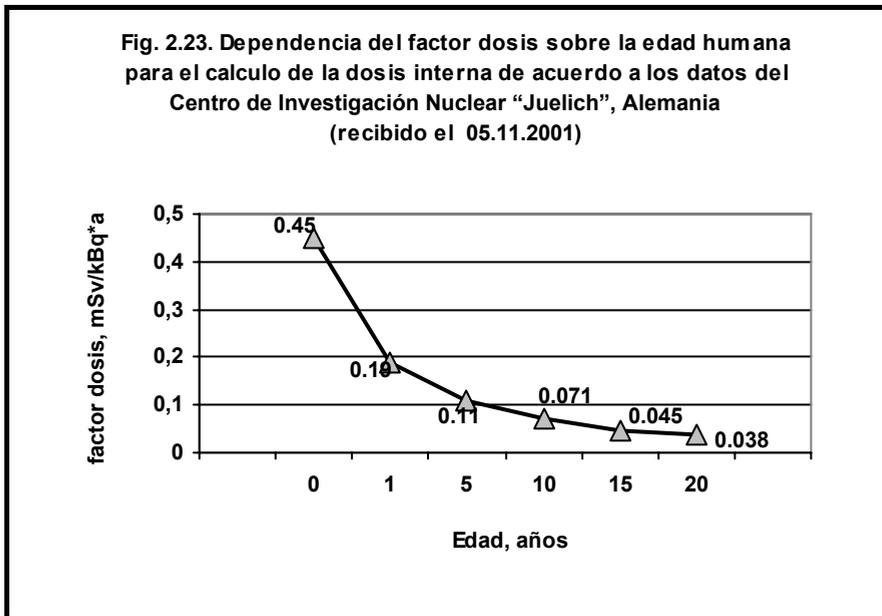
Como regla, los grupos críticos más vulnerables incluían niños de familias con muchos niños, familias con dificultades y familias con bajos ingresos cuyo consumo de alimentos contenía un gran número de alimentos locales radio contaminados (leche productos del bosque, caza etc.).

Para el conjunto de medidas en la evaluación de la dosis interna, se utilizaron factores dependientes de la edad, publicados por el Centro de Investigación Nuclear “Juelich” 05.11.2001(Alemania), aunque se usaron en Bielorrusia valores constantes de ICRP, (independientemente de la edad K_f) de acuerdo a los resultados del sumario de los datos de la catástrofe nuclear en 1945. Es obvio que la sensibilidad del organismo en crecimiento de los niños, es al menos diez veces más alto que el de los adultos. Sin embargo en el informe, se utilizaron, los valores experimentales para el nivel de ^{137}Cs , sin calcular los valores de la dosis de exposición anual. En la figura 2 se muestra la dependencia del factor dosis sobre la edad , (datos del Centro de Investigación Nuclear “Juelich, Alemania) y fue utilizada en el cálculo de la dosis interna.

El alcance completo de las medidas WBC de ^{137}Cs había sido realizado en el Instituto de Seguridad Nuclear Belrad por el staff del laboratorio WBC con 8 gamma-espectrómetros móviles (“Skrinner-3M”) producidos por el Instituto para Sistemas Médicos y Ecológicos (Kiev, Ucrania) en asociación con el Instituto Belrad.



Fig 2; Dependencia del factor dosis sobre la edad, basada en los datos de NRC “Juelich” (ver texto).



El laboratorio WBC fue certificado por su independencia y competencia técnica por el Cuerpo Nacional de Certificación de la República de Bielorrusia (Gosstandart) desde 2001 a 2004 y desde 2004 a 2007. El laboratorio es certificado anualmente por el Cuerpo nacional de Certificación de la República de Bielorrusia. El complejo automático “Skrinner-3M” fue incluido en el Registro de Instrumentos de medida y se permitió su utilización en la república de Bielorrusia (todos los instrumentos de medida deben ser verificados por el Gosstandart cada año y dado el adecuado certificado). Todos los asistentes del laboratorio tienen un alto nivel de educación, fueron entrenados por los fabricantes de los dosímetros, recibiendo los correspondientes certificados y están completamente entrenados en el manejo del complejo “Skrinner-3M”.

En la Tabla 3 hay una mínima detección de actividad de (MDA) de ocho complejos “Skrinner-3M”.

Tabla 3 Mínima detección de actividad de (MDA) WBC “SKRINNER-3M” del Instituto Belrad con 30% de error y probabilidad de confianza para $t = 300$ segundos y $P=0.95$ para un hombre ‘fantasma’ (enero 01, 2005)

No.	No. of WBC	MDA, Bq/kg		
		Niños (11 kg)	Adolescente (24 kg)	Adulto (64 kg)
1	232	13	9	7
2	234	14	9	7
3	240	13	9	6
4	243	13	9	7
5	245	14	8	6
6	246	12	8	6
7	251	12	8	6
8	255	19	12	8

Desde 2002 a 2004 el laboratorio WBC hizo triple intercalibración en asociación con el laboratorio de Investigación Nuclear del Centro Juelich (Alemania) con espectrómetros altamente sensibles “Canberra” (MDA < 2 Bq/kg). El resultado de las calibraciones internas no mostró ninguna desviación de los requerimientos internacionales de medida. El alto estándar de mantenimiento de los 8 WBC asegura la precisión científica de los resultados de las medidas hechas con ellos.

Se sabe que, en 1990, la unión de distritos territoriales médicos con el sistema de servicios del Ministerio de Salud Pública de Bielorrusia y otros Institutos hicieron 102 WBC. Algunos de estos fueron diseñados sobre la base del espectrómetro RUP-5 sin la protección biológica necesaria y con una pobre precisión MDA, por lo cual son poco utilizados para medir el ^{137}Cs en niños. En los últimos 18 años la mayor parte de WBC propiedad de los Servicios del Ministerio de Salud Pública han quedado obsoletos y esto condujo, de hecho, a que en 2003, cuando se hizo la certificación por el Gosstandart, el 14 de agosto de 29 WBC en la unión de distritos médicos no cumplían el test estándar y no fueron certificados.

Cuando examinaron los distritos de Chechersk, Stolin, Slavgorod y Bragin en el marco de UNDP en 2003, se estableció por el grupo CORE que el WBC en el distrito hospital Bragin estaba averiado y no trabajaba desde hacia dos años. La misma situación tenía lugar en el distrito de Slavgorod y WBC en los distritos de Stolin y Chechersk debían ser sustituidos urgentemente.

Solo pudimos darle la bienvenida a la decisión tomada por la Oficina Suiza de Cooperación, quien dispuso una orden para un nuevo WBC “Skrinner-3M” para el distrito de Bragin, como gasto propio, en el marco del proyecto CORE.

Parecía correcto hacer un análisis completo del estado técnico de WBC en todos los distritos de Bielorrusia y un plan para su renovación en los próximos dos o tres años.

Todas las medidas para la radiación y la protección social de la población de las regiones de Chernobyl (reasentamientos de habitantes, implementación de medidas agroquímicas en agricultura, suministrar a las escuelas y guarderías productos alimenticios no contaminados) fueron insuficientes y no aseguraron la disminución de ^{137}Cs en niños por



debajo de 15 a 20 Bq/kg. Por tanto, debían ser aplicados absorbentes biológicos naturales para la descontaminación de niños de radionucleidos y metales pesados.

Era necesario admitir que la información y los programas de educación para elevar el conocimiento de la población sobre radiación demostró ser insuficiente. Hay una necesidad en el sistema radio-ecológico de educación de la población (especialmente entre niños, jóvenes y padres jóvenes) en las escuelas, guarderías, establecimientos educacionales para entrenar en métodos sencillos de radio protección y en medios para prevenir la entrada de radionucleidos en el cuerpo de niños con los productos alimenticios locales. En cada distrito y asentamiento, deben hacerse una vez cada tres o cuatro años, programas sobre la introducción de fertilizantes químicos en las propiedades agrícolas (incluyendo propiedades privadas familiares), pastos, campos de heno y en bosques (en lugares donde las bayas y setas se recogen en un radio de 5 a 10 km de los pueblos) para conseguir una reducción significativa de la transferencia de radionucleidos del suelo a las plantas.

En 1992 el Ministerio de Servicios de Salud Pública de Bielorrusia publicó un Catálogo de Carga de Dosis de la población para 3,668 asentamientos. Desgraciadamente cuando se hizo el catálogo de carga de dosis, MPHS cometió el error de principio de determinar la carga de dosis anual en cada asentamiento, basada en la radiactividad de 10 muestras de leche y 10 muestras de patatas lo que dio como resultado datos no fiables y una depreciación de la carga de dosis anual en el conjunto.

Fue un error para los fines epidemiológicos utilizar los datos sacados de la legislación dirigidos a minimizar la magnitud de la exposición de la población. Para determinar el valor de la dosis media de carga anual (dosis colectiva) en orden a determinar el número esperado de pacientes para fines de radio protección, es importante escoger un grupo crítico (10 de las personas más irradiadas) y para garantizar tales medidas protectoras que la carga de dosis anual en el grupo crítico no exceda de 0.3 mSv/a (de acuerdo a las Normas de Seguridad de Radiación). En el campo de la radio protección existe el principio de 'grupo crítico' cuando toma en cuenta protección dirigida al grupo más vulnerable y a los miembros más débiles de la población (niños, embarazadas, ancianos).

En 1998, 2000, 2002, MPHS hizo intentos para aceptar el nuevo catálogo de carga de dosis de la población de Bielorrusia. El Comité de Chernobyl y la Cámara de Representantes de la Asamblea nacional de Bielorrusia organizaron una comisión de expertos que llevó a cabo medidas directas-WBC sobre 5,000 habitantes (principalmente niños) en 45 pueblos; esas medidas mostraron que los valores de las dosis calculadas del nuevo catalogo (para 10 muestras de leche y patatas) habían subestimado 6 a 8 veces los verdaderos valores de la carga de dosis. Estos resultados fueron presentados primero a la comisión interdepartamental y luego a la Asamblea Parlamentaria, la demanda fue considerada sin fundamento y MPHS fue forzado a eliminar el nuevo catálogo de carga de dosis por no ser autentico.

Desgraciadamente en verano de 2002 MPHS y la Comisión Nacional de radio protección (NCRP) introdujeron nuevas mociones al gobierno de la república y el 8 de agosto de 2002 el Consejo de Ministros de Bielorrusia aprobó una nueva zona estratégica para los territorios de acuerdo a los niveles de contaminación por radiación: 146 pueblos fueron excluidos de la lista de objetos situados en los territorios contaminados. Estos pueblos fueron considerados limpios. Como resultado los niños de estos pueblos fueron privados de la comida no contaminada en los comedores escolares y de los programas de rehabilitación

anual ofrecidos en los sanatorios de las regiones de la república, financiados por el programa de Chernobyl.

Es muy importante desarrollar un programa de información y educación para la población en orden a promover la implementación de recomendaciones científicas y médicas en el terreno de vivir seguro en territorios contaminados. Es necesario estudiar no sólo la tasa de las enfermedades de la población en las regiones de Chernobyl, sino implementar las actividades necesarias de radio protección y el tratamiento del dolor de la población.

Se detallan abajo algunas de las actividades que fueron implementadas para minimizar la exposición interna de la población:

- ◆ Reasentamiento (135 mil personas fueron reubicadas);
- ◆ cultivos de pasto y campos de hierba, con actividades agroquímicas protectoras en agricultura (alrededor de 0.5 hectáreas de pastos y campos de hierba para vacas fueron cultivados sólo una vez durante un espacio de 17 años y esto era necesario hacerlo cada 3 o 4 años);
- ◆ Pienso mezclado con absorbentes y boles en la cría de ganado vacuno (la producción de pienso mezclado con absorbentes (Azul de Prusia), calculando 50 kg por vaca, fue organizada en 5 fabricas (se necesitaban 200 a 250 kg por vaca);
- ◆ Alimentos para niños en las escuelas y guarderías del Programa de Chernobyl, rehabilitación anual en distritos limpios y en el extranjero;
- ◆ Organización de la producción de suplementos de comida y su inclusión en la comida subvencionada para la descontaminación del organismo de radionucleidos y de metales pesados.

Hay algunos trabajos médicos escritos por científicos de Rusia, Ucrania y Bielorrusia que muestran que cuando el radio-cesio es de 50 a 70 Bq/kg, pueden aparecer patologías en los sistemas vitales de los niños. El informe Nacional de Bielorrusia de 2003 menciona que “lo más importante que concierne a la sociedad es el estado de salud de los niños que viven en territorios con una densidad de contaminación de radio-cesio de 37 a 555 kBq/m² lo que se caracteriza por un aumento en la tasa de enfermedades, una disminución en el número de niños completamente sanos y un aumento de desordenes del sistema inmunitario”

Se ha producido un deterioro catastrófico de la salud de la población (especialmente en niños: en 1985, 85% de niños fueron considerados como completamente sanos –en 2001 esto se redujo en un 20%); 20 años después del accidente de Chernobyl tenemos que concluir que las personas no han llegado a estar enfermas de estrés, radiofobia y sobrepoblación, sino a causa de los efectos a largo plazo de las pequeñas dosis de radiación, el consumo continuo de productos alimenticios y de la incapacidad para proveer a las regiones de Chernobyl y a Bielorrusia entera, de productos alimenticios no contaminados y otras medidas protectoras con los recursos financieros del país.

En las estructuras de los estados de Ucrania, Bielorrusia y Rusia ha sido reconocida la efectividad de utilizar absorbentes entéricos para eliminar los radionucleidos del cuerpo de los animales para tratar la carne y la leche. En Bielorrusia la producción de pienso mezclado para vacas, conteniendo azul de Prusia, fue implementada en orden a tratar la carne y la leche.

Podría ser beneficioso para la población de Bielorrusia organizar la producción de pectina como aditivo alimentario para eliminar rápidamente los radionucleidos de los habitantes que consumen productos alimenticios contaminados con ¹³⁷Cs.



En Ucrania se producen en 7 empresas los suplementos alimenticios hechos con manzana, remolacha y polisacáridos de cítricos utilizados para eliminar rápidamente los radio nucleidos.

El staff superior del Centro de Medicina de la Radiación del Ministerio de servicios de Salud pública de Ucrania, el Instituto de Radiología de la Academia de Ciencias de Ucrania y el staff del antiguo Instituto de Medicina de la Radiación del Ministerio de Servicios de Salud Pública de Bielorrusia realizó test clínicos de pectina como aditivo alimentario [4, 5], probando su eficacia con el uso de WBC, y aviso del consumo de pectina como aditivo alimentario, para la radio protección práctica, no menos de cuatro veces al año (cada cuatro meses).

En 1998 del Ministerio de Servicios de Salud Pública de Ucrania publicó una lista informativa para los jefes de los departamentos regionales de los servicios de salud pública que concernía a la efectividad de la pectina como suplemento alimentario “Yablopect”(Dnepropetrovsk,Ucrania) sobre los habitantes de los territorios contaminados y para recuperar a los afectados por el accidente de Chernobyl. Pensamos que esta es una medida de radio protección importante que acelera la eliminación y disminuye el nivel de radionucleidos y metales pesados en niños.

El Instituto Belrad utilizó el aditivo de pectina francesa “Medetopect” hasta 1996 y la preparación ucraniana de pectina “Yablopect” hasta el 2000, en orden a descontaminar de radionucleidos los cuerpos de los niños. Desde 1998, este trabajo fue llevado a cabo por el Instituto Belrad en asociación con las iniciativas internacionales para Chernobyl.

En 1999, en el marco del proyecto conjunto con el la iniciativa austriaca para Chernobyl, un ciclo de radio protección anual para 1,000 niños fue implementado en 8 pueblos. Usando los controles WBC, estos test revelaron una reducción de dos a cuatro veces two to four-fold en radio cesio en niños, un año después de utilizar los preparados de pectina.

Se muestra en el anexo un gráfico de las variaciones de la actividad específica media de ^{137}Cs en niños de la escuela básica Sivitsa del distrito de Volozhin en la región de Minsk.

En Bielorrusia hay suficientes recursos de materiales crudos (extracción de manzana en 20 factorías de conservas) para la producción de suplementos alimenticios de pectina. En abril de 2000, el Instituto Belrad recibió permiso del Ministerio de Servicios de Salud Pública para producir y proveer vitamina de manzana seca “Vitapect” para beber hecha con pectina de manzana con vitaminas adicionales B1, B2, B6, B12, C, E, β -caroteno, ácido fólico y oligoelementos K, Zn, Se, Ca. La producción de la preparación “Vitapect” fue organizada en el laboratorio del Instituto Belrad en la Casa de Caridad.

Siguiendo el trabajo del Comité de Chernobyl de Bielorrusia, se llevaron a cabo en el sanatorio “Bielorrusia” test comparativos de la eficacia de la pectina y preparaciones de vitaminas “Medetopect” (Francia), “Vitapect” (Instituto Belrad), Spirulina (Rusia) en la preparación de vitamina “Vitus-Iod”. Grupos de más de 30 personas en cada grupo tomaron estas preparaciones dos veces al día durante 21 días. Las medidas WBC hechas antes y después del consumo de estas preparaciones, mostraron una disminución de la concentración de Cesio-137 en estos niños:

- 46 a 49% disminución cuando tomaban pectina;
- 31 a 35% disminución cuando tomaban Spirulina;
- 23% disminución cuando tomaban “Vitus-Iod”;
- 18% disminución en el grupo control (sin tomar estas preparaciones).

Como la efectividad de la preparación de pectina para eliminar el Cs 137 del organismo humano era llamativa, hicimos un ensayo doble ciego, de acuerdo con los estándares internacionales. 64 niños tomaron parte durante su recuperación en el sanatorio mientras comían productos alimenticios limpios.

La asociación “Niños de Chernobyl de Bielorrusia” (Francia) sugirió testar la eficacia de la preparación de pectina “Vitapect” en comparación con un placebo (basado en fruta ‘kissel’). El ensayo tuvo lugar en junio y julio de 2001 en el sanatorio “Serebryanye Klyuchi”, mientras consumían comida no contaminada de acuerdo con el método doble ciego. Con la cooperación de niños y padres, se seleccionaron dos grupos de niños. Cada grupo tenía 32 personas, con un grupo tomando 10 gramos de aditivo alimentario de pectina “Vitapect” diariamente durante 21 días y el segundo grupo tomando el “Placebo” durante el mismo periodo. La disminución de ¹³⁷Cs en los niños que tomaron Vitapect” fue del 65.6%, y la de los que tomaron el “Placebo” –13.9%. Esta diferencia estadística es científicamente significativa ($\square < 0.01$).

De 2000 a 2002 el Instituto Belrad, en asociación con Iniciativas para Chernobyl de Italia (650 niños), Irlanda (1,100 niños) e Inglaterra (1,215 niños), hicieron el siguiente proyecto: los niños que viajaron para su recuperación fueron medidos en WBC para identificar el ¹³⁷Cs en sus cuerpos; en el periodo de recuperación tomaron preparaciones de pectina y después de su recuperación fueron medidos en WBC por segunda vez. Se seleccionó un grupo control que no recibió preparados de pectina durante el periodo de recuperación. La segunda medida WBC (entre 26 y 28 días) demostró una reducción de ¹³⁷Cesio de 60% a 85% en los niños que habían tomado pectina en el periodo de rehabilitación y del 15% a 20% en el grupo control (los que no habían tomado preparados de pectina).

En asociación con las iniciativas para Chernobyl de Austria, Alemania y Francia, se realizó un proyecto que incluía dar a los niños 3 a 4 ciclos de “Vitapect”, a lo largo de un año, a niños que volvían de su recuperación. En este estudio el ¹³⁷Cs en los niños se redujo de 2 a 3 veces.

Un curso de radio protección parar 1,400 niños en 10 pueblos del distrito de Narovlya incluyendo el uso de “Vitapect” (5 ciclos de tomas de “Vitapect” y monitorización por diez veces WBC de ¹³⁷Cs en niño antes y después de tomar la preparación) se implementó por el Instituto Belrad (desde el 2000 al 2002) junto con la asociación “Niños de Chernobyl Bielorrusia” (Francia), la fundación Mitterrand y el fondo “Niños de Chernobyl”. Este estudio demostró la posibilidad de reducir la exposición a la radiación anual de 3 a 5 veces. La ejecución de este proyecto internacional, en coordinación con las autoridades locales, conllevó un coste adicional pequeño y es considerado como un buen ejemplo de la eficacia de tal ayuda internacional. En el anexo de este capítulo hay gráficos que muestran la evolución de la media de la actividad específica de los radionucleidos de ¹³⁷Cs en niños en los pueblos de Verbovichi y Kirov. Estos gráficos muestran claramente un aumento de ¹³⁷Cs en niños después de suspender el consumo de “Vitapect”.



Entre los niños en recuperación en Normandía (Francia), el laboratorio francés ACRO testó el 137Cs en la orina de los niños antes y después de tomar "Vitapect", y el instituto Belrad hizo las medidas WBC de 137Cs en niños antes y después de tomar "Vitapect". En la figura 2.28 en el anexo hay un gráfico que muestra las variaciones de 137Cs en el organismo completo antes y después de tomar "Vitapect" durante 21 días. La reducción de 137Cs en el organismo fue del 61%.

En los últimos años muchos padres y cuidadores de cientos de niños de Bielorrusia han ido a Alemania (Bremen, Hannover, Bonn, Lüneburg, and Göttingen), Austria (Tirol) y Francia (Normandía) para obtener preparaciones de pectina. Se conserva una información certificada de cada niño que contiene los cambios de 137Cs en el cuerpo (hay tres copias – una con la familia de acogida, una para la familia del niño y una que conserva el Instituto Belrad). En los últimos 4 años el Instituto Belrad ha dado suplemento alimenticio de pectina "Vitapect" a 75 mil niños de las regiones de Chernobyl.

Una importante propiedad de las preparaciones de pectina debe ser mencionada: si los metales pesados y los radionucleidos son eliminados del organismo se restaura el balance positivo, de vital importancia, de microelementos. De 2003 a 2004, en el marco del proyecto internacional "Niños altamente expuestos de Bielorrusia", la eficacia del "Vitapect" vs. "Placebo" en niños fue estudiada durante un periodo de 8 semanas en el sanatorio "Lesnye Dali", "Serebryanye Klyuchi" y "Belorusochka" con el acuerdo de los niños y sus padres. La influencia de las preparaciones de pectina en la composición de la sangre y la recuperación general fueron estudiadas. Así a los tres sanatorios se asoció para la implementación del proyecto, el Laboratorio de Investigación Central (TsNIL) de la Academia Médica para Educación postgraduada (BELMAPO) del Ministerio de Servicios de Salud Pública de Bielorrusia. En la sección radiológica del proyecto, el laboratorio WBC del Instituto Belrad realizó las medidas de 137Cs en niños durante su estancia antes y después de tomar "Vitapect" y "Placebo". Este proyecto consistía en investigaciones radiológicas y médicas.

En la sección radiológica del proyecto, se realizaron medidas de 137Cs en niños en cada periodo de recuperación antes y después de tomar "Vitapect" y "Placebo". Al mismo tiempo se llevó a cabo el control de la radiación de los productos alimenticios a lo que contribuyó la subvención de los alimentos para niños. En la figura 2.30 en el anexo tres hay una evaluación de la eficacia de "Vitapect" y "Placebo" para eliminar los radionucleidos de los niños en el grupo que tomó "Vitapect" y en el grupo control que tomó "Placebo".

La parte médica de el proyecto, llamado muestras de sangre, fue realizado por el staff médico del sanatorio y las muestras fueron testadas por los médicos de TsNIL BELMAPO Ministerio de Servicios de Salud Pública de Bielorrusia. Se llevó a cabo un chequeo médico de los niños, incluyendo pruebas funcionales de ejercicio con medidas de la presión sanguínea antes y después de la prueba de ejercicio. Se hicieron registros de ECG al comienzo y al final del periodo de recuperación. Se hicieron tests para oligoelementos esenciales en sangre (Zn, Fe, Cu) y potasio al comienzo y al final del periodo de recuperación en orden a investigar la influencia del "Vitapect" en el balance de oligoelementos en niños.

La aplicación de la preparación de pectina "Vitapect" durante 12 a 14 días promueve la eliminación de los radionucleidos de 137Cs incorporados, y ayuda a mantener un balance positivo de Potasio, Cobre, Zinc y Hierro en los niños. La reducción de estos elementos en el suero sanguíneo no había sido observada en los grupos valorados (ver anexo).

Durante su estancia en el sanatorio un grupo de niños tomó la preparación “Vitapect”, 5 g dos veces al día, el segundo grupo, tomó la preparación “Placebo” 5 g dos veces al día. Los chequeos médicos se hicieron dos veces durante el intervalo de 12 a 14 días (al comienzo y al final del periodo de recuperación). En el anexo se presenta el diagrama mostrando las respuestas del ECG con las variaciones de la acumulación del Cs-137 en 543 niños examinados en pueblos contaminados de los distritos contaminados de Bielorrusia hasta 2003 y un diagrama representando cambios en la respuesta vascular, con la actividad específica media de Cs-137.

Este trabajo fue llevado a cabo de acuerdo con el método de investigación doble ciego. Las listas de niños fueron conocidas después de completar todas las medidas; todos los exámenes médicos fueron efectuados en presencia de representantes del Centro de Investigación Nuclear “Juelich” (Alemania).

Antes de comenzar las medidas relacionadas con esta etapa del proyecto, desde el 30 de octubre al 1 de noviembre de 2003, fue realizada la intercalibración de WBC desde el Instituto Belrad y el Centro de Investigación Nuclear “Juelich” (Alemania) y los certificados de Verificación del Estado Metroológico de Espectrómetros del Instituto Belrad fueron examinados por el KomChernobyl Centro Republicano de Recuperación de Niños “Zhdanovichi”.

6. Participación del Instituto no gubernamental de Seguridad de Belrad en la superación de las consecuencias del accidente de Chérbobil

Durante los primeros años de trabajo del Instituto Belrad, cuando el Soviet Supremo de URSS tomó la decisión de eliminar de la lista de secretos todo el material del accidente de Chérbobil, los habitantes de Bielorrusia comenzaron a desconfiar de la información oficial del gobierno sobre los niveles de contaminación del territorio y los productos alimenticios.

En 1989 el gobierno de Bielorrusia comenzó a traer personal del Instituto no gubernamental de Seguridad Nuclear (entre el 1989 al 1990 referidos al Centro Científico y Técnico Para Seguridad Radiológica “Radiometer”) para que formara parte en comisiones de evaluación de la situación y en la implementación de medidas de radio protección para la población. En 1989 y 1990 el Consejo de Ministros de Bielorrusia (presidente, Profesor V.B. Nesterenko), con especialistas en radio protección, radiología agricultura, bosques, medicina y sociología hicieron sus investigaciones en los pueblos de Chudyany (> 147 Ci/km²), Malinovka y Maysky en el distrito de Cherikov de la región de Mogilyov. Las propuestas de la Comisión fueron aceptadas por el Gobierno y los habitantes de estos pueblos fueron reubicados. Seis meses después la misma comisión hizo más investigaciones en el pueblo de Veprin en el distrito de Cherikov. Siguiendo los resultados de la Comisión todos los niños fueron enviados a sanatorios en Rusia para varios meses de rehabilitación, todos los habitantes de este pueblo fueron reubicados, toda actividad cesó y el pueblo fue enterrado con tierra (las calles estaban contaminadas con una densidad de Cesio-137 por encima de 55 Ci/km²).

En 1990 y 1991 la comisión investigó las condiciones de vida y la posibilidad de producción de alimentos conteniendo Cesio-137 en los límites de RDU-90 (niveles permisibles estatales). Según estos resultados algunos pueblos se pusieron en huelga en el distrito de Narovlya. De acuerdo al resultado del trabajo de la Comisión se descubrieron 65 pueblos con una carga de dosis en exceso de 35 rem, dosis periodo de vida. El gobierno tomó la decisión de reubicar 8 pueblos del distrito de Narovlya y algunos habitantes con sus niños del asentamiento de Narovlya.



En otoño de 1991 la Comisión, en nombre del gobierno de Bielorrusia hizo algunas investigaciones en los pueblos de Ol'myany, Gorodnaya y otros pueblos del distrito de Stolin. La comisión trabajó con las autoridades locales, escuelas y toda la población. En todos los pueblos se organizaron LCRC para informar a la población y se aceptaron medidas de radio protección adicionales para niños (comida no contaminada en las escuelas, rehabilitación doble de un año de duración en sanatorios de regiones no contaminadas de Bielorrusia etc.

Como resultado de este trabajo se organizó en el distrito de Stolin, un marco de 20 LCRC, 5 de los cuales se utilizaron para implementar el proyecto ETOS.

La nueva etapa de información fundamental a la población implementada por el Instituto Belrad, consistió en desarrollar un programa de monitorización de la radiación de WBC de los niveles de acumulación de Cesio-137 en niños y encontrar la forma de disminuir estos niveles.

En 1995 el Instituto Belrad comenzó a investigar la viabilidad de laboratorios móviles WBC, para determinar la acumulación de niveles de Cesio-137 en niños. Gracias a la ayuda de iniciativas para Chérbobil de Alemania, Irlanda, Noruega, USA y el Consejo Mundial de Iglesias, 8 laboratorios móviles se desarrollaron utilizando mini-buses, que habían sido presentados al instituto Belrad por el proyecto para niños de Chernobyl irlandés y el Consejo de la ciudad de Viena.

A finales del año 2003, se habían realizado más de 200,000 WBC medidas en niños en las escuelas y guarderías de de las regiones de Chernobyl. Se detectaron altos niveles de acumulación de Cesio-137 en niños; el máximo valor alcanzó 4,000 a 7,000 Bq/kg de peso corporal (BW) por niño.

Esta información se remitió a los padres, escuelas y administradores regionales. Los resultados de las medidas de WBC fueron integrados y publicados con el permiso de padres y niños en listas de información que fueron remitidas a los Presidentes de Gobierno, Administración, Ministerio de Servicios de Salud Pública (MPHS), todos los gobernadores, Comités Ejecutivos y todos LCRC, para informarlos y para discutir medidas protectoras.

Por parte del Ministerio para Situaciones de Emergencia (MES) y la Comisión de la Cámara de Representantes para los problemas del accidente de Chernobyl, el Instituto Belrad fue llevado como experto para investigar los actuales niveles acumulados de Cesio-137 en los habitantes de 45 pueblos previamente declarados por el MPHS como "seguros". Las medidas de WBC demostraron que la actual dosis de carga anual de los habitantes de estos pueblos era 6 a 8 veces más alta que la dosis de catálogo remitida por MPHS al Gobierno de Bielorrusia. En abril de 2000 los resultados del trabajo de la Comisión fueron tratados en una sesión especial de la Cámara de Representantes para los problemas de las consecuencias del accidente de Chernobyl. Las propuestas de la Comisión (presidente V.B. Nesterenko) fueron aceptadas y MPHS fue obligado a retirar el borrador del Catálogo de dosis anual de la población de Bielorrusia (2000) del Gobierno y enviarlo al Instituto de Medicina Nuclear y Endocrinología para revisión.

Al día siguiente la comisión médica fue al Instituto Belrad con instrucciones del MPHS de Bielorrusia (Ministro I.B. Zelenkevich) concernientes a la prohibición del Instituto Belrad para hacer medidas WBC en los habitantes. La razón dada fue que el procedimiento era esencialmente medico y el instituto debía obtener una licencia médica del MPHS. En una carta

especial el MPHS enviada a las direcciones de todas las estructuras públicas de salud ordenaba la retirada de sus contratos con el Instituto Belrad por no poseer la licencia médica necesaria.

El Instituto Belrad sin embargo tenía una licencia del MES de Bielorrusia para hacer el control de medición del ambiente y los productos alimenticios. La decisión del ministro de los Servicios de salud Pública fue apelada en una carta al presidente de la República de Bielorrusia. En nombre del presidente, MES llevó a cabo un examen del proyecto internacional Belrad, "WBC Monitorización de la acumulación de la radiación de radionucleidos en niños y su protección con preparados de pectina". Expertos internacionales de Rusia, Ucrania, Bielorrusia y Francia confirmaron que las medidas WBC eran un procedimiento físico y el Ministro de Justicia de Bielorrusia confirmó que el Instituto Belrad, teniendo una licencia para medidas de radiación no necesitaba una licencia médica.

MPHS y el Instituto Belrad tiene datos basados en las medidas WBC de la acumulación de niveles de Cesio-137 en niños de las regiones de Chernobyl (se construyeron mapas de contaminación radiactiva de niños de 12 distritos y se muestran en el anexo de este capítulo). Deben asegurarse medidas protectoras de tal forma que la carga anual de dosis en el grupo crítico no exceda de 0.3 mSv/a y todo el asentamiento permanezca por debajo de 0.1mSv/a, como se establece en el addendum y en la modificación de la Ley de Bielorrusia "Considerando la protección social de los ciudadanos, afectados por el accidente de Chernobyl NPP" #31-I de 17 de mayo de 2001. Siempre que la adecuada financiación del programa de Chernobyl tenga lugar, tal enfoque debe ayudar a identificar los grupos más críticos, incluyendo los grupos de niños mas irradiados de familias con muchos niños y de grandes familias en cada pueblo". Adicionalmente esto puede ayudar a asegurar que el programa estatal de Chernobyl pueda suministrar el alimento subvencionado necesario a las escuelas y la rehabilitación anual.

Todos los resultados de las medidas WBC fueron enviados a las autoridades locales para consulta.

En el decreto del Consejo de ministros de la República de Bielorrusia, el MPHS había ordenado preparar el catálogo de carga de dosis de la población de Bielorrusia, el Centro Científico y Práctico Republicano para Medicina de la Radiación y Ecología humana (RSPC RM&HE) en Gomel preparó el "Nuevo método de Cálculo de la dosis anual de la población" que esta basado en la hipótesis de proporcionalidad entre la carga de dosis anual de los habitantes de las regiones de Chernobyl y la densidad de contaminación del territorio. Los miembros del Instituto Belrad (Profesor V.B. Nesterenko y Profesor A.N. Devon) fueron incluidos en la comisión de expertos de la comisión nacional para la radio protección para la evaluación de la significancia científica de los "Métodos de determinar la carga de dosis anual de la población de Bielorrusia" propuestos por RSPC RM&HE (Gomel). El Instituto Belrad remitió al comité de expertos el resultado del proceso de las medidas WBC para 97 pueblos en la región de Gomel, 9 pueblos en la región de Mogilyov y 18 pueblos en la región de Brest. El valor del coeficiente K (relación de la acumulación media especifica de radionucleidos en los habitantes con la densidad de contaminación del territorio) varía de 0 a 354 en la región de Gomel, de 7 a 95 en la región de Mogilyov y de 6 a 85 en la región de Brest.

Esto muestra que la principal hipótesis de los autores de los "Métodos de determinar la carga de dosis anual de la población de Bielorrusia" basados en la densidad de contaminación del suelo no tenía base científica y por ello fue rechazada por el Comité Nacional de Radioprotección.



Tuvo que elaborarse un nuevo catálogo de carga de dosis de la población, basado en las medidas directas Belgidromet de tasa de dosis en cada asentamiento (dosis de exposición externa), y la dosis de exposición interna de los habitantes de cada asentamiento debe ser determinada de acuerdo a la carga de dosis del grupo más crítico y más irradiado de habitantes (10 a 15 personas). Esto es consecuencia de las medidas directas WBC de un grupo representativo de la población.

En Gomel RSPC RM&HE la falta de datos de medidas directas WBC de la acumulación de radionucleidos en los habitantes de varios pueblos de la región de Gomel y especialmente en la región de Brest y Mogilyov, era evidente. El Instituto Belrad ofreció el uso de su equipo móvil WBC a la administración de RSPC RM&HE para recoger esta información perdida (no menos de 2 veces al año en cada asentamiento). La propuesta no ha sido aun aceptada.

Las técnicas de medida de los laboratorios móviles WBC del Instituto Belrad permiten realizar medidas de 55,000 a 60,000 personas al año asegurando datos fiables sobre el nivel de acumulación de radionucleidos en los habitantes de los pueblos más contaminados por Cesio-137.

Las medidas directas WBC ayudan a identificar los grupos más irradiados de población en las regiones de Chernobyl y dirigir las medidas de radio protección para la población de la república.

Desde el año 2000, la instalación del laboratorio del Instituto Belrad produce más de 1,500 paquetes de suplemento alimenticio de pectina "Vitapect" por mes. Durante estos años gracias a la ayuda internacional para las de las iniciativas de Chernobyl, el Instituto Belrad ha sido capaz de suministrar "Vitapect" para 75,000 niños en las regiones de Chernobyl de Bielorrusia.

Debido a la ampliación de estos laboratorios en 2005, el nuevo Instituto "Nueva casa de Belrad", ha sido capaz de producir 5,000-7,000 paquetes de "Vitapect" por mes. La iniciativa irlandesa para Chernobyl (el proyecto para los niños de Chernobyl) ha entregado una prensa al Instituto para la producción de tabletas solubles en agua conteniendo pectina. Una serie de iniciativas extranjeras para Chernobyl han conseguido ayuda financiera para la expansión de la producción de "Vitapect" para el tratamiento de la radiación de los niños de Bielorrusia.

En octubre de 2005, el Instituto de Crecimiento de la Fruta de la Academia nacional de las Ciencias de Bielorrusia ha ofrecido cooperación al Instituto Belrad en la organización y manufactura de suplementos alimenticios de pectina.

Conclusion

1. La Implementación de medidas regulares WBC de todos los niños en las regiones de Chernobyl de Bielorrusia es el instrumento para identificar los grupos críticos nominales de niños con los mayores niveles de acumulación de radio cesio en sus cuerpos y abrir una vía para seleccionar la prioridad para la radioprotección .
2. Se recomienda que el ministerio de Agricultura y producción de Alimento de Bielorrusia organice y tenga disponibles fábricas de conservas alimenticias en Bielorrusia, para la producción de aditivos alimenticios de pectina de semillas de manzana y que el Ministerio de Salud Pública y el Ministerio de Salud de Ucrania llame a la inclusión de suplementos de pectina (3-4 veces al año) en una dieta regular como medio de purificar los cuerpos de los niños de radionucleidos y metales pesados.
3. Es necesario iniciar un estudio conjunto para investigar la frecuencia de la enfermedad en la población (especialmente liquidadores y niños) relativa al Cs-137 contenido y la influencia del radio-cesio en sus cuerpos para producir enfermedades (corazón, riñones ojos, sistema endocrino, etc.).
4. Se recomienda un aumento en el número (por encima de 150-160) de Centros Públicos Locales de Control de Radiación de los productos alimenticios (LCRC) en las regiones contaminadas. Esto requiere reforzar el sistema estatal existente de control de la radiación de los productos alimenticios y necesita tener una base educacional para la población, propiciando la información, con centros de educación para los niños escolarizados, sus padres y maestros.
5. Es extremadamente necesario aumentar (por encima de 12-15) el número de laboratorios móviles WBC para tomar medidas regulares de la población e identificar grupos críticos donde la carga de dosis exceda de 1 mSv/año.
6. Es necesario organizar la producción comercial y regular, la aplicación de suplementos alimenticios de pectina (hechos con manzanas, algas) como un eficaz tratamiento de radio protección para la población de las regiones de Chernobyl de Bielorrusia.
7. Es necesario iniciar una larga escala de proyectos internacionales de radio protección; esto incluye desarrollar la utilización de los aditivos alimenticios de pectina y estrategias de medida WBC como una ayuda hacia la radio protección para la gente.

Expertos:

Profesor V.B. Nesterenko

Experto-Ecologista A.V. Nesterenko



Referencias

- Chernobyl Catastrophe: Causes and Effects. Expert's conclusion of 4 parts (in Russian and English), about 800 pages.
- Part 1. Direct Causes of the Accident at the Chernobyl NPP. Dosimetric Monitoring. Protective Activities and Their Efficiency. 1993.
- Part 2. Biomedical and Genetic Effects of the Chernobyl Accident. 1993.
- Part 3. Effects of the Catastrophe at the Chernobyl NPP for the Republic of the Belarus. 1992.
- Part 4. Effects of the Catastrophe at the Chernobyl NPP for the Ukraine and Russia. 1993.
- V.B. Nesterenko. Chernobyl Accident: Radiation Protection of Population, Minsk, 1998, page 172.
- I.N. Nikitchenko. Chernobyl. How Does It Happen. Minsk, Committee for Protection of Rights of Industrial Classes, 1999, page 193.
- V.F. Ageyets. System of Radioecological Counter-measures in Agrosphere of Belarus. Minsk, 2001, page 249.
- Consequences of Chernobyl in Belarus Since 17 Years, National report. Minsk, Committee on Problems of the Consequences at the Chernobyl NPP of the Council of Minister of Belarus, page 52.
- Professor, Doctor of Medicine Yu.I. Bandazhevsky. Biomedical Effects of Radiocaesium Incorporated into the Body. Minsk, 2000, page 70.
- V.B. Nesterenko. Recommendations on Radiation Protection of Population and Their Efficiency. Minsk, 2001, page 58.
- Law of the Republic of Belarus "About the Social Defence of Citizens Affected by the Accident at the Chernobyl NPP", Febrero 22, 1991;
- Law of the Republic of Belarus dated 17.05.2001. Addenda and amendments to the Law of the Republic of Belarus "About the Social Defence of Citizens Affected by the Accident at the Chernobyl NPP";
- Law of the Republic of Belarus "About the Legal Regime of Territories Contaminated by Radiation as a Result of the Catastrophe at the Chernobyl NPP", November 12, 1991;
- I.M. Bagdevich. Guide for Carrying on Agroindustrial Enterprise in Conditions of radiocontaminated Soil of the Republic of Belarus for 1997 to 2000. Minsk, 1997, page 76.
- The report of World Bank No 23883-BY "Belarus. The review of consequences of accident on Chernobyl NPP and programs on their overcoming". Minsk, 2002, 64 pages.
- The report of the United Nations 2002 "Humanitarian consequences of accident on the Chernobyl NPP. Strategy of rehabilitation". Minsk, Yunipak, 2002, 73 pages.
- Professor, Doctor of Medicine M.I. Rudnev. The Opinion About Protective Properties of the Apple Powder Containing Pectins in the experiment of the influence of small doses on the human body. Science centre for Radiation Medicine of Medical Academy of Sciences of the Ukraine, Kiev, 1997.
- L.V. Porokhnyak-Ganovskaya. The New Way for Prevention And Rehabilitation of the Inhabitants of the Zone of Radiation Contamination: Pectin Apple Powder And Vitaminized Water-soluble Pills "Yablopect". Medical adviser, No 1, 1998.
- N.A. Gres etc. Influence of Pectin Preparations on Dynamics of the Microelement Composition of Blood of Children. Digest of Research Clinical Institute of Radiation Medicine and Endocrinology, Minsk, 1997, pages 108-116.

N.A.Gres, A.N.Arinchik, etc. Peculiarities of the microelement composition of the children's bodies in Belarus. Digest Research Clinical Institute of Radiation Medicine and Endocrinology, Minsk, 1997, pages 26-29.

Joint report IRS Belrad and Research centre in Juelich (Germany) under the international project "Highly irradiated children in Belarus" (4th milestone) "Efficiency of excretion of radioactive nuclides of cesium - 137 from an organism of children by pectin preparation "Vitapect", conservation and stabilization of balance of the vital microelements by it (K, Zn, Fe, Cu). Minsk, Juelich, 2004, 20 pages.

V.B.Nesterenko, A.V.Nesterenko, V.I.Babenko, T.V.Yerkovich, I.V.Babenko. "Reducing the 137-Cs-load in the organism of Chernobyl children with apple-pectin". Swiss Med Wkly, 2004, 134, 24-27.

G.S.Bandazhevskaya, V.B.Nesterenko, V.I.Babenko, I.V.Babenko, T.V.Yerkovich, Yu.I.Bandazhevsky. "Relationship between Cesium (137Cs) load, cardiovascular symptoms, and source of food in "Chernobyl" children – preliminary observations after intake of oral apple pectin." Swiss Med Wkly, 2004, 134:725–729.

V.B.Nesterenko, P.Hill, M.Schläger, H.Dedviichs, R.Lennartz, R.Hille, A.V.Nesterenko, V.I.Babenko. "Evaluation of the Current Radiation Burden of Children Living in Regions Contaminated by the Chernobyl Accident", IRPA-congress at Madrid in Spain, 2004



Estudios acerca de los efectos sobre el embarazo del Accidente de Chernobyl

Alfred Koerblein - Dr Rer Nat Físico

Untere Soelnersgasse 8, D-90405 Nuremberg, Alemania

Traducción María Calonge

Los datos anuales de mortalidad perinatal de Alemania y Polonia muestran un incremento significativo en 1987, el año siguiente al accidente de Chernobyl, referidos a las tendencias a largo plazo. En un análisis de los datos mensuales de mortalidad perinatal en Alemania, se encuentran puntos máximos de mortalidad perinatal a comienzos y finales de 1987. Ambos puntos máximos se asocian con puntos máximos de la carga de cesio en mujeres embarazadas en los 7 meses anteriores (95% CI: 5,5 a 8,5 meses). La mortalidad mensual de recién nacidos en Polonia sigue el mismo modelo. La asociación con la concentración de cesio resulta altamente significativa. Una regresión combinada de datos mensuales de mortalidad neonatal de Alemania y mortalidad de recién nacidos de Polonia encuentra una respuesta curvilínea relacionada con la dosis en una intensidad calculada de dosis de $2,8 \pm 0,8$. El índice de mortalidad perinatal en Gomel, la región de Bielorrusia más contaminada, se compara con el índice del resto de Bielorrusia. Los índices no difieren significativamente hasta 1988 pero entonces el índice de Gomel aumenta y alcanza un incremento del nivel del 30% en la década de 1990. Ese incremento puede explicarse como un efecto posterior a la absorción de estroncio.

En febrero de 1987, se observa una significativa caída del 11,4% en el índice de nacimientos de Baviera que se puede explicar por un incremento de los índices de los abortos espontáneos inmediatamente después de Chernobyl, cuando la intensidad de radiación era más alta. Los efectos sobre la salud de los que se informa aquí muestran una correlación temporal con la exposición a la radiación de Chernobyl. De acuerdo con las informaciones convencionales sobre radiación, no se esperaba que se produjeran efectos teratogénicos por debajo del umbral de una dosis de unos 100 mSv. Incluso en las regiones más contaminadas de Alemania, con todo, las dosis extra del feto estaban por debajo de 1 mSV en el primer año siguiente. En consecuencia, los resultados contradicen la idea ampliamente aceptada de un umbral de dosis de radiación para daños en el feto durante el desarrollo fetal.

I. Antecedentes

La observación de los efectos sobre el embarazo constituye un instrumento sensible para detectar posibles efectos contrarios a la salud en poblaciones humanas expuestas a la radiación ionizante o a otros agentes tóxicos. Entre los resultados adversos del embarazo están los abortos espontáneos, las malformaciones congénitas y las muertes perinatales. Mientras en la mayoría de los países se dispone de los datos de mortalidad perinatal, existen pocos registros de malformaciones genéticas, y la mayoría de los registros están incompletos.

El registro europeo de malformaciones genéticas, EUROCAT, abarca sólo un 10% de la población europea.

El accidente nuclear de Chernobyl, del 26 de abril de 1986, fue el accidente más grave producido por el empleo civil de la energía nuclear. Grandes partes de Europa se contaminaron con isótopos radioactivos de yodo y cesio; estroncio y plutonio se registraron también cerca de Chernobyl. Para los radiobiólogos y epidemiólogos, el accidente de Chernobyl ofreció una oportunidad única de estudiar los efectos de la radiación de bajo nivel sobre la salud de la población en general. Pero las consecuencias del desastre de Chernobyl todavía se debaten. El único efecto sobre la salud aceptado de modo general del accidente de Chernobyl es un dramático incremento de los cánceres de tiroides en Bielorrusia, Ucrania y partes de la Federación Rusa.

Se han realizado unos cuantos estudios en publicaciones sobre los efectos de Chernobyl sobre la mortalidad perinatal o los porcentajes de niños nacidos muertos. Algunos de los trabajos son informes descriptivos; los resultados cuantitativos precisos (valores porcentuales e intervalos de probabilidad) son raros. En la mayoría, como regla, se informa de los casos negativos encontrados, sin mencionar la capacidad estadística de los estudios.

En Finlandia, no se encontraron incrementos significativos de los índices de malformación o de muertes perinatales [1]. En Alemania Occidental, se informó de una desviación ascendente a partir de una tendencia a la baja de la mortalidad neonatal después de Chernobyl en Baviera y Baden-Wuerttemberg, los estados de Alemania Occidental con mayor exposición a la radiación [2]. Pero el resultado dependía del modelo de extrapolación empleado y se sospechó que se trataba de un artefacto [3]. En Noruega, hubo un incremento de abortos espontáneos en embarazos producidos durante los tres primeros meses posteriores al accidente de Chernobyl [4]. De modo semejante, se encontró en Italia un descenso del 7,2% del índice de nacimientos en febrero de 1987 [5]. En Hungría, no se observó incremento de anomalías congénitas después del accidente de Chernobyl, y una vez más, el índice de nacimientos vivos disminuyó 9 meses después de mayo y junio de 1986 [6]. En los condados ingleses de Cumbria, Clwyd y Gwynedd, donde se produjeron grandes lluvias durante el paso de la nube radiactiva, no se observó un aumento de los índices de mortalidad perinatal relativos al resto del país [7]. En un artículo sobre las anomalías congénitas y otros problemas de reproducción, el autor concluye que no hay pruebas consistentes de un efecto físico perjudicial del accidente de Chernobyl sobre las anomalías congénitas [8]. Se observó un incremento de embarazos problemáticos, incluyendo un aumento de la mortalidad perinatal en dos distritos altamente contaminados cercanos al reactor de Chernobyl [9]. En Suecia, no se produjeron cambios en el porcentaje de abortos espontáneos y malformaciones congénitas en la época del accidente [10]. En Kiev, no se observó un cambio notable de los índices de mortalidad perinatal después de Chernobyl [11].



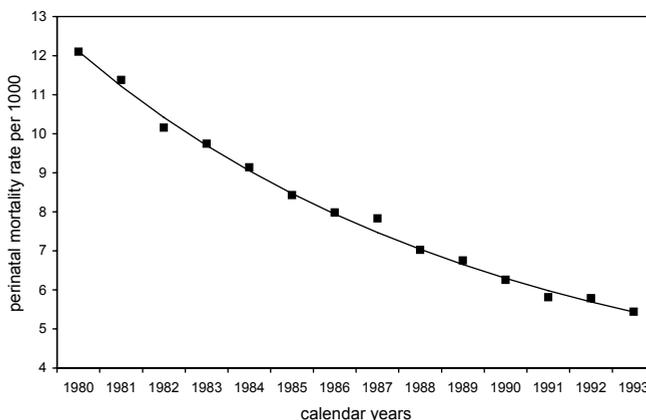
Se observó un incremento del desarrollo de anomalías en los embriones humanos de 5-12 semanas en Bielorrusia después de Chernobyl [12]. También en Bielorrusia, neonatos nacidos en áreas altamente contaminadas aparentemente tenían riesgo de sufrir anemia, malformaciones genéticas y muerte perinatal [13].

En un artículo Goldman establece que no se ha informado de efectos médicos adversos significativos aparte de cánceres de tiroides en niños dentro de la población afectada de Chernobyl [14].

En Alemania los índices de malformaciones [15] y los índices de mortalidad perinatal [16] después de Chernobyl en la parte altamente contaminada del sur del estado de Baviera fueron comparados con los índices de menos contaminación de la parte norte de Baviera. No se encontraron diferencias significativas. El valor estadístico del estudio, sin embargo, era bastante bajo [17]. Un análisis de la tendencia de los índices de mortalidad perinatal en Alemania encontró puntos máximos que se asociaron con las concentraciones máximas de cesio en los cuerpos de mujeres embarazadas siete meses antes [18].

Se informó de un persistente incremento de los índices de nacimientos prematuros después de Chernobyl en algunos países del este de Europa, aparte de en la antigua Unión Soviética (Suecia, Polonia, Hungría, Grecia), mientras no se encontró incremento en países del centro y oeste de Europa [19]. En el estado de Baviera, el incremento de los índices de nacimientos prematuros en 1987 se correspondió con el nivel de radiación [20]. Un estudio similar no encontró correlación entre el nivel de radiación y los índices de nacimientos prematuros en Finlandia [21]. En Bielorrusia, los índices de mortalidad perinatal de la región de Gomel, que experimentaron los más altos índices de radiación de Chernobyl, se incrementaron en la década de 1990 con respecto a los porcentajes del resto del país. El aumento se asoció con la concentración calculada de estroncio en mujeres embarazadas [22].

Figura 1: Índices de mortalidad perinatal en Alemania a largo plazo



El único estudio oficial alemán sobre los índices de mortalidad perinatal fue realizado por la Oficina Federal de Protección de la Radiación (Bundesamt für Strahlenschutz) [16]. Para ese estudio se eligieron datos de Baviera porque Baviera es el estado alemán que experimentó la más elevada radiación procedente de Chernobyl. La población soportó una contaminación de cesio en el suelo que fue unas cuatro veces más elevada en el sur de Baviera que en el norte de Baviera. Un posible efecto de la radiación debería haber cambiado el porcentaje de mortalidad perinatal en el sur con respecto al norte de Baviera después de Chernobyl. Con todo, los autores no encontraron ningún cambio en ese porcentaje después de Chernobyl. Esto se consideró como una prueba de que no había efectos de radiación de Chernobyl en Alemania. Sin embargo, puede demostrarse que la precisión del estudio era demasiado baja para detectar diferencias en los índices de mortalidad perinatal por debajo del 30%. Para detectar efectos tan pequeños se necesita mayor número de población.

Este artículo es una puesta a punto de mis estudios sobre los efectos de la radiación de Chernobyl sobre los embarazos en Alemania, Austria, Polonia, Bielorrusia y Ucrania. Para dar mayor valor a la capacidad estadística de los estudios, he incluido todos los datos disponibles de Alemania (una población de 80 millones), en lugar de limitar la investigación a una región de Alemania (Baviera, 11 millones de habitantes) como en [16]. Con un análisis de tendencias, se investigan los efectos de perturbaciones a corto plazo en la misma población, de modo que cualquier factor distorsionador queda prácticamente excluido. El cálculo de la tendencia a largo plazo será más preciso según estén disponibles más datos anteriores y posteriores a 1966, el año del accidente de Chernobyl.

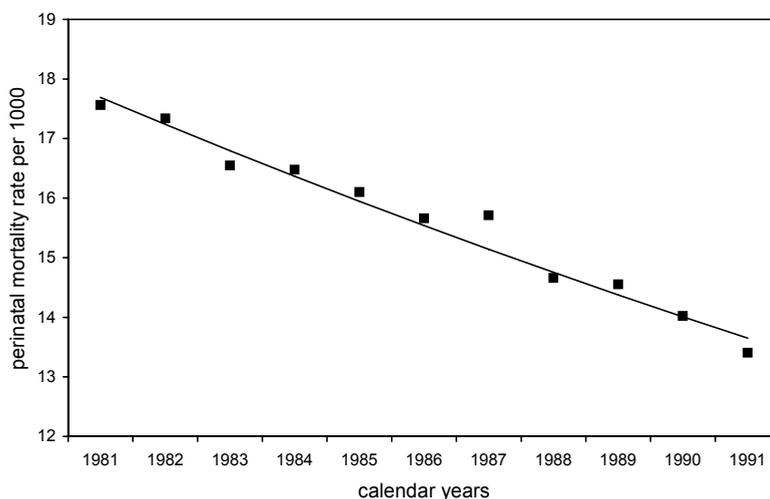
2. Datos

La mortalidad perinatal es el número de nacimientos prematuros más las muertes neonatales tempranas (0-6 días) dividido por el número de nacimientos vivos más nacimientos prematuros. Dado que en Alemania los criterios para los nacimientos prematuros cambiaron en 1980 y 1994, el periodo de estudio ha quedado limitado a 1980-1993. En 1980, el criterio de nacimientos prematuros cambió de una longitud del cuerpo de 35 centímetros a un peso al nacer de 1000 gramos, lo cual volvió a cambiar a 500 gramos en 1994.

Los datos de mortalidad perinatal mensual de Alemania, 1980-1993, se obtuvieron del Departamento de Estadística alemán (Statistisches Bundesamt). Los datos de mortalidad mensual de recién nacidos de Polonia, 1985-1990, los proporcionó el Instituto de la madre y el hijo, de Varsovia. Los datos de mortalidad perinatal y distribución por edades de las madres de Bielorrusia, los proporcionó el Departamento de Estadística del Ministerio de Sanidad de Bielorrusia, en Minsk.



Figura 2: Índices de mortalidad perinatal de Polonia y tendencia a largo plazo



Los índices de contaminación del suelo por cesio-137 van de 2-3 kBq/m² en el norte de Alemania a más de 50 kBq/m² en el sur de Alemania. Las concentraciones de cesio medidas en la leche de vaca en Munich, Alemania, desde mayo de 1986 a diciembre de 1988, los proporcionó la Sociedad Estatal del Medioambiente y Salud (Gesellschaft für Umwelt und Gesundheit, GSF).

3 Datos anuales

Modelo

Los datos de mortalidad perinatal son datos binarios, en consecuencia el modelo de tendencia apropiado es un modelo de regresión logística. Se usa una forma flexible de la dependencia temporal con un plazo lineal de segundo grado para describir la tendencia invariable a largo plazo de los datos. Para poner a prueba una posible influencia de la radiación de Chernobyl sobre la mortalidad perinatal en 1987, se usó una variable ficticia d_{87} con $d_{87}=0$ en todos los años excepto 1987 donde $d_{87}=1$. El modelo ha seguido la forma siguiente:

$$(3.1) E(Y(t)) = 1/(1+1/\exp(\beta_1+\beta_2.t+\beta_3.t^2+\beta_4.d_{87})).$$

Aquí $E(Y(t))$ es el índice estimado de mortalidad perinatal, el parámetro β_1 es el corte, β_2 y β_3 estima la tendencia lineal y temporal al cuadrado, y β_4 calcula el posible incremento en 1987. Se usa un test-t de un aspecto para determinar la significación del exceso de los índices de mortalidad perinatal en 1987 (hipótesis $H_0: \beta_4 \leq 0$).

Resultados

Alemania: Una regresión proporciona una buena adecuación a los datos sobre mortalidad perinatal alemana. El término al cuadrado dependiente del tiempo es altamente significativo ($P=0,002$, TEST-F). En 1987 hay un significativo incremento del 4,9 % con respecto a la tendencia de todos los demás años ($p = 0,0088$). El índice de exceso en 1987 es de un 0,36 por 1000 nacimientos, lo que supone 317 casos en exceso (95% CI: 67-578).

El aumento de mortalidad perinatal en 1987 esencialmente se debe a un 7,4 % de incremento del índice de la mortalidad perinatal ($p=0,0035$; 95% CI: 2,1% a 13%); el 2,9% del índice de aumento de nacimientos prematuros no es significativo ($p = 0,100$).

Otros países: En el análisis de las tendencias de los índices de mortalidad perinatal de Polonia, 1981-1991, se usó un modelo lineal regresivo logístico. Una vez más, el exceso del índice de mortalidad perinatal en 1984 es significativo ($p = 0,0074$). El índice del exceso es del 0,57 por 1000 nacimientos y traduce un exceso 354 casos (95% CI: 89,626). Aproximadamente el 75% del exceso de muertes perinatales en 1987 son muertes neonatales muy tempranas.

Una regresión combinada para Alemania y Polonia, con parámetros de tendencia individual pero un parámetro común para el incremento relativo en 1987, proporciona un incremento altamente significativo de 4,2 % ($p = 0,0003$).

Las tendencias de los índices de mortalidad perinatal en Alemania y en Polonia se muestran en las Figura 1 y Figura 2. Las desviaciones de la tendencia, en unidades de desviaciones estándar (residuos estandarizados) se muestran en Figura 3.

En Inglaterra y Gales no se observaron incrementos de los índices de mortalidad perinatal en 1987 obtenidos a partir de las regresiones que se relacionan en la Tabla siguiente. El incremento es mayor en Polonia que en Alemania, y mayor en la antigua Alemania Oriental que en Alemania Occidental.

Excesos de los índices de mortalidad perinatal en 1987

Conjunto de datos	índice de exceso	% incremento	casos en exceso	p-valor*
Polonia	0,572	3,8%	354	0,0074
Alemania	0,363	4,9%	317	0,0088
Alemania Occidental	0,247	3,5%	159	0,0733
Alemania Oriental	0,623	7,2%	141	0,0279

* *test-t de un aspecto*



4 Datos mensuales

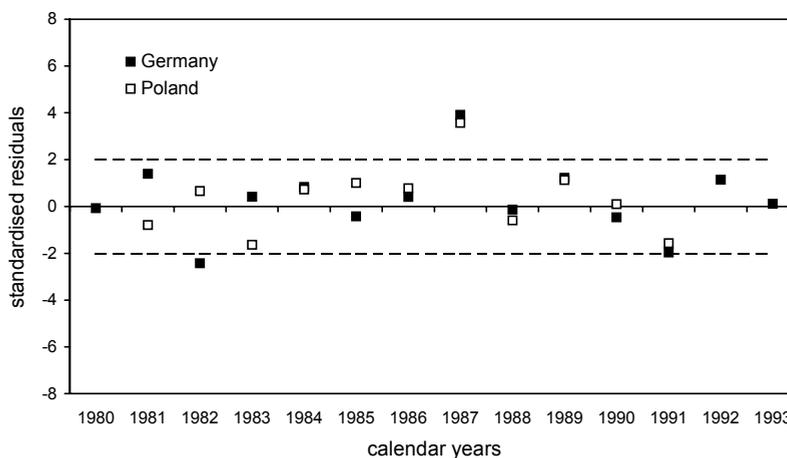
Modelo

Un modelo para la tendencia de datos mensuales tiene que permitir variaciones estacionales de los índices de mortalidad perinatal. Se añaden, en consecuencia, dos espacios periódicos con periodos de 12 y 6 meses al modelo 3.1. Se necesitan cuatro parámetros adicionales, dos para las amplitudes (β_4 , β_6) y dos para las variaciones de fase (β_5 , β_7):

$$(4.1) E(Y(t)) = 1/(1+1/\exp(\beta_1+\beta_2.t+\beta_3.t^2+\beta_4.\cos(2\pi.(2t-\beta_7))))$$

La concentración de cesio en la leche de las vacas se usa como representación de la exposición total a la radiación interna de cesio, esencialmente porque se dispone de los datos de contaminación por cesio en la leche de vaca. La concentración de cesio en la leche vaca, se mide diariamente en el GSF-Institute con base en Munich, desde comienzos de mayo de 1986 hasta finales de 1988. En el primer año posterior a Chernobyl, la exposición interna de la población alemana excedió la exposición al cesio externo [23]. La leche producida en las zonas más contaminadas del sur de Baviera se distribuyó y consumió en toda Alemania Occidental.

Figura 3: Desviaciones entre los índices observados y esperados en unidades de desviaciones estándar (residuos estandarizados) en Alemania (cuadrados negros) y Polonia (cuadrados blancos). Las líneas discontinuas muestran el alcance de dos desviaciones estándar



El cálculo de la concentración de cesio en mujeres embarazadas se basa en la asunción de un consumo de leche diario constante y en la vida biológica cada vez más breve del cesio de 70 días durante el embarazo. La carga de cesio aumenta con la ingestión de cesio y disminuye con la excreción de cesio. La Figura 5 muestra la concentración medida de cesio en la leche (puntos) y la carga calculada de cesio en las mujeres embarazadas (línea continua).

El modelo de regresión con relación al cesio tiene la siguiente forma:

$$(4.2) E(Y(t) = 1/(1+1/\exp(\beta_1 + \beta_2.t + \beta_3.t^2 + \beta_4.\cos(2\pi.(t-\beta_5)).\cos(2\pi(2t-\beta_7))) + \beta_8.(cs(t-\beta_{10}))^{\beta_9}))$$

El parámetro β_8 estima el alcance del efecto del cesio, el β_{10} es la diferencia temporal entre la concentración de cesio $cs(t)$ y la mortalidad perinatal, y el β_9 es la capacidad de la dosis que permite una relación curvilínea dosis-respuesta.

Para poner a prueba la significación del alcance del cesio, la suma de cuadrados resultante de una regresión con el modelo completo (4.2) se compara con la suma de cuadrados obtenidos de una regresión sin la influencia del cesio (modelo 4.1). El test-F se aplica con el valor F definido por

$$F = ((\chi^2_0 \text{ y } \chi^2_1)/(df_0.d_f-1))/(\chi^2_1/df_1).$$

Aquí χ^2_0 y χ^2_1 denotan la suma ponderada de cuadrados bajo la hipótesis nula y el modelo completo respectivamente; df_0 y df_1 son los grados correspondientes de libertad. Aquí df_0-d_f equilibra el número de parámetros que se ponen a prueba. La expresión χ^2_1/df_1 en el denominador es el llamado factor de sobredispersión. Para una descripción detallada de los métodos, véase [18].

Mortalidad perinatal en Alemania

Los índices de mortalidad perinatal mensual y la línea de regresión se muestran en Figura 6. La Figura 7 muestra las desviaciones de los índices observados de la tendencia calculada invariable (residuos estandarizados) y las variaciones medias de tres meses.

Figura 4: Índices de mortalidad perinatal en Inglaterra y Gales y tendencia a largo plazo

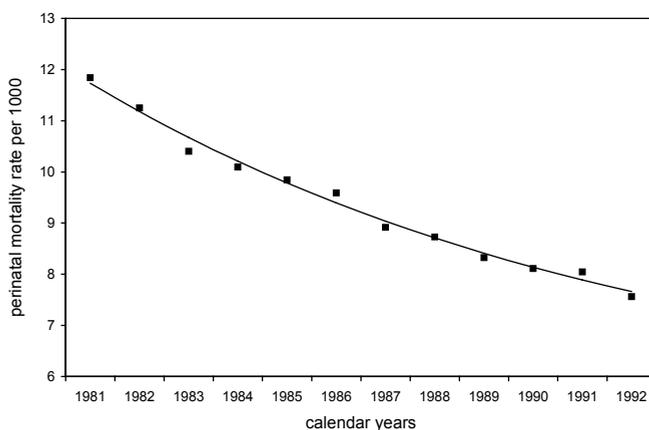
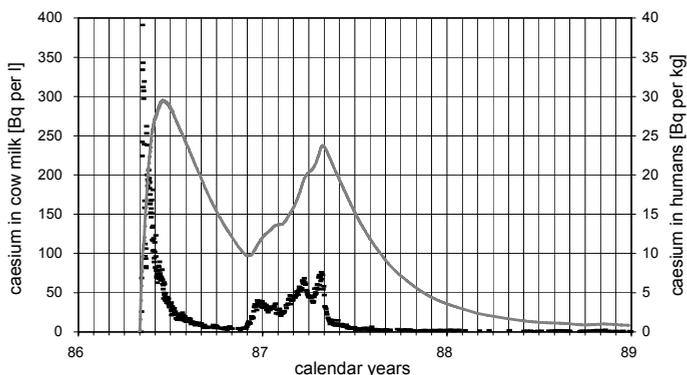




Figura 5: Concentración de cesio en la leche de vaca (raya discontinua) y en mujeres embarazadas (raya continua) calculada con un consumo diario constante de leche de vaca y una vida biológica media de 70 días.

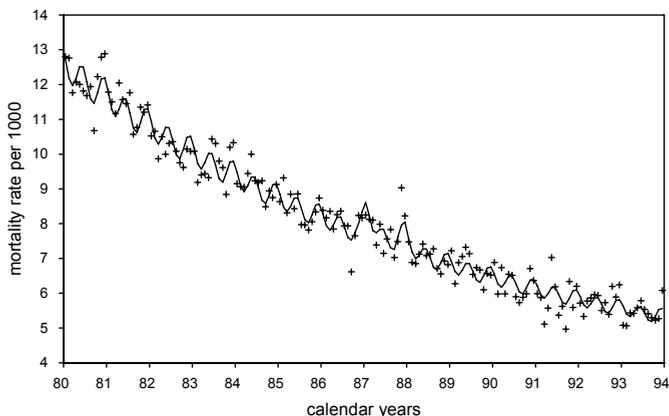


Hay momentos máximos significativos de mortalidad perinatal a comienzos y fines de 1987.

Una regresión sin la influencia del cesio (modelo 4.1) proporciona una suma ponderada de cuadrados de 221,6 (df = 161). Las regresiones con respecto al modelo 4.2 se realizan, pues, con diferentes espacios de tiempo β_{10} . El mejor índice con una suma de cuadrados de 204,5 (df = 158) se obtiene durante un espacio de tiempo de 7 meses. El test-F es significativo ($p = 0,0053$).

En la Figura 8 el perfil de la suma de cuadrados se presenta como una función del espacio temporal. La línea discontinua proporciona una estimación del 95% en el intervalo de 5,5 a 8,5 meses basado en el test-F.

Figura 6: Índices de mortalidad perinatal en Alemania y línea de regresión con variaciones estacionales



Mortalidad infantil en Polonia

Para Polonia, los datos mensuales fueron obtenidos para la mortalidad infantil (muerte dentro del primer año de vida) y para un periodo relativamente corto de 1985 a 1990.

De nuevo, las regresiones sin y con cesio se realizan usando un periodo de tiempo de 7 meses según se encontró en el periodo de mortalidad perinatal de Alemania. Las sumas correspondiente cuadrados son $\chi^2 = 126,8$ (df=65) y $\chi^2 = 99,1$ (df=63). El correspondiente test-F es altamente significativo ($p = 0,0004$, test-F). Para periodos de tiempo de 8 y 6 meses las sumas de cuadrados son mayores que para 7 meses. Así, como en los datos para Alemania, 7 meses es el cálculo mejor para el periodo temporal. La Figura 9 muestra la tendencia de los datos y la línea de regresión; la Figura 10 ofrece las desviaciones de los datos observados desde la tendencia esperada (residuos estandarizados).

Regresión combinada

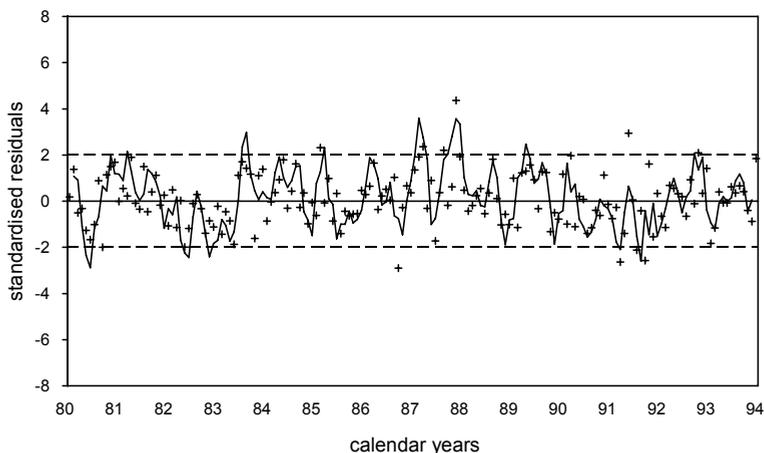
Para una comparación del tamaño del efecto en Polonia y Alemania, los datos de mortalidad neonatal de Alemania, se usan porque la mortalidad perinatal también incluye los partos prematuros. Más del 50% de las muertes de niños en el primer año de vida de hecho se producen en los primeros 7 días (muertes neonatales tempranas). Para incrementar la precisión de las valoraciones del parámetro, se realiza una regresión combinada con parámetros individuales para la tendencia a largo plazo y parámetros comunes para los componentes estacionales y la acción del cesio.

La suma de cuadrados resultante de la regresión combinada es 356,8 (df = 230) sin y 310,5 (df = 228) para la acción del cesio. El test-F correspondiente es altamente significativo ($p < 0,0001$). Para periodos de tiempo de 6 además de 8 meses, las sumas ponderadas de cuadrados son significativamente mayores que para 7 meses (319,0 y 337,8 respectivamente).

El mejor cálculo de la fuerza de la dosis es $\beta_{12} = 2,8 \pm 0,8$. . Con una dosis lineal de respuesta del modelo, es decir $\beta_{12} = 1$, la suma de cuadrados aumenta significativamente a 321,3 (df=229). El test-F correspondiente proporciona $p = 0,0052$, es decir, la dosis de dependencia es curvilínea.



Figura 7: Desviaciones de los índices de mortalidad perinatal mensual en Alemania a partir de la tendencia constante de los datos (residuos estandarizados). La línea continua es el porcentaje de 3 meses, las líneas discontinuas muestran el alcance 2σ



5. Bielorrusia

La región (oblast) de Gomel fue la zona con mayor radiación de Bielorrusia. La contaminación del suelo por estroncio en partes del oblast de Gomel fuera de la zona de exclusión de los treinta kilómetros excedió los 37.000 Bq/m² (véase Figura 11), mientras que en Munich se determinó poco estroncio por la radiación de Chernobyl (210 Bq/m² Sr-90 comparado con alrededor de 20.000 Bq/m² Cs-137, mayo de 1986).

La tendencia de los índices de mortalidad perinatal, 1985-1988, en los oblasts de Gomel, ciudad de Minsk, y en Bielorrusia exceptuadas Gomel y la ciudad de Minsk se muestran en la Figura 12. En 1994 hubo un incremento del 20% de mortalidad perinatal en los tres lugares de los que se ofrecen datos, lo que es consecuencia de un cambio de los nacimientos prematuros.

Los datos de mortalidad perinatal de la ciudad de Minsk no coinciden con los datos del resto de Bielorrusia. Los porcentajes de la ciudad de Minsk son consistentemente más altos que en el resto de Bielorrusia hasta después de 1995 cuando súbitamente caen un 50%. Una disminución semejante no se produce en las otras regiones de Bielorrusia, es decir, la peculiaridad de la ciudad de Minsk, capital de Bielorrusia, probablemente no se deba a razones biológicas. En consecuencia, los datos para la ciudad de Minsk se omiten cuando los índices de mortalidad perinatal en el oblast de Gomel (zona de estudio) se comparan con los porcentajes del resto de Bielorrusia (zona de control).

Un análisis de la tendencia de la mortalidad perinatal resulta problemática por dos motivos. Primero —como en la mayoría de los países europeos— la definición de nacimientos

prematurados cambió a finales de 1993. Segundo los posibles problemas socioeconómicos posteriores a la desmembración de la Unión Soviética en 1991 podrían haber tenido influencia en la tendencia de los índices de mortalidad perinatal. Aceptando que estas influencias incidieron igualmente en el estudio y la región de control, un efecto posible de la exposición a la radiación se encontraría en la proporción de los índices de mortalidad perinatal en el oblast de Gomel con respecto a la zona de control.

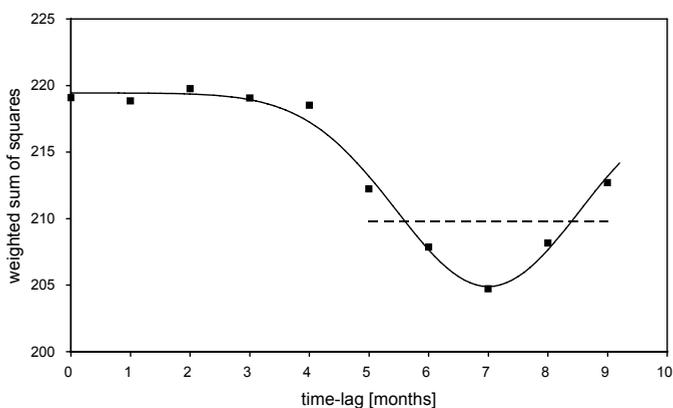
Método

El porcentaje de mortalidad perinatal p_1 en Gomel con respecto al porcentaje p_0 en la zona de control, puede ser expresado por el porcentaje de desigualdad (OR) que se define como

$$OR = (p_1/(1-p_1))/p_0(1-p_0).$$

Figura 8

Suma de cuadrados como función del tiempo entre la concentración de cesio en mujeres embarazadas y mortalidad perinatal en Alemania (perfil de posibilidades). La línea discontinua indica el intervalo del 95% para un periodo dado.



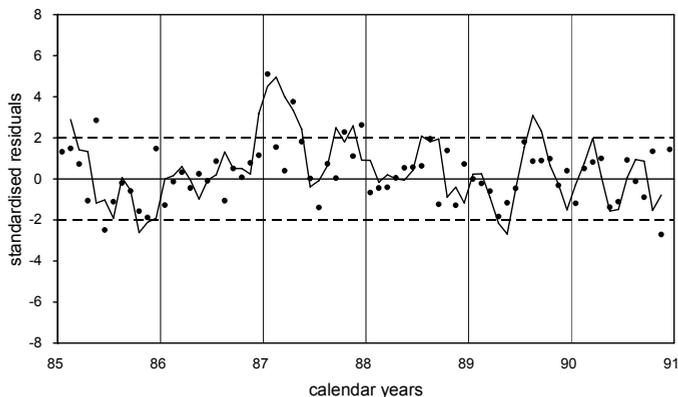
Una progresión ponderada de los logaritmos de los porcentajes de desigualdad se ofrece con el modelo (5.1) $\ln(or) = \ln(1 + \beta_0 + \beta_1.d87 + \beta_2.sr(t))$

Donde del parámetro β_0 permite establecer una diferencia en la base de los índices de mortalidad perinatal en el estudio y en la zona de control, β_1 calcula un posible efecto del cesio en 1987 (variable ficticia $d87$) y β_2 calcula el posible efecto del estroncio sobre los datos.

La expresión $sr(t)$ es el porcentaje de concentración de estroncio en mujeres embarazadas calculado según la suposición de que el estroncio se incorporó al final del periodo de menarquia, la época de mayor crecimiento de los huesos alrededor de los 14 años [25].

Para poner a prueba la significación de los parámetros se aplicaron dos t-test ($H_0: \beta_2=0, \beta_3=0$).

Figura 10: Desviaciones de los índices observados de mortalidad infantil de Polonia (puntos) a partir de la tendencia constante (residuos estandarizados). La línea continua es el porcentaje en tres meses, las líneas discontinuas muestran el 2σ .



Resultados

Para determinar la edad de máxima absorción de estroncio a partir de los datos, se realizan regresiones con porcentajes de estroncio para la máxima absorción de estroncio para las edades de 13, 14 y 15 años. Los resultados para la suma de cuadrados son 9,7, 7,3 y 9,9 respectivamente. Así el porcentaje de estroncio a una edad de 14 años para una máxima absorción de estroncio se corresponde mejor con los datos.

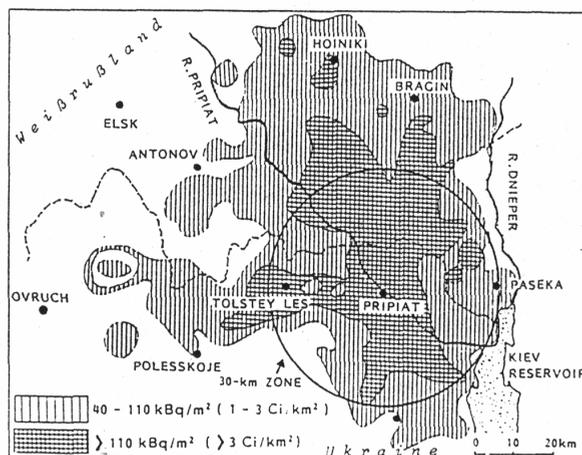
La regresión proporciona $\beta_0=0,022 \pm 0,027$, es decir, no hay una diferencia apreciable en los índices de mortalidad perinatal entre la zona de estudio y la de control antes de Chernobyl. Además el incremento de 1987 no es significativo ($\beta_1=0,055 \pm 0,060$).

La constante β_2 y también la edad de máxima absorción de estroncio se estimó a partir de los datos, por lo tanto se aplica un test-F con dos grados de libertad para determinar la significación de los efectos del estroncio. La suma de cuadrados es 29,7 (df=12) sin y 7,3 (df=10) con estroncio. El test-F correspondiente resulta significativo ($p=0,0028$).

La Figura 14 muestra las proporciones observadas (puntos) y los porcentajes esperados (línea continua) resultantes de una regresión con $\beta_0=0$ (véase ecuación 5.1). A mediados de la década de 1990 los porcentajes son de 1,3, es decir los índices de mortalidad perinatal en Gomel son un 30% más altos que en la zona de control. El exceso de los índices de mortalidad perinatal en Gomel se traduce en 431 muertes perinatales, 1987-1998.



Figura 11: Contaminación del suelo por estroncio 90 cerca del reactor de Chernobyl (de la publicación alemana *Atomwirtschaft*, marzo 1991). La zonas señaladas indican concentraciones de estroncio superiores a 1 Ci/km^2 (37 kBq/m^2) y 3 Ci/km^2 (111 kBq/m^2), respectivamente. El círculo es la zona de evacuación es de 30 kilómetros.



6. Abortos espontáneos en Baviera

La fase más sensible en el desarrollo embrionario se produce antes de la primera división celular, es decir, durante las primeras horas posteriores a la fertilización. En este periodo se impone una regla de todo o nada, el óvulo fertilizado o bien sobrevive sin daños o es abortado. Un posible incremento de abortos espontáneos llevará a un descenso de nacimientos vivos nueve meses después de la exposición.

Baviera fue la región de Alemania con más alta radiación. La Figura 15 muestra las medidas continuas de la actividad en el aire un metro por encima del suelo en el GSF Institute con base en Munich. Inmediatamente después del accidente de Chernobyl la actividad ascendió de $8 \mu\text{R/h}$ a unos $110 \mu\text{R/h}$. El número de nacimientos vivos más nacimientos prematuros cayó significativamente ($p=0,0030$) con respecto a un 11,4% relativo al periodo a largo plazo de febrero de 1987, nueve meses después de mayo de 1996. El descenso es más pronunciado en el sur de Baviera (-13,4%, $p=0,0005$) que en el norte de Baviera (-8,7%, $p=0,0370$) y se limita a un solo mes. En marzo de 1987, el número de nacimientos volvió al nivel esperado. La Figura 16 muestra las desviaciones del número mensual de nacimientos vivos más nacimientos prematuros en el sur de Baviera desde el alcance de los datos, 1984-1989. El número estimado de nacimientos fracasados en Baviera en febrero de 1987 es de 1154. Puede que haya habido menos concepciones planeadas después del accidente de Chernobyl, pero no parece plausible que el miedo a un embarazo adverso se limitara a mayo de 1996.

Figura 12: Índices de mortalidad perinatal en Gomel, ciudad de Minsk y Bielorrusia exceptuadas Gomel y la ciudad de Minsk. La desviación de 1994 resulta de un cambio en la definición de nacimientos prematuros.

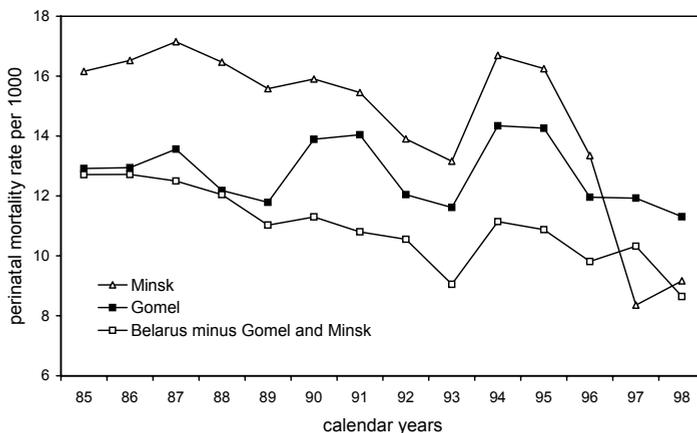


Figura 13: Distribución por edades maternas en Bielorrusia, porcentaje para 1992-1996, y curva de interpolación utilizando dos distribuciones superpuestas.

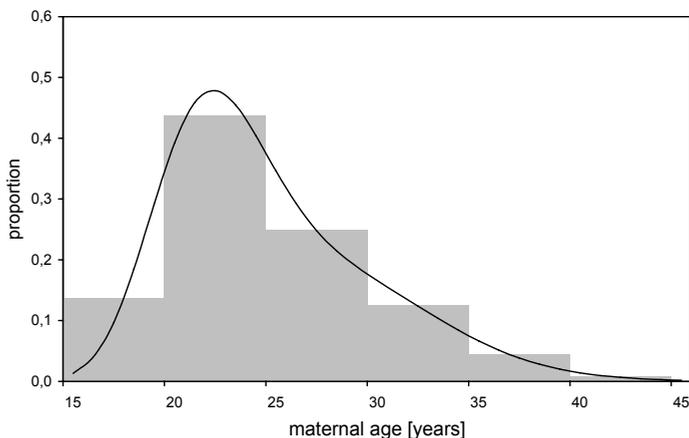




Figura 14: Porcentajes de mortalidad perinatal en Gomel comparados con Bielorrusia, exceptuadas Gomel y ciudad de Minsk, y línea de regresión

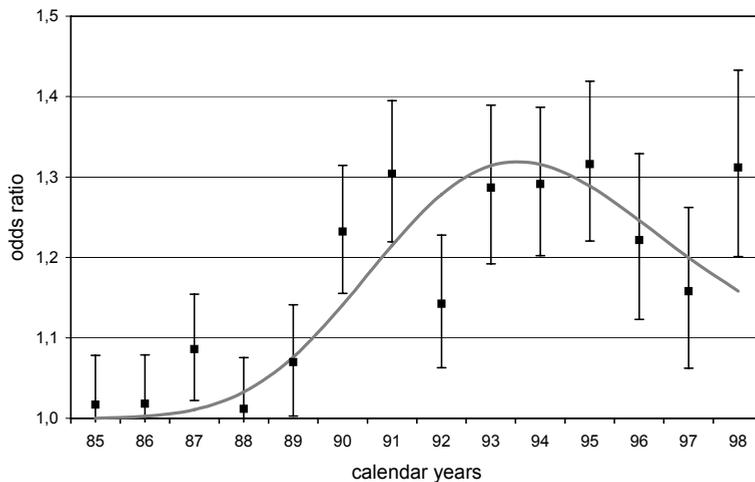


Figura 15: Dosis gamma en el aire durante mayo de 1986 en Munich, Alemania. En los primeros días de mayo alcanzó los 110 $\mu\text{R}/\text{h}$, más de 10 veces los niveles normales de 8 $\mu\text{R}/\text{h}$.

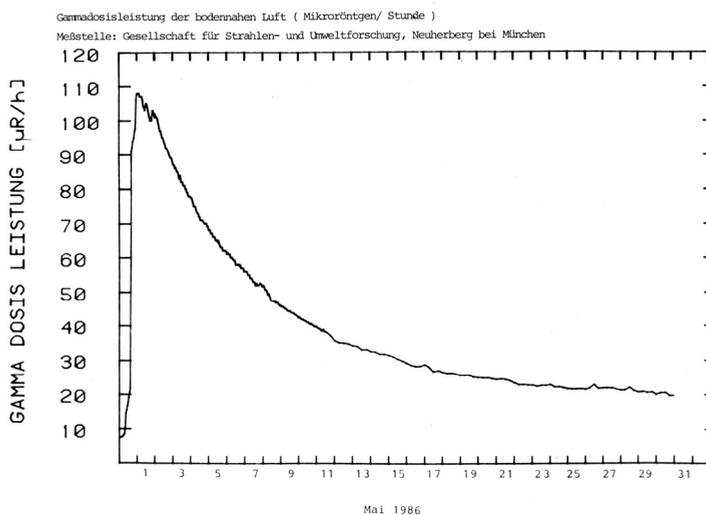
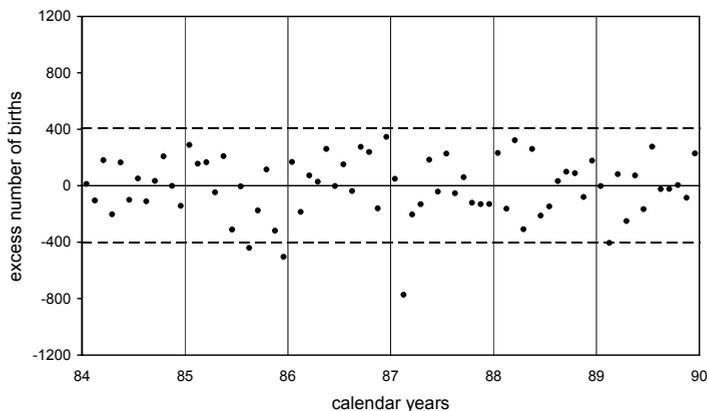


Figura 16: Desviaciones de la cifra mensual de nacimientos vivos más los nacidos muertos de la tendencia a largo plazo en el sur de Bavaria. La línea discontinua indica el rango de 2σ .



7. Discusión

Un análisis de tendencias encuentra un incremento significativo de mortalidad perinatal en Alemania y en Polonia en 1987, el año posterior al accidente de Chernobyl. Los datos mensuales muestran una asociación significativa entre la mortalidad perinatal y la concentración de cesio en las mujeres embarazadas. En Polonia, que experimentó un porcentaje de radiación procedente de Chernobyl mayor que Alemania, el incremento de mortalidad perinatal en 1987, además del efecto del cesio sobre los datos de mortalidad infantil mensuales, es mayor que en Alemania. En Inglaterra y Gales no se encuentra en 1987 aumento en los datos de mortalidad perinatal.

En la región de Gomel, Bielorrusia, hubo una asociación significativa de mortalidad perinatal con la incidencia calculada de estroncio que ya se había encontrado en un análisis de las tendencias de la mortalidad perinatal en Alemania después de las pruebas de armas nucleares en la atmósfera entre 1952 y 1963 [28].

En Baviera se observó una caída significativa del índice de nacimientos en febrero de 1987, nueve meses después del accidente de Chernobyl, lo que bien podría ser consecuencia de más abortos espontáneos. Disminuciones similares del índice de nacimientos se observaron en otros varios países europeos [4, 5, 6].

Los hallazgos proporcionan pruebas de efectos adversos de la radiación sobre el feto en el primer trimestre de embarazo y desafían el concepto ampliamente aceptado de un umbral de dosis para efectos teratogénicos. El feto parece ser mucho más vulnerable a la radiación de iones de lo que generalmente se creía. La forma de respuesta a la relación con la dosis, sin embargo, no es lineal.



Los resultados para Bielorrusia y Ucrania no se pueden entender con el factor de dosis actual para el estroncio. La dosis de estroncio en las regiones contaminadas como se muestra en [29] fue menos que el 5% de las dosis de estroncio, pero el efecto del estroncio sobre la mortalidad perinatal excedió el efecto del estroncio por lo menos en un factor de 10.

Los resultados deberían ser interpretados con precaución pues se basan en datos acumulados. Pero mientras no haya otro modo de estudiar los efectos de la radiación en la población humana, los hallazgos no deberían ser dejados de lado por falta de una prueba definitiva de causación.

Alfred.koerblein@gmx.de

Referencias

- Harjulehto T, Aro T, Rita H, Rytomaa T, Saxen L. The accident at Chernobyl and outcome of pregnancy in Finland. *BMJ*. 1989 Apr 15;298(6679):995-7.
- Luning G, Scheer J, Schmidt M, Ziggel H. Early infant mortality in West Germany before and after Chernobyl. *Lancet*. 1989 Nov 4;2(8671):1081-3.
- Lancet*. 1990 Jan 20;335(8682):161-2. Comment on: *Lancet*. 1989 Nov 4;2(8671):1081-3. Infant mortality after Chernobyl. [No authors listed]
- Ulstein M, Jensen TS, Irgens LM, Lie RT, Sivertsen E. Outcome of pregnancy in one Norwegian county 3 years prior to and 3 years subsequent to the Chernobyl accident. *Acta Obstet Gynecol Scand*. 1990;69(4):277-80.
- Bertollini R, Di Lallo D, Mastroiacovo P, Perucci CA. Reduction of births in Italy after the Chernobyl accident. *Scand J Work Environ Health*. 1990 Apr;16(2):96-101.
- Czeizel AE. Incidence of legal abortions and congenital abnormalities in Hungary. *Biomed Pharmacother*. 1991;45(6):249-54.
- Bentham G. Chernobyl fallout and perinatal mortality in England and Wales. *Soc Sci Med*. 1991;33(4):429-34.
- Little J. The Chernobyl accident, congenital anomalies and other reproductive outcomes. *Paediatr Perinat Epidemiol*. 1993 Apr;7(2):121-51. Review.
- Kulakov VI, Sokur TN, Volobuev AI, Tzibulskaia IS, Malisheva VA, Zikin BI, Ezova LC, Belyaeva LA, Bonartzev PD, Speranskaya NV, et al. Female reproductive function in areas affected by radiation after the Chernobyl power station accident. *Environ Health Perspect*. 1993 Jul;101 Suppl 2:117-23.
- Ericson A, Kallen B. Pregnancy outcome in Sweden after the Chernobyl accident. *Environ Res*. 1994 Nov;67(2):149-59.
- Buzhievskaya TI, Tchaikovskaya TL, Demidova GG, Koblyanskaya GN. Selective monitoring for a Chernobyl effect on pregnancy outcome in Kiev, 1969-1989. *Hum Biol*. 1995 Aug;67(4):657-72.
- Laziuk GI, Kirillova IA, Dubrova IuE, Novikova IV. [Incidence of developmental defects in human embryos in the territory of Byelarus after the accident at the Chernobyl nuclear power station]. *Genetika*. 1994 Sep;30(9):1268-73. Russian.
- Petrova A, Gnedko T, Maistrova I, Zafranskaya M, Dainiak N. Morbidity in a large cohort study of children born to mothers exposed to radiation from Chernobyl. *Stem Cells*. 1997;15 Suppl 2:141-50.
- Goldman M. The Russian radiation legacy: its integrated impact and lessons. *Environ Health Perspect*. 1997 Dec;105 Suppl 6:1385-91. Review.
- Irl C, Schoetzau A, van Santen F, Grosche B. Birth prevalence of congenital malformations in Bavaria, Germany, after the Chernobyl accident. *Eur J Epidemiol*. 1995 Dec;11(6):621-5.

- Grosche B, Irl C, Schoetzau A, van Santen E. Perinatal mortality in Bavaria, Germany, after the Chernobyl reactor accident. *Radiat Environ Biophys.* 1997 Jun;36(2):129-36.
- Scherb H, Weigelt E. Comment on: *Radiat Environ Biophys.* 1997 Jun;36(2):129-36. A response to "Perinatal mortality in Bavaria, Germany, after the Chernobyl accident" by Grosche et al. *Radiat Environ Biophys.* 1998 Feb;36(4):297-9.
- Korblein A, Kuchenhoff H. Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident. *Radiat Environ Biophys.* 1997 Feb;36(1):3-7.
- Scherb H, Weigelt E, Bruske-Hohlfeld I. European stillbirth proportions before and after the Chernobyl accident. *Int J Epidemiol.* 1999 Oct;28(5):932-40.
- Scherb H, Weigelt E, Bruske-Hohlfeld I. Regression analysis of time trends in perinatal mortality in Germany 1980-1993. *Environ Health Perspect.* 2000 Feb;108(2):159-65.
- Auvinen A, Vahteristo M, Arvela H, Suomela M, Rahola T, Hakama M, Rytomaa T. Chernobyl fallout and outcome of pregnancy in Finland. *Environ Health Perspect.* 2001 Feb;109(2):179-85.
- Korblein A. Strontium fallout from Chernobyl and perinatal mortality in Ukraine and Belarus. *Radiats Biol Radioecol.* 2003 Mar-Apr;43(2):197-202.
- Paretzke H. Transfer von Nukliden. *Mensch und Umwelt, Magazin des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit*, December 1986:39-48.
- Korblein A. Infant Mortality in Germany and Poland following the Chernobyl accident. *Abstr 3rd Inter Conf on Health Effects of the Chernobyl Accident*, 4-6 June, 2001, Kiev, Ukraine. *Int J Rad Med Special Issue Vol. 3 (1-2): 63.*
- Tolstykh E I, Kozheurov V P, Vyushkova O V, Degteva M O. Analysis of strontium metabolism in humans on the basis of the Techa river data. *Radiat Environ Biophys* 1997; 36: 25-29.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (1993). Age dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 2: Ingestion dose coefficients. ICRP Publication 67, *Annals of the ICRP* 23, Nos. 3-4. Pergamon Press, Oxford.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (2003). Biological effects after prenatal irradiation (Embryo and Fetus). ICRP Publication 90, *Annals of the ICRP* 33, Nos. 1-2. Pergamon Press, Oxford.
- Körblein A. Perinatal mortality in West Germany Following Atmospheric Nuclear Weapons Tests, *Arch Environ Health*, 2006, in print.
- Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE), August 2005.



Primera valoración real de muertes atribuibles al desastre de Chernobyl basada en la Metodología Convencional de Riesgo

*ROSALIE BERTELL, IICPH Toronto
Epidemióloga e investigadora sobre la radiación
Traducido por José Antonio Leal*

Introducción

El desastre de Chernobyl se produjo en 1986, y aún hoy, 20 años después del suceso, no existe un informe sistemático completo sobre los fallecimientos.

Este documento representa un intento de ampliar la información incompleta proporcionada en UNSCEAR 2000 (United Nations Scientific Committee of Atomic Radiation Report to the General Assembly in 2000 – Informe sobre Radiación Atómica del Comité Científico de las Naciones Unidas para la Asamblea General del año 2000) a toda la población sobre los riesgos y el cálculo aproximado de las víctimas mortales debidas a los daños por radiación en los tejidos y sobre su capacidad para desencadenar un cáncer mortal. Muchas de las estimaciones son, por su propia naturaleza, de carácter especulativo, y la estimación real es, muy probablemente, mayor que este intento de cuantificación por las razones expuestas anteriormente.

Se han realizado otros intentos anteriormente, entre ellos destaca especialmente el del Dr. John Gofman:

Mi estimación en 1986, basada en la emisión de diversos radionucleidos no yodados, era de 475.000 cánceres mortales, más alrededor de un mismo número adicional de casos de cáncer no mortales, transcurridos tanto dentro como fuera de la antigua Unión Soviética. Tales estimaciones, las antiguas y las recientes, han de basarse en evidencias reales de estudios distintos a los de Chernobyl – debido a que los baremos de estudios epidemiológicos (que “contabilizan” los casos extra de cáncer) son una herramienta inapropiada para evaluar el caso de Chernobyl. Nadie puede “ver” medio millón de cánceres inducidos por Chernobyl cuando se han difundido entre quinientos millones de personas y ocurren durante un siglo (“Que no le engañen: 10º Aniversario de Chernobyl”, Dr. John Gofman, 9 de marzo de 1996).

El limitado enfoque sobre las muertes atribuibles a Chernobyl provoca que muchas tragedias relacionadas con los supervivientes se ignoren. Esto es especialmente lamentable para aquellos muchos niños que desarrollaron enfermedades cardíacas y cánceres de tiroides u otras disfunciones.

Según el Cuadro I (UNSCEAR 2000, Anexo J, página 518) había 46 radionucleidos de importancia en el reactor de Chernobyl en el recuento del momento del accidente. Alrededor el 26 de estos radionucleidos fueron liberados al aire en el momento del desastre (Cuadro 2, página 519). De ellos, 17 se encontraron en las cercanías de la zona del reactor roto (Cuadro 6, página 521). Es importante apuntar que las partículas de cerámica aerosolizadas de combustible de uranio, similares a la que causaron al menos algunos de los devastadores síntomas del Síndrome de la Guerra del Golfo, se ignoraron, tanto en el Cuadro 2 como en el Cuadro 6. Sólo se utilizó el cesio radiactivo en UNSCEAR 2000 como base para determinar las dosis efectivas de radiación externa de una exposición aún mayor a la población.

UNSCEAR 2000 proporciona información sobre las exposiciones al yodo radiactivo. Sin embargo, debido a que se puede sobrevivir al 95% de los cánceres de tiroides, esta tragedia no se contempla en estas estimaciones de mortalidad. Una importante investigación en Bielorrusia acerca de las enfermedades cardíacas relacionadas con la radiación fue desafortunadamente interrumpida, y tampoco se incluyen en UNSCEAR 2000.

Muertes debidas a la radiación:

Las muertes más tempranas debidas a la radiación son de aquellos que sufrieron daños severos en el Sistema Nervioso Central. Murieron rápidamente, y son sin duda las 23 muertes que UNSCEAR 2000 atribuye a las muertes por síndrome de radiación aguda en el Hospital de Moscú.

Las muertes debidas a exposición severa de los tejidos pulmonares y de la médula ósea roja se espera se produzcan en los dos años siguientes. Dadas las dosis de pulmón y médula ósea roja del Cuadro 14 (página 524) y el hecho de que 713 trabajadores de emergencias (87% de 820, Cuadro 17, página 525) recibieron dosis efectivas de radiación externa de más de 0,5 Sv, calculo en 140 las muertes debidas a irradiación pulmonar y en 90 muertes debidas a irradiación en médula ósea roja. Por lo tanto, calcularía las muertes atribuibles a la radiación en: 290.

Cánceres mortales estimados entre los trabajadores de emergencias y rescate, y la población evacuada y no evacuada de las zonas altamente contaminadas

Los trabajadores de emergencias y rescate y los testigos accidentales fueron expuestos tanto a radiación externa como interna durante el desastre.

Los riesgos estimados de cáncer mortal fueron calculados utilizando un 10%/Sv por persona, tomados de los informes de UNSCEAR 1991 y BEIR V (U.S. National Academy Biological Effects of Ionizing Radiation – Academia Nacional de los U.S. sobre los Efectos Biológicos de la Radiación Ionizante) que utilizan la dosimetría DS 86 de Hiroshima y Nagasaki.



Una estimación de más del 20%/Sv por persona, basado en los riesgos de cáncer apuntados en el trabajo de los Drs. John Gofman, Alice Stewart y Steve Wing, quienes proponen riesgos tan altos como del 30 al 50% Sv por persona. Un riesgo del 20% tal como se emplea en este escrito, está claramente dentro un margen de probabilidad razonable del cálculo oficial.

Los cánceres mortales de los trabajadores de emergencias y rescate en 1986 se estiman en de 1.407 a 2.813. Estos trabajadores indudablemente sufrieron exposición por inhalación e ingestión por el aire contaminado, así como por contaminación de los alimentos y el agua. Basándome en el Cuadro 53 (página 541), asumo que la dosis interna fue de alrededor del 76% de la dosis externa. Esto da una estimación de 1.609 a 2.138. En consecuencia, el cálculo de cánceres mortales entre los trabajadores de emergencias y rescate es de 2.476 a 4.951. No se aportan datos sobre testigos accidentales, lo que contribuye a un cálculo conservador.

Muertes por cáncer estimados en la antigua Unión Soviética

El Cuadro 21 (página 528) proporciona la distribución de la radiación externa entre los evacuados de las “áreas de control estricto” en Bielorrusia. Se calcula que entre la población evacuada habría entre 70 y 140 muertes por cáncer, mientras que entre los no evacuados habría entre 251 y 502 muertes por cáncer. El número total de evacuados de las “áreas de control estricto” fue de 116.317. Si estos otros 78,8% de los evacuados tuvieron aproximadamente la misma incidencia que aquellos en Bielorrusia, su exposición externa daría como resultado 260 muertes por cáncer. Si la población no evacuada fuera proporcional a la de Bielorrusia, habrían tenido de 936 a 1.872 muertes por cáncer. Los datos UNSCEAR fallan en muchos puntos sobre la información básica que proporcionan acerca de estos refugiados de la radiación.

En total, las muertes por cáncer estimadas entre aquellos en las “áreas de control estricto” (las áreas más contaminadas) es de 1.517 a 3.034.

El cálculo de muertes por cáncer debido a radiación externa en la antigua Unión Soviética contaminada, pero en áreas no controladas, utilizando el Cuadro 53 (página 541) es de 4.260 a 8.520. Esta población ha recibido dosis de radiación interna de alimentos y agua contaminados desde 1986, aunque UNSCEAR 2000 no proporciona información sobre la contaminación de los alimentos y del agua. Sin una orientación del UNSCEAR 2000, asumiré en que estos 20 años la dosis de radiación interna es de alrededor de un 76% de las dosis intermedias de radiación externa.

En consecuencia, las muertes por cáncer por exposición a radiación interna serían entre 3.238 y 6.475, dando un total de muertes por cáncer de 7.498 a 14.995.

Debe destacarse que este cálculo asume que la dosis de radiación interna puede formularse con seguridad sobre la base de que sus efectos pueden predecirse usando el modelo de riesgo de exposición externa aguda derivado de las bombas A japonesas. Esta conjetura probablemente no sea verdadera para muchos de los isótopos implicados debido a la anisotropía de la exposición, y por esta razón, el verdadero alcance de la irradiación interna es probablemente una o dos magnitudes mayor.

Muertes por cáncer estimadas en Europa debidas al desastre de Chernobyl

Para cinco países europeos, Croacia, Grecia, Hungría, Polonia y Turquía, no se ha proporcionado un cálculo de exposición a radiación, excepto sobre dosis de exposición del tiroides al yodo radiactivo. Es evidente que estos países también sufrieron irradiación externa directa de escape radiactivo y contaminación de alimentos y agua. No poseo estimaciones de estas exposiciones.

Se calcula que ocho países, Bielorrusia, Finlandia, Alemania (Baviera), Grecia, Hungría, Rumania, Suecia y Turquía (costa del Mar Negro y provincia de Edime), han absorbido dosis, dadas en mGy, aparentemente para un estudio epidemiológico de leucemia. Debido a que se trataba de leucemia, sería lo normal tasar la dosis a médula ósea roja. No se dio conversión de mGy a Msv, ni las proporciones de radiación alfa (RBE 20) o beta (REB 17). Suponiendo que sólo se calculó la dosis de radiación externa debida al cesio radiactivo, y basándose en la población de 1986, se espera que este subgrupo europeo tenga de 1.517 a 3.034 muertes por cáncer. Si incluimos el total de la población europea en 1986 y asumimos una dosis efectiva de 1 mSv por persona a todos menos a este subgrupo, desde el fallo radiactivo de Chernobyl, podemos estimar de 887.819 a 1.775.638 cánceres mortales. Cualquier sobre estimación sería compensada por la exclusión en la consideración de la contaminación de los alimentos y el agua. El cálculo conservador de cánceres mortales en Europa atribuibles a Chernobyl es de 889.336 a 1.772.672.

Resumen:

Utilizando una metodología conservadora basada en los factores de riesgo de la radiación externa derivada de los estudios de la bomba A japonesa, yo estimaría que el número definitivo de muertes desde el desastre de Chernobyl sería de:

290	debidas a daños directos de la radiación
899.310 a 1.786.657	debidas a cánceres mortales
899.600 a 1.787.000	en total



Insisto en que este cálculo es conservador por diversas razones, primeramente, debido al fallo en la investigación de la radiación en documentar la extensión de la contaminación de la radiación en alimentos, y la ausencia de un examen científico completo de todas las muertes entre los trabajadores de emergencia y rescate y el resto de la población expuesta.

Los investigadores parecen confiar en la eliminación de todos los cánceres producidos en los diez primeros años desde el accidente, y un cálculo aproximado (utilizando un factor de riesgo mínimo reducido por DDRF) para calcular los cánceres mortales. Es bien sabido que la radiación, a través de su capacidad de mutación, puede acelerar el desarrollo de cualquier cáncer presente en la población en el momento del desastre. Muchos de los primeros cánceres no contabilizados, pueden entrar en esta categoría.

De nuevo, existe actualmente una disputa científica sobre el grado de aceptación de la metodología del ICRP (International Commission on Radiation Protection – Comisión Internacional para la Protección de la Radiación) para la valoración de la dosis internas, especialmente de las partículas de cerámica aerosolizadas de combustible de uranio, y para ciertos nucleidos internos que se unen al ADN, como plantea ECRR (European Committee on Radiation Risk – Comité Europeo sobre los Riesgos de la Radiación) y es ahora aceptado por el comité para la protección de la radiación IRSN en Francia. Estas partículas no se propagan homogéneamente en los órganos internos y la anisotropía de la dosis puede ser muy grande. El análisis de UNSCEAR 2000 no toma en cuenta estas consideraciones en sus análisis. Cuando este esfuerzo científico desarrolle una alternativa aceptable a la metodología de ICRP, seremos capaces de ajustar este cálculo de muerte por cáncer como corresponda.

Evidentemente, el verdadero daño a la salud atribuible al desastre de Chernobyl se ha mantenido oculto para el gran público por medio de investigaciones científicas pobres e incompletas.

Contacto: rosalieberbell@greynun.org

Comité Europeo sobre Riesgos de la Radiación

The European Committee on Radiation Risk

El Comité Europeo sobre Riesgos de la Radiación fue formado en 1997 tras una resolución efectuada en un congreso en Bruselas organizado por el Grupo Verde del Parlamento Europeo.

Las misiones del ECRR son:

- Estimar de manera independiente, en base a su propia evaluación de todas las fuentes científicas, con todo el detalle como sea necesario y utilizando el marco científico más apropiado, todos los riesgos que se producen por la exposición a la radiación, utilizando un enfoque de precaución.
- Desarrollar el mejor modelo científico predictivo de los detrimentos tras una exposición a la radiación, presentando observaciones que parezcan apoyar o contradecir este modelo, y señalando las áreas de investigación que son necesarias para seguir completando nuestros conocimientos.
- Desarrollar un análisis crítico y un marco filosófico para formar la base de su política de recomendaciones, relacionada con el estado del conocimiento científico, la experiencia vivida y el Principio de Precaución.
- Presentar los riesgos y el modelo de detrimento, con el análisis que lo apoya, de una manera que posibilite y ayude a que se lleven a cabo decisiones transparentes en materia legislativa en lo que respecta al público y al medio ambiente en materia de radiación.

El Comité tiene actualmente más de 50 expertos de muchos países colaborando en el tema de los riesgos de la radiación y ha creado varios subcomités y grupos. El modelo de riesgos del Comité fue presentado en el 2003 en Bruselas y ha sido publicado como *ECRR2003 Recommendations: the Health Effects of Ionising Radiation Exposure at Low Dose for Radiation Protection Purposes: Regulators' Edition* (ISBN 1897761 24 4). El informe, actualmente en su segunda edición, ha circulado extensamente. Ha sido publicado en francés, ruso, español * y japonés. El precio de la edición inglesa es de £45 con un precio de concesión de £15 para estudiantes y ONGs. Está disponible mediante encargo en cualquier librería o directamente mandando un email a admin@euradcom.org o pidiéndolo directamente al editor, Green Audit, en la dirección que aparece más abajo.

El Comité desea enfatizar que los fenómenos de salud descritos en el trabajo actual del subcomité de Chernobyl son predichos y explicados por el modelo de riesgos de radiación presentado en el *ECRR2003 Recommendations*. Esta situación difiere notablemente con la disonancia existente entre las predicciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica y los niveles de las patologías ampliamente observadas desde la catástrofe



El subcomité de Chernobyl del ECRR (el Comité Europeo sobre Riesgos de Radiación) ha publicado una colección realmente importante de resultados de los territorios de la ex-Unión Soviética afectados por el desastre de Chernobyl.

Esta es la refutación a las evasiones oficiales y a la negativa de los apologistas nucleares de mirar al mundo real - 250 páginas llenas de referencias en las que se resumen los efectos reales sobre seres humanos, animales y plantas. Este es el antídoto a los interminables cálculos de la dosis (independientemente de lo que esa "dosis" signifique) y las predicciones de algún modelo hipotético que se usa como si fuera una caja negra. Chernobyl es el mayor test llevado a cabo sobre los modelos de la Comisión Internacional de Protección Radiológica y queda claro que la ICRP ha fallado el test, ya que la salud pública en las áreas afectadas ha quedado seriamente afectada y está empeorando. Las enfermedades involucradas representan un espectro mucho más amplio que el cáncer y los defectos genéticos, que son los únicos que considera la ICRP. Los miembros del Comité concluyen que la mortalidad y la morbilidad continuarán creciendo como resultado de la contaminación interna continua y debido a que muchas enfermedades distintas del cáncer están aumentando como resultado de la inestabilidad genómica y los deterioros del sistema inmune. Desde los aumentos de los niños nacidos sin vida y las malformaciones congénitas al envejecimiento prematuro y la muerte prematura, no queda etapa de la vida que sea inmune a los efectos de la radiación. Si todo esto está sucediendo a ritmos de dosis comparables con los del fondo de radiación natural, lo que según el modelo establecido simplemente no debería estar causando suficientes casos como para que fueran discernibles contra el ruido de fondo de las cifras espontáneas. Esto claramente acaba con la ICRP y el modelo establecido.

Esto además resulta sobrecogedor cuando uno recuerda que representa la experiencia diaria de cientos de miles de individuos reales. El titular del periódico *The Guardian* del 25 de marzo - *La Unión Europea acusada de ignorar 500.000 muertes en Chernobyl* - fue informado por los hallazgos de este subcomité del ECRR, pero nadie sabrá jamás cuántas personas sufrirán una salud pobre crónica y una muerte temprana. Esto contrasta fuertemente con la precisión falaz de las cifras totales de cáncer fatal que predicen las distintas agencias - 4.000 la IAEA, 9.000 la OMS, 60.000 el TORCH, todos ellos jugueteando con modelos y calculando con números y nunca mirando a la realidad con la que se encuentran diariamente los médicos y los investigadores en el terreno. Eventualmente el número de víctimas se contará en millones, y probablemente ya sea así. Este libro debe recordarnos que cuando los apologistas dicen de la fauna y la flora salvaje está prosperando en la zona de exclusión, nadie sabe qué enfermedades y mutaciones están sufriendo los animales que no sobreviven. Nadie sabe cómo se está acortando la vida de los supervivientes aparentemente sanos; los datos animales en el libro del ECRR sugieren de manera contundente que existen costes evidentes. Y en el contexto de la mutación genética en las plantas, tras observar 20 o más generaciones separadas de sus ancestros irradiados un científico irónicamente, lacónicamente, observa que el trigo no sufre de radiofobia. Tampoco de alcoholismo ni de desesperación, podríamos añadir. Tampoco lo hacen los animales, y aún así los ratones 22 generaciones separadas de un entorno que fue

irradiado en las áreas de mayor lluvia radiactiva exhiben una radio-sensibilidad superior a aquellos menos expuestos. Esto contrasta de frente con las ideas actuales de la selección genética.

Sobre este fondo los políticos planean otra ronda de centrales nucleares para nosotros y nuestros descendientes, otra generación de armas nucleares, la perpetuación de las armas recubiertas de uranio, y una relajación de los estándares para la incineración y el proceso deshacerse de los residuos radiactivos. Así de triste resulta la minúscula habilidad del género humano de aprender de sus errores.

