

El accidente radiológico de Goiânia



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, VIENA, 1989

El accidente radiológico de Goiânia
AN: 113805 C.1
UN: 621.039.58(81) R124 S



00000976961

La fotografía de la portada muestra una escena de descontaminación tras el accidente radiológico de Goiânia. Con la excavadora se hizo un agujero en la pared de una casa para sacar un foco puntual de radiación antes de la demolición. Todas las fotografías se publican con permiso y por gentileza de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), Río de Janeiro (Brasil).

EL ACCIDENTE RADIOLOGICO DE GOIÂNIA

Los siguientes Estados son Miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica:

AFGANISTAN	HAITI	PERU
ALBANIA	HUNGRIA	POLONIA
ALEMANIA, REPUBLICA FEDERAL DE	INDIA	PORTUGAL
ARABIA SAUDITA	INDONESIA	QATAR
ARGELIA	IRAN, REPUBLICA	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
ARGENTINA	ISLAMICA DEL	REPUBLICA ARABE SIRIA
AUSTRALIA	IRAQ	REPUBLICA DE COREA
AUSTRIA	IRLANDA	REPUBLICA DEMOCRATICA ALEMANA
BANGLADESH	ISLANDIA	REPUBLICA DOMINICANA
BELGICA	ISRAEL	REPUBLICA POPULAR DEMOCRATICA DE COREA
BOLIVIA	ITALIA	REPUBLICA SOCIALISTA SOVIETICA DE BIELORRUSIA
BRASIL	JAMAHIRIYA ARABE	REPUBLICA SOCIALISTA SOVIETICA DE UCRANIA
BULGARIA	LIBIA	REPUBLICA UNIDA DE TANZANIA
CAMERUN	JAMAICA	RUMANIA
CANADA	JAPON	SANTA SEDE
COLOMBIA	JORDANIA	SENEGAL
COSTA RICA	KAMPUCHEA DEMOCRATICA	SIERRA LEONA
COTE D'IVOIRE	KENYA	SINGAPUR
CUBA	KUWAIT	SRI LANKA
CHECOSLOVAQUIA	LIBANO	SUDAFRICA
CHILE	LIBERIA	SUDAN
CHINA	LIECHTENSTEIN	SUECIA
CHIPRE	LUXEMBURGO	SUIZA
DINAMARCA	MADAGASCAR	TAILANDIA
ECUADOR	MALASIA	TUNEZ
EGIPTO	MALI	TURQUIA
EL SALVADOR	MARRUECOS	UGANDA
EMIRATOS ARABES UNIDOS	MAURICIO	UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS
ESPAÑA	MEXICO	URUGUAY
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	MONACO	VENEZUELA
ETIOPIA	MONGOLIA	VIET NAM
FILIPINAS	MYANMAR	YUGOSLAVIA
FINLANDIA	NAMIBIA	ZAIRE
FRANCIA	NICARAGUA	ZAMBIA
GABON	NIGER	ZIMBABWE
GHANA	NIGERIA	
GRECIA	NORUEGA	
GUATEMALA	NUEVA ZELANDIA	
	PAISES BAJOS	
	PAKISTAN	
	PANAMA	
	PARAGUAY	

El Estatuto del Organismo fue aprobado el 23 de octubre de 1956 en la Conferencia sobre el Estatuto del OIEA celebrada en la Sede de las Naciones Unidas (Nueva York); entró en vigor el 29 de julio de 1957. El Organismo tiene la Sede en Viena. Su principal objetivo es "acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero".

© OIEA, 1989

Para copiar o traducir el material informativo de la presente publicación hay que pedir por escrito el correspondiente permiso al Organismo Internacional de Energía Atómica, Wagramerstrasse 5, Apartado de Correos 100, A-1400 Viena, Austria.

Impreso por el OIEA en Austria
Diciembre de 1989

EL ACCIDENTE RADIOLOGICO DE GOIÂNIA

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
VIENA, 1989



ESTE INFORME SE PUBLICA TAMBIEN
EN FRANCES, INGLES Y RUSO

Acc. No.: 113805

Liac/Lisa No.:

Lion No.: 97696

Location:

EL ACCIDENTE RADIOLOGICO DE GOIÂNIA
OIEA, VIENA, 1989
STI/PUB/815
ISBN 92-0-329089-3

PREFACIO

del Director General

El Gobierno y las autoridades del Brasil debieron afrontar las consecuencias de un trágico accidente en Goiânia, causado por el uso incorrecto de una fuente de uso médico de teleterapia fuertemente radiactiva que no se encontraba bajo la vigilancia de personal de protección radiológica. Ellos han adoptado una serie de medidas para reforzar el control sobre tales fuentes en el futuro. En el mismo sentido, la Comisión Nacional de Energía Nuclear del Brasil (CNEN) y el OIEA organizaron conjuntamente una reunión de examen cuyo propósito fue el de permitir a un grupo internacional de especialistas analizar las causas y consecuencias del accidente, y a las personas interesadas y autoridades de otros Estados aprender de la experiencia del Brasil, con vistas a reducir el riesgo de tales accidentes y a equiparse adecuadamente para encarar cualquier otro que pudiera ocurrir.

Este informe recoge las conclusiones de esa reunión de examen. Describe cómo ocurrió el accidente, examina cómo fue manejado y cómo se controlaron sus consecuencias. Finalmente, destaca las observaciones y recomendaciones que resultan del examen de los hechos.

La reunión de examen y el presente informe no son los únicos compromisos contraídos por el OIEA. Bajo su programa de seguridad, el Organismo se propone examinar y analizar cualquier accidente radiológico serio y producir una descripción detallada del mismo, de la cual puedan aprender todos los Estados.

Las aplicaciones de la energía nuclear y de los materiales nucleares en la industria, medicina, agricultura e investigación científica pueden ser de gran utilidad para el aumento de la productividad, el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, y el mejoramiento de la agricultura. Tales actividades no pueden estar enteramente exentas del riesgo de accidentes. Toda iniciativa humana implica un cierto grado de riesgo, así como abstenerse de ella tiene su propio riesgo.

El público debe confiar, sin embargo, en que las autoridades responsables y los individuos hacen todo lo que está a su alcance para minimizar estos riesgos; un proceso que implica también aprender lecciones a partir de cualquier accidente que pudiera ocurrir a pesar de todas las precauciones tomadas.

Los accidentes radiológicos son eventos poco frecuentes. En realidad, teniendo en cuenta el número de fuentes radiactivas utilizadas alrededor del mundo en la medicina, la agricultura y la industria, la escasa ocurrencia de tales accidentes es un testimonio de la efectividad de las normas y medidas de seguridad que se aplican.

Sin embargo, el hecho de que estos accidentes sean poco frecuentes no debería dar pie para la complacencia. Ningún accidente radiológico es aceptable, y uno que amenaza con contaminar áreas extensas está destinado a alarmar a un público que aún no ha aprendido a convivir con la radiactividad.

El accidente de Goiânia fue uno de los accidentes radiológicos más graves que hayan ocurrido hasta la fecha. Causó la muerte de cuatro personas y lesiones por radiación a muchas otras; además, ocasionó la contaminación radiactiva de parte de la ciudad.

El informe del accidente sugiere que sus consecuencias pudieron haber sido mucho más graves de no ser por la habilidad, el coraje y la determinación con que asumieron sus responsabilidades aquéllos que debieron intervenir para afrontarlo. Resultó muy importante la contribución de aquellas personas que reconocieron la gravedad de la situación y alertaron a las autoridades sobre la necesidad de actuar con urgencia. Una vez alertadas, las autoridades respondieron con rapidez y eficacia; en Goiânia, en el Estado de Goiás, en las Agencias Federales del Gobierno del Brasil y en todo Brasil, y, por cierto, en otros países. En particular, debe mencionarse a la CNEN, que coordinó la respuesta al accidente dentro del Estado de Goiás y a nivel nacional e internacional.

El accidente fue la primera prueba del rol asumido por el OIEA bajo la nueva Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica, que consiste en colaborar en la coordinación de las acciones de los Estados Miembros que deseen ofrecer su asistencia en caso de un accidente radiológico.

El OIEA desea expresar su agradecimiento a la CNEN por la actitud positiva y de cooperación que adoptó desde un principio, por haber informado a los Estados Miembros sobre el accidente de Goiânia y por permitirles a otros Estados beneficiarse a partir de la experiencia que pueda adquirirse del mismo.

En particular, el Organismo desea agradecer al Directorio del Instituto de Protección Radiológica y Dosimetría (IRD) por el apoyo brindado para organizar la reunión de examen.

NOTA EDITORIAL

Este informe está basado esencialmente en la información proporcionada al OIEA por los expertos designados por el Gobierno del Brasil.

Aunque se han extremado las precauciones para preservar la exactitud de la información contenida en este informe, ni el OIEA ni sus Estados Miembros se responsabilizan por consecuencias que puedan derivarse de su uso.

La mención de nombres de empresas específicas o de sus productos (estén o no indicados como registrados) no implica ninguna intención de infringir derechos de propiedad, ni debe entenderse como reconocimiento o recomendación por parte del OIEA.

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO

Sección I. El accidente	1
Sección II. Las consecuencias humanas y la forma de ocuparse de las personas afectadas	2
Sección III. La contaminación del medio ambiente: Evaluación y medidas correctoras	3
Sección IV. Observaciones y recomendaciones	6

SECCION I. EL ACCIDENTE

1. INTRODUCCION	11
1.1. Objetivos del informe	11
1.2. Contenido del informe	12
2. INFORMACION PREVIA	13
2.1. El lugar del accidente	13
2.2. Organizaciones relevantes e infraestructura de la protección radiológica en Brasil	13
2.3. El marco regulatorio y las responsabilidades	15
2.4. Medidas para situaciones de emergencia	16
3. DESCRIPCION DEL ACCIDENTE	19
3.1. Las instalaciones involucradas en el accidente	19
3.2. La máquina de teleterapia y su fuente radiactiva	19
3.3. Cronología del accidente	30
4. MEDIDAS INICIALES TOMADAS AL DESCUBRIRSE EL ACCIDENTE	32
4.1. Medidas iniciales tomadas por las autoridades de Goiânia	32
4.2. Movilización inicial de recursos	33
4.3. Equipo de conducción de la CNEN	33
4.4. Equipo médico de cabecera de la CNEN	36
4.5. Aumento de la respuesta	36
4.6. Organización inicial	37
4.7. Tratamiento médico inicial de los afectados	38
4.8. Transición hacia una fase de control a plazo más largo	39

**SECCION II. LAS CONSECUENCIAS HUMANAS Y LA FORMA
DE OCUPARSE DE LAS PERSONAS
AFECTADAS**

5.	RESPUESTA MEDICA	43
5.1.	Introducción	43
5.2.	Fase inicial de la respuesta médica	44
5.3.	El tratamiento	46
5.4.	Estudios postmortem: autopsias	51
6.	DOSIMETRIA	54
6.1.	Dosimetría interna	54
6.2.	Determinación de las dosis por análisis citogenético	61
6.3.	Dosimetría externa	63

**SECCION III. LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE:
EVALUACION Y MEDIDAS CORRECTORAS**

7.	INTRODUCCION Y RELATO DE LAS MEDIDAS ADOPTADAS	67
7.1.	Introducción	67
7.2.	Descripción general	68
7.3.	Criterios para realizar acciones	73
8.	DETERMINACIONES AMBIENTALES	76
8.1.	Dispersión de la contaminación	76
8.2.	Relevamientos radiológicos	77
8.3.	Monitoreo ambiental	82
8.4.	Equipamiento para el relevamiento radiológico	85
9.	DESCONTAMINACION	86
10.	ELIMINACION DE LOS DESECHOS RADIATIVOS	88
10.1.	Selección de un emplazamiento para el almacenamiento de los desechos	88
10.2.	Sistemas de clasificación y control	88
10.3.	Embalaje de los desechos	90
10.4.	Diseño de un lugar de almacenamiento temporario de los desechos radiactivos	90
10.5.	Transporte de los desechos al lugar de almacenamiento	92
10.6.	Inventario	92
10.7.	Actividades de seguimiento radiológico	93

SECCION IV. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	95
--	-----------

APENDICES Y ANEXOS

Apéndice I: Cooperación internacional	123
Apéndice II: Comunicación con el público	127
Apéndice III: El accidente de Goiânia en perspectiva	129
Apéndice IV: Lecciones aprendidas por la CNEN	132
Anexo I: Equipamiento para el relevamiento radiológico	135
Anexo II: Pautas seguidas para dar de alta a los pacientes	138
Anexo III: Protección radiológica	142
Anexo IV: Descontaminación química	148
BIBLIOGRAFIA	155
LISTA DE PARTICIPANTES	161

RESUMEN EJECUTIVO

SECCION I. EL ACCIDENTE

Según se conoce ahora, hacia fines de 1985 un instituto privado de radioterapia, el Instituto Goiano de Radioterapia de Goiânia, Brasil, se trasladó a nuevas instalaciones, llevándose una unidad de teleterapia de cobalto 60 y abandonando una unidad de teleterapia de cesio 137. Este hecho no fue notificado a la autoridad licenciante, tal como se exigía en la licencia de operación del Instituto. Las instalaciones originales fueron luego parcialmente demolidas, por lo que la unidad de teleterapia de cesio 137 quedó en condiciones totalmente inseguras. Dos individuos penetraron en las instalaciones semidemolidas e, ignorando las características de la unidad pero suponiendo que podría tener algún valor como material de rezago, quitaron el portafuente del cabezal de irradiación de la máquina y lo llevaron al domicilio de uno de ellos. Allí trataron de desarmarlo.

En el intento, la cápsula de la fuente se rompió. La fuente radiactiva se hallaba en forma de cloruro de cesio, altamente soluble y de fácil dispersión. Se produjo así la contaminación del ambiente, resultando varias personas contaminadas interna y externamente. De ese modo, comenzó uno de los accidentes radiológicos más graves que hayan ocurrido jamás.

Luego de la ruptura de la cápsula, los restos del portafuente fueron vendidos como material de rezago a un "sucateiro" o chatarrero. Este notó que el material que había adquirido emitía reflejos azulados en la oscuridad. Varias personas se sintieron fascinadas por este fenómeno y durante varios días amigos y parientes se acercaron a observarlo. Se distribuyeron fragmentos de la fuente, del tamaño de granos de arroz, entre varias familias. Transcurridos cinco días, algunas de esas personas experimentaron síntomas de enfermedad gastrointestinal, derivados de la exposición a la radiación emitida por la fuente.

Al principio, los síntomas no fueron reconocidos como causados por la irradiación. Sin embargo, uno de los individuos irradiados vinculó la enfermedad con la cápsula de la fuente y llevó los restos de la misma a la Vigilância Sanitária, el departamento de salud pública de la ciudad. Esto inició una cadena de eventos que condujeron al conocimiento del accidente.

Un físico de la localidad fue el primero en determinar, por monitoreo, la magnitud del accidente. Por propia iniciativa, inició las acciones necesarias para evacuar las zonas contaminadas. Al mismo tiempo se informó a las autoridades, con lo cual se incrementó notablemente la velocidad y la magnitud de la respuesta al accidente. Otros lugares significativamente contaminados fueron identificados rápidamente y sus habitantes fueron evacuados.

SECCION II. LAS CONSECUENCIAS HUMANAS Y LA FORMA DE OCUPARSE DE LAS PERSONAS AFECTADAS

Poco después de haberse constatado que había ocurrido un accidente radiológico grave, varios especialistas —incluyendo físicos y médicos— fueron enviados desde Río de Janeiro y San Pablo hacia Goiânia. A su llegada verificaron que se había destinado un estadio deportivo como lugar provisorio para proceder a la identificación de personas contaminadas y/o lesionadas. Se llevó a cabo una clasificación médica, identificándose a 20 personas que requerían tratamiento hospitalario.

Catorce de estas personas fueron trasladadas al Hospital Naval Marcilio Dias, en Río de Janeiro. Los pacientes restantes fueron tratados en el Hospital General de Goiânia. En éste se instaló un contador de todo el cuerpo para colaborar en el programa de vigilancia de la contaminación interna y para probar la eficacia de la droga Azul de Prusia, administrada a los pacientes de ambos hospitales para producir la eliminación corporal del cesio. El análisis citogenético resultó sumamente útil para diferenciar a las personas severamente irradiadas de aquéllas menos expuestas, que no requerían cuidados médicos intensivos.

La descontaminación de la piel de los pacientes y la interacción con la descamación de la herida causada por la radiación y con las excretas contaminadas plantearon serios problemas durante el tratamiento. Los exámenes hematológicos y médicos diarios, la buena asistencia de enfermería y el análisis biológico de cultivos de sangre contribuyeron a la detección temprana y al tratamiento terapéutico de las infecciones sistémicas locales.

Cuatro de los afectados fallecieron dentro de las cuatro semanas de ser admitidos en el hospital. Los exámenes postmortem mostraron complicaciones hemorrágicas y sépticas vinculadas al síndrome agudo de radiación. Las mejores estimaciones independientes de la dosis por irradiación de todo el cuerpo de estos cuatro pacientes, realizadas por análisis citogenético, arrojaron valores comprendidos entre 4,5 Gy y más de 6 Gy. Dos pacientes con dosis estimadas del mismo orden sobrevivieron. Una nueva droga, similar a las hormonas, denominada factor estimulante de la colonia de macrófagos y granulocitos (FECMG), fue utilizada en el tratamiento de personas sobreexpuestas, con resultados cuestionables. En el término de dos meses, todos los pacientes del Hospital Naval de Río de Janeiro que sobrevivieron fueron enviados de regreso al Hospital General de Goiânia, donde la eliminación corporal del cesio continuó hasta que se consideró seguro darlos de alta.

Muchas personas recibieron dosis por contaminación interna y exposición externa. En total, se monitorearon alrededor de 112 000 personas, de las que 249 se hallaban contaminadas interna o externamente. Algunas sufrieron contaminaciones internas y exposiciones a dosis externas muy elevadas debido a la forma en que manipularon el polvo de cloruro de cesio, frotándolo sobre la piel o comiendo con las

manos contaminadas, y por vía de la contaminación de viviendas, muebles, artefactos y utensilios.

Más de 110 muestras de sangre de personas afectadas fueron analizadas por métodos citogenéticos. Se determinó la frecuencia de aberraciones cromosómicas en cultivos de linfocitos y se estimó la dosis absorbida mediante curvas de calibración *in vitro*. Las dosis estimadas fluctuaron entre 0 y 7 Gy. El análisis estadístico de la distribución de Poisson de las células con aberraciones cromosómicas indicó que algunos individuos habían sufrido exposiciones no uniformes. Los individuos muy expuestos se hallan aún sometidos a análisis de aberraciones citogenéticas en linfocitos.

Se tomaron muestras de orina de todos los individuos potencialmente contaminados internamente; esos análisis se utilizaron como un método de selección. Una vez confirmada la presencia de contaminación interna en algunos pacientes, se les tomaron diariamente muestras de orina y materia fecal. La incorporación de cesio y las dosis integradas se estimaron mediante modelos matemáticos, específicos según la edad de los pacientes. La eficacia del Azul de Prusia como agente promotor de la eliminación corporal del cesio se evaluó relacionando las cantidades de cesio eliminadas por orina y materia fecal. Se instaló un contador de todo el cuerpo en Goiânia; así se estimó el efecto de la dosis de Azul de Prusia suministrada a los pacientes sobre el período biológico del cesio en el cuerpo.

SECCION III. LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE: EVALUACION Y MEDIDAS CORRECTORAS

El accidente causó una grave contaminación ambiental. Las medidas tomadas para eliminarla pueden dividirse en dos fases. La primera fase corresponde a las acciones urgentes necesarias para poner bajo control todas las fuentes potenciales de contaminación. Aunque esta fase fue completada en sus aspectos principales hacia el 3 de octubre, algunos de sus componentes persistieron hasta la Navidad de 1987, cuando todos los lugares de mayor contaminación habían sido controlados. La segunda fase, que puede considerarse como una fase correctora tendiente a restablecer las condiciones normales de vida, duró hasta marzo de 1988.

Los objetivos principales de la fase urgente de la respuesta al accidente fueron prevenir las dosis individuales altas que pudieran ocasionar efectos no estocásticos e identificar los focos principales de contaminación, estableciendo un control sobre los mismos. Durante la fase inicial de la respuesta, todas las acciones estuvieron dirigidas a controlar las fuentes de exposición, lo que llevó tres días.

Los estudios radiológicos iniciales se realizaron a pie en las zonas contaminadas. Se identificaron siete focos principales de contaminación —algunos con tasas de dosis de hasta $2 \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$, a un metro de altura— incluidos los depósitos de material de rezago involucrados en el accidente.

Un relevamiento aéreo realizado con un helicóptero convenientemente equipado permitió confirmar que ninguna de las áreas de contaminación importantes había pasado inadvertida. Durante dos días, se exploraron todas las áreas urbanas de Goiânia —una superficie de más de 67 km². La extensión de las siete áreas principales de contaminación fue confirmada; sólo se descubrió un área menor —desconocida previamente— con una tasa de dosis de 21 mSv·h⁻¹ a un metro de altura.

Áreas de menor contaminación pasaron posiblemente inadvertidas, especialmente en la vecindad de las áreas altamente contaminadas que se encontraban alrededor de los focos principales. Se puso en práctica un sistema complementario de monitoreo, que cubrió áreas extensas, aunque limitadas a los caminos. Este sistema utilizó detectores colocados sobre y dentro de varios automotores; de ese modo se monitorearon alrededor de 2000 km de caminos, un 80% de la red vial de Goiânia. Los principales focos de contaminación fueron los depósitos de material de rezago y las viviendas donde la cápsula de la fuente fue dañada; éstos cubrían un área de aproximadamente 1 km².

Durante esta etapa inicial de la respuesta se fijaron niveles de acción para el control de acceso (10 μSv·h⁻¹), para la evacuación y prohibición de acceso (2,5 μSv·h⁻¹; posteriormente, 10 μSv·h⁻¹ para las viviendas y 150 μSv·h⁻¹ para áreas desocupadas), y para los trabajadores que participaron en el manejo del accidente (los límites de dosis y las tasas de dosis correspondientes por día, semana y mes). En total, se encontraron 85 casas contaminadas significativamente, evacuándose 200 personas de 41 de tales viviendas. Transcurridas dos semanas, 30 casas fueron habilitadas para su reocupación. Es necesario enfatizar que estos niveles, que corresponden aproximadamente a un décimo de los valores más bajos de los niveles de intervención recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) y por el OIEA (niveles de no acción), fueron excesivamente restrictivos como consecuencia de presiones políticas y sociales.

Posteriormente, se evaluó la diseminación de la contaminación en toda el área y la cuenca hidrográfica. Se montó un laboratorio en Goiânia para medir la actividad del cesio en suelos, aguas subterráneas, sedimentos y agua del río, agua potable, aire y alimentos. Sin embargo, sólo se requirieron contramedidas en el caso del suelo y de las frutas dentro de un radio de 50 metros del foco principal de contaminación.

Durante la etapa siguiente de la respuesta, que consistió principalmente en acciones realizadas para recuperar el material radiactivo, se debieron afrontar diversas dificultades en el relevamiento del área urbana y de la cuenca de los ríos. Entre estas dificultades se incluyen las copiosas precipitaciones ocurridas entre el 21 y el 28 de septiembre, que dispersaron el cesio en el medio ambiente. En lugar de ser removido por la lluvia, tal como se esperaba, el material radiactivo quedó depositado sobre los techos, constituyéndose en el principal contribuyente a las tasas de dosis en las viviendas.

Los niveles de contaminación del agua potable fueron muy bajos. El agua subterránea se encontró también libre de contaminación, a excepción de la de unos pocos pozos, cercanos al foco principal de contaminación, con concentraciones de cesio apenas superiores al límite de detección.

Las principales contramedidas adoptadas durante esta fase correctora fueron la descontaminación de los principales lugares de contaminación (incluyendo áreas alejadas del foco principal) y de las viviendas, lugares públicos, vehículos, etc. Para la descontaminación del foco principal fue necesario utilizar maquinaria pesada para remover grandes cantidades de suelo y demoler casas. Debieron construirse un gran número de contenedores de diversos tipos para los desechos. Para almacenarlos, se debió planificar y construir un repositorio temporario. Este se construyó a mediados de noviembre, mientras que la descontaminación del foco principal y demás áreas se llevó a cabo desde mediados de noviembre hasta fines de diciembre de 1987.

Los niveles de investigación elegidos para considerar las distintas acciones correspondían a una dosis de 5 mSv en el primer año y una dosis proyectada a largo plazo de 1 mSv por año en los años siguientes. El trabajo incluyó la demolición (y remoción de escombros) de siete casas y la remoción de suelo. Las áreas de las que se removió suelo fueron rellenadas con hormigón o bloques de tierra. En los lugares menos contaminados, la fuente principal de exposición era el polvo depositado sobre el suelo; luego de remover las capas de suelo necesarias, las superficies fueron cubiertas con tierra limpia. De 159 viviendas monitoreadas, se debieron descontaminar 42. Esta descontaminación se realizó mediante aspiración en el interior de las viviendas y lavado con chorros de agua a alta presión en el exterior de las mismas. Varios procedimientos de descontaminación química probaron ser eficaces, cada uno adaptado a las circunstancias, a los materiales involucrados y a los niveles de exposición.

Los niveles de acción para estas medidas correctoras se eligieron bajo fuertes presiones políticas y públicas, siendo fijados con valores menores que los que hubieran resultado de un proceso de optimización. En la mayoría de los casos, estos niveles podrían considerarse aplicables más a situaciones normales que a la fase de recuperación de un accidente.

Luego del feriado de Navidad, en diciembre de 1987, se descontaminaron las áreas de menor tasa de exposición que rodeaban al foco principal de contaminación. No fue necesario utilizar maquinaria pesada; además, se desarrollaron y adoptaron procedimientos de optimización. Esta etapa duró hasta marzo de 1988.

Desde el principio de la respuesta al accidente se generaron grandes cantidades de desechos radiactivos. Para almacenarlos transitoriamente, se eligió un lugar a 20 km de Goiânia. Los desechos fueron clasificados en no radiactivos (por debajo de $74 \text{ kBq} \cdot \text{kg}^{-1}$), de bajo nivel de radiación (por debajo de $2 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$) y de nivel medio de radiación (entre $2 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ y $20 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$). Se utilizaron varios tipos de contenedores, de acuerdo a los niveles de contaminación. El embalaje de los desechos requirió de 3800 tambores de metal (200 L), 1400 cajas metálicas

(5 toneladas), 10 contenedores de embarque (32 m³) y 6 juegos de embalaje de hormigón. El lugar de almacenamiento temporario fue diseñado para contener un volumen de desechos de 4000-5000 m³, encapsulados en alrededor de 12 500 tambores y 1470 cajas.

El volumen final de los desechos almacenados fue de 3500 m³, carga transportada por más de 275 camiones. Este gran volumen se debió a los niveles de acción excesivamente restrictivos seleccionados tanto en la etapa de emergencia como en la fase de recuperación. El costo económico de la selección de tales niveles, especialmente en la última de las fases, está lejos de ser insignificante.

Se construyó un sistema de muestreo para monitorear la pérdida de material radiactivo (incluyendo la causada por el agua de lluvia) de los desechos colocados sobre la plataforma. La mejor estimación de la actividad contenida en los materiales contaminados es de más de 44 TBq (1200 Ci), comparada con la actividad conocida de la fuente de cloruro de cesio antes del accidente, de 50,9 TBq (1375 Ci). Aún no se ha decidido el lugar donde se almacenarán definitivamente los desechos.

SECCION IV. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Frecuentemente, los exámenes de los accidentes radiológicos sirven sólo para llamar la atención sobre lo que ya es bien conocido. El examen del accidente de Goiânia permitió hacer muchas observaciones y recomendaciones. Sin embargo, las observaciones realizadas aquí no se refieren necesariamente a las circunstancias específicas del accidente.

En lo que se refiere a la ocurrencia potencial de tales accidentes, una observación importante es que nada puede disminuir la responsabilidad de la persona designada como encargada de la seguridad de una fuente radiactiva. Las fuentes radiactivas que son sacadas del lugar fijado en el procedimiento de notificación, registro y licenciamiento pueden representar un riesgo importante. La persona responsable por la fuente radiactiva debe adoptar las medidas necesarias para evitar tales fallas de seguridad, medidas que incluirán procedimientos de verificación y dispositivos de seguridad apropiados. Aunque el sistema regulatorio constituye un control sobre la capacidad profesional de los que operan y la eficacia de la organización, debe enfatizarse que los controles regulatorios y legales no pueden ni deben dispensar a la persona encargada de la seguridad de una fuente radiactiva de las responsabilidades que en tal calidad le competen.

Para facilitar el deslinde de responsabilidad de la persona encargada de la seguridad de una fuente radiactiva, las formas apropiadas de dar cumplimiento a los requerimientos regulatorios deberían ser específicas, simples y compulsivas. En particular, se requiere una buena comunicación entre todos aquéllos que se ocupan de implementar y hacer cumplir los requerimientos de protección radiológica.

El reconocimiento por parte del público del peligro potencial de las fuentes radiactivas es un factor importante para disminuir la probabilidad de ocurrencia de accidentes radiológicos. Debería darse la importancia debida a un sistema de señalización de riesgos radiológicos, reconocible por la mayoría del público.

Las propiedades físico-químicas de las fuentes radiactivas son muy importantes en relación con los accidentes radiológicos. Estas propiedades deberían tenerse en cuenta en el licenciamiento para la fabricación de tales fuentes, puesto que influyen potencialmente en las consecuencias de accidentes causados por el uso incorrecto de las fuentes.

Si a pesar de haberse tomado todas las precauciones, ocurre un accidente y se prevé un riesgo radiológico, debería existir una cadena de información y comando bien definida. Con respecto a esto, es necesario mencionar que la preparación para responder a emergencias radiológicas debería incluir no sólo los accidentes nucleares sino también toda la gama de accidentes posibles que impliquen una exposición a las radiaciones.

En el aspecto médico, la experiencia de Goiânia confirmó en general la efectividad de las técnicas de diagnóstico actualmente disponibles, antibióticos y métodos de separación de plaquetas y transfusión. Además, demostró la utilidad de las estimaciones dosimétricas citogenéticas y la notable eficacia del Azul de Prusia para eliminar la contaminación interna por cesio 137.

El tratamiento de las víctimas de accidentes radiológicos es extremadamente variado y complejo. Deben ser hospitalizadas y atendidas por personal que intervenga diariamente en el tratamiento hematológico, quimioterapéutico, radioterapéutico y quirúrgico de pacientes con riesgo de cáncer, supresión inmunológica y discrasia sanguínea. En general, ni el personal médico ni los centros de medicina están preparados para tratar daños por radiación y emergencias radiológicas. Los planes de intervención en emergencias radiológicas deberían prever la asistencia inmediata de profesionales de la salud preparados para tratar a tales pacientes. Sin embargo, el reconocimiento de la naturaleza del daño radiológico depende de la educación de trabajadores fuera del área nuclear y del entrenamiento de profesionales de la salud. Esto depende a su vez, de la amplia diseminación de programas de educación.

En lo que se refiere a las medidas a adoptar con respecto a la contaminación ambiental causada por un accidente, debe destacarse la importancia de tomar decisiones sobre los niveles de intervención. Comúnmente, existe una tendencia a fijar criterios muy estrictos para las acciones correctoras, generalmente indicados por consideraciones políticas y sociales. Tales criterios, sin embargo, implican un costo económico y social sustancial que se suma al causado por el accidente mismo; esto no siempre es justificable.

Finalmente, debe destacarse que un accidente debería registrarse tan pronto como sea posible, dado que los hechos tienden a perder claridad con el tiempo.

Resulta especialmente importante brindar información a los medios de comunicación, al público y —por cierto— a los grupos de trabajo que afrontan la emergencia. Estos grupos, en particular, deberían recibir un apoyo apropiado a la magnitud de la emergencia en la administración e información al público. Las situaciones de emergencia de envergadura requieren un rápido apoyo administrativo y de información al público en el lugar de los hechos. Todos los individuos que a juicio de la autoridad correspondiente puedan llegar a participar en la respuesta a emergencias radiológicas deberían recibir un entrenamiento —tanto teórico como a través de simulacros— apropiado a las funciones que desempeñen.

Sección I

EL ACCIDENTE

1. INTRODUCCION

2. INFORMACION PREVIA

3. DESCRIPCION DEL ACCIDENTE

4. ACCIONES INICIALES REALIZADAS AL DESCUBRIRSE EL ACCIDENTE

1. INTRODUCCION

El 13 de septiembre de 1987, una fuente blindada de cesio 137 de alta actividad (50,9 TBq, o 1375 Ci, en esa fecha) fue removida de su alojamiento protector en una máquina de teleterapia de una clínica abandonada de Goiânia, Brasil, y posteriormente rota. De ese modo, muchas personas recibieron altas dosis de radiación, causadas por exposición a la radiación externa y contaminación interna. Cuatro de los individuos irradiados finalmente fallecieron y 28 personas sufrieron quemaduras por radiación. Muchas viviendas y lugares públicos resultaron contaminados. La descontaminación requirió la demolición de siete viviendas y varios edificios, así como la remoción de las capas superiores del suelo de grandes zonas. En total se produjeron alrededor de 3500 m³ de desechos radiactivos.

El accidente de Goiânia fue uno de los accidentes radiológicos más graves que hayan ocurrido. Sin embargo, posee similitudes con otros accidentes, tales como los ocurridos en Ciudad de México (1962), Argelia (1978), Marruecos (1983) y Ciudad Juárez (México; 1983). Este último, en especial, fue sorprendentemente similar al accidente ocurrido en Goiânia.

La extensión con que estos accidentes fueron documentados en publicaciones de fácil acceso ha variado considerablemente, con la consecuente pérdida de información útil sobre los mismos. Teniendo esto en cuenta, y con la percepción de que se necesita prestar una mayor atención a la protección radiológica fuera del área nuclear, el OIEA ha colaborado con las autoridades brasileñas en este examen del accidente de Goiânia.

1.1. OBJETIVOS DEL INFORME

Los objetivos del examen del accidente fueron:

- a) reunir en un informe coherente los hechos relacionados con el accidente;
- b) identificar las lecciones que pueden aprenderse para disminuir la probabilidad de ocurrencia de tales accidentes y saber de qué manera proceder en caso de que ocurran;
- c) obtener toda la información posible sobre los efectos médicos de la exposición a la radiación y el cuidado de personas altamente expuestas y contaminadas;
- d) identificar las lecciones que puedan aprenderse para afrontar accidentes en los que se produzca dispersión de contaminantes; y
- e) determinar la eficacia de la cooperación internacional en la respuesta a emergencias e identificar los aspectos de esta cooperación que puedan ser mejorados.

1.2. CONTENIDO DEL INFORME

Un examen de este tipo requiere necesariamente de una descripción detallada y objetiva de lo sucedido en el accidente y de la forma en que se lo manejó. Con tal fin, el informe fue separado en cinco secciones principales, a saber:

- Una descripción y análisis del accidente: la cronología de la remoción y rotura de la fuente, el descubrimiento del accidente y la etapa inicial de la respuesta.
- Las consecuencias humanas: el trato de las personas afectadas. El manejo, tratamiento y cuidado de las víctimas, y la dosimetría de la exposición interna y externa.
- Investigación de la contaminación del medio ambiente y las medidas correctoras.
- Observaciones y recomendaciones: lecciones a ser aprendidas.
- Apéndices y anexos, que brindan detalles adicionales e información administrativa, científica y técnica relacionada con el accidente.

Se espera que este informe ayude a las autoridades responsables a formular recomendaciones que limiten la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias de los accidentes radiológicos, y a planificar cómo afrontar las emergencias. Con respecto a este último objetivo, no debe olvidarse que en un escritorio, con las ventajas de la percepción de lo que se debió hacer o decir una vez pasada la ocasión, es fácil formular planes de emergencia que hubieran sido adecuados para intervenir en el “último” accidente ocurrido. Cuando los accidentes ocurren, tienen inevitablemente sus propias características, por lo que se requiere la adaptación y modificación del plan básico. Además, los accidentes producen traumas y tensiones que quizás sólo aquéllos que han estado directamente involucrados en ellos pueden apreciar correctamente.

2. INFORMACION PREVIA

2.1. EL LUGAR DEL ACCIDENTE

Goiânia es la capital del Estado de Goiás, sobre la meseta central de Brasil, conocida por sus granjas cerealeras y ranchos ganaderos. La temperatura media anual es de 21,9°C (frecuentemente alcanza 40°C) y el clima es húmedo, con una precipitación anual de 1700 mm.

Goiânia es una gran ciudad, con una población de alrededor de un millón de habitantes. La zona de la ciudad donde ocurrió el accidente es una de las más pobres, y el nivel de alfabetismo de sus pobladores es limitado. La Fig. 1 proporciona una idea del tamaño relativo de la superficie de la ciudad que resultó contaminada y la ubicación de Goiânia en relación a las ciudades de Río de Janeiro (a 1348 km de distancia) y San Pablo (a 919 km de distancia), donde se encuentran los mayores recursos de protección radiológica.

Algunas autoridades y organizaciones estatales y municipales intervinieron en los hechos; aquí se las describe brevemente. El Ministerio Federal de Salud es responsable de los aspectos relacionados con la salud a nivel nacional; algunas responsabilidades sobre la salud son delegadas por el Ministerio Federal a las Secretarías de Salud de los Estados. Una agencia estatal, SEMAGO, se ocupa de los aspectos ambientales. Incluso Goiânia tiene un departamento de salud pública, la Vigilância Sanitária, cuyas responsabilidades incluyen, por ejemplo, los asuntos relacionados con los alimentos y los medicamentos.

2.2. ORGANIZACIONES RELEVANTES E INFRAESTRUCTURA DE LA PROTECCION RADIOLOGICA EN EL BRASIL

La autoridad nacional competente en materia de energía nuclear en el Brasil es la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), cuyo presidente depende directamente del Presidente de la República. La CNEN tiene tres institutos de investigación: el Instituto para la Investigación Nuclear y Energética (IPEN), en San Pablo, el Instituto de Protección Radiológica y Dosimetría (IRD) y el Instituto de Ingeniería Nuclear (IEN), ambos ubicados, junto con la sede de la CNEN, en Río de Janeiro (véase la Fig. 2).

El IPEN posee un reactor de investigación que se utiliza para proveer la mayoría de los radisótopos de uso médico de Brasil y las fuentes para usos industriales. También posee plantas de tratamiento de torio y uranio. Asimismo, el IPEN tiene un Departamento de Protección Radiológica para atender a sus propias necesidades

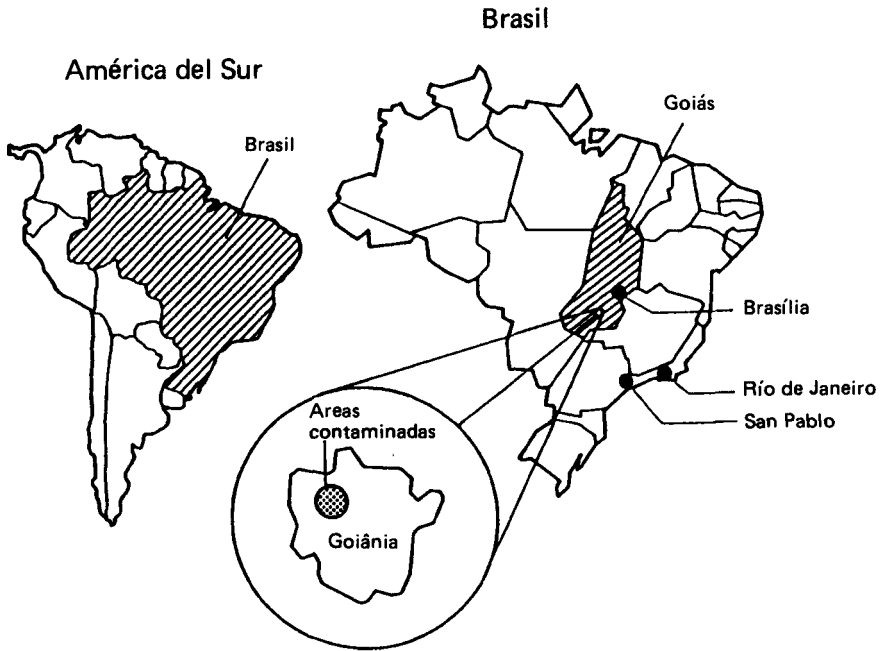


FIG. 1. Plano que muestra la ubicación de Goiânia en relación a Río de Janeiro (1348 km) y a San Pablo (919 km), donde se encuentran los mayores recursos de protección radiológica. Asimismo, el plano proporciona una idea del tamaño relativo del área contaminada de la ciudad.

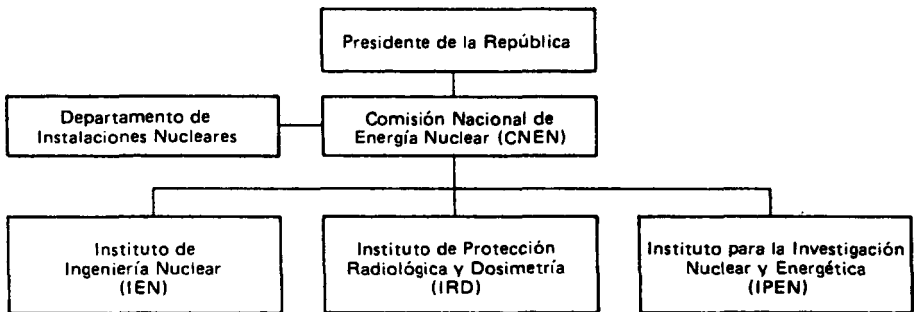


FIG. 2. Los tres institutos de investigación y el departamento regulatorio de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) del Brasil.

y para llevar a cabo algunas funciones de inspección regulatoria externa en el sur de Brasil.

El IEN también posee un reactor de investigación y una infraestructura asociada de protección radiológica, pero su trabajo se halla principalmente orientado hacia la ingeniería nuclear y de instrumentación.

Como se desprende de su nombre, el IRD es un centro principal para los aspectos relacionados con la protección radiológica en Brasil; como tal, aportó la mayoría del personal y de las facilidades para afrontar el accidente. Posee varios departamentos, incluyendo los siguientes:

- a) El Departamento de Protección Radiológica Ambiental realiza investigaciones sobre impacto ambiental, control de efluentes, radioquímica e investigación;
- b) El Departamento de Monitoreo Personal presta servicios de monitoreo personal tanto externo como interno. Para estos últimos, hay grupos trabajando en determinación de dosis, modelado, análisis biológicos, medición directa de todo el cuerpo y dosimetría citogenética;
- c) El Departamento de Protección Radiológica Profesional lleva a cabo un programa de inspecciones, monitoreo y entrenamiento para los usos médicos e industriales y para el ciclo del combustible nuclear;
- d) El Departamento de Metrología posee un Laboratorio de Dosimetría de Patrones Secundarios y presta un servicio nacional de calibración de instrumentos de medición;
- e) El Departamento de Entrenamiento y Educación organiza cursos de capacitación en protección radiológica para diferentes niveles de usuarios.

Además de la CNEN, es importante mencionar otras agencias del Gobierno Federal. Empresas Nucleares Brasileiras S.A. (NUCLEBRAS) es responsable de las actividades vinculadas al ciclo del combustible nuclear, a los componentes de reactores y a la investigación y comercialización de materiales nucleares. NUCLEBRAS tiene una oficina en Goiânia para controlar la exploración de uranio que la compañía realiza en la zona central del Brasil. Esta oficina suministró parte del instrumental utilizado en la etapa inicial —local— de respuesta al accidente. La generación de nucleoelectricidad es responsabilidad de FURNAS, la que opera una central nuclear en Angra. Según los lineamientos del Plan de Emergencias para la central nuclear de Angra, todos los afectados por la radiación deberían ser llevados al Hospital Naval Marcilio Dias, en Río de Janeiro, el que dispone de una división especial para este propósito.

2.3. EL MARCO REGULATORIO Y LAS RESPONSABILIDADES

La CNEN es la autoridad regulatoria para el licenciamiento, compra y transporte de fuentes radiactivas (Ley 6189 del 16 de diciembre de 1974). Tiene también

la responsabilidad y el poder de regular la producción, uso, gestión de desechos y seguridad de los materiales radiactivos en sus diferentes áreas de uso. En el área de usos médicos, tanto la CNEN como las Secretarías de Salud Federales y de los Estados tienen responsabilidades regulatorias, las que son asignadas de la siguiente manera.

La CNEN opera un sistema de licenciamiento relacionado con los individuos y con las instalaciones. Tanto los profesionales en protección radiológica como los oficiales de radioprotección deben aprobar un programa apropiado de capacitación y rendir los exámenes de protección radiológica; el programa y los exámenes dependerán del tipo de instalación. Una vez completada con éxito dicha capacitación, reciben un certificado de habilitación. Para que cualquier organización pueda obtener su licencia para usar fuentes radiactivas, el personal a su servicio debe poseer los correspondientes certificados de habilitación.

La CNEN también requiere que le sean remitidos los planos de las nuevas instalaciones antes de su construcción junto con toda la documentación sobre seguridad radiológica, como procedimientos, regulaciones locales, instrumentación y monitoreo personal, y en particular, planes de contingencia para situaciones de emergencia. Estos planes son analizados; cuando la instalación ha sido construída, la autoridad pertinente lleva a cabo una inspección para verificar que los requerimientos se hayan cumplido satisfactoriamente. Sólo entonces se otorga la licencia de operación de la instalación. Estas licencias están sometidas a una serie de condicionamientos; principalmente, que la CNEN sea informada en todo momento de cualquier cambio en la situación del material radiactivo, como por ejemplo si se lo desea trasladar o gestionar como desecho. Las Normas CNEN 6/73 especifican los requisitos legales que deben cumplir los usuarios una vez que se les otorga una licencia.

La inspección consecuente de instalaciones médicas, realizada en el marco de estas Normas, es responsabilidad del Ministerio Federal de Salud (Ley 6229 del 17 de julio de 1975). Esta responsabilidad fue oportunamente delegada a las Secretarías de Salud de los Estados por el Decreto 77052 del 19 de enero de 1975, en un grado que varió según los Estados involucrados.

2.4. MEDIDAS PARA SITUACIONES DE EMERGENCIA

Las medidas para situaciones de emergencia vigentes en la CNEN en el momento del accidente estaban diseñadas para responder a dos categorías principales de accidentes. En primer lugar, estaba el Plan de Emergencia para la central nuclear de Angra, implementado para afrontar un accidente en la central nuclear; en segundo lugar, existían planes para afrontar emergencias radiológicas en el sector no nuclear. Estas emergencias son habitualmente de pequeña magnitud; por ejemplo, accidentes de transporte o accidentes con fuentes radiográficas. El accidente de Goiânia no se encuadró dentro de ninguna de estas dos categorías, por lo que se debieron adoptar

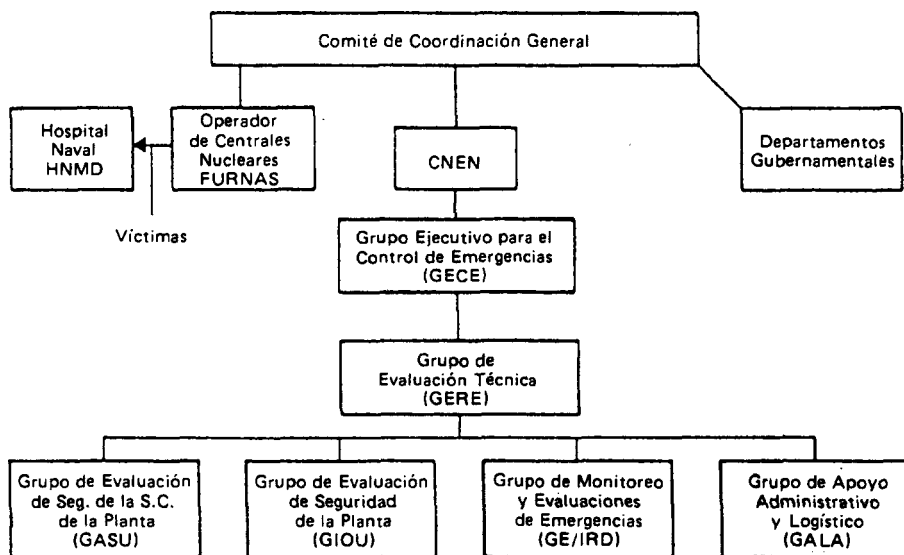


FIG. 3. Diagrama esquemático de los grupos de intervención en emergencias de la central nuclear de Angra.

elementos de ambas planificaciones para situaciones de emergencia. Las características principales de las mismas se definen a continuación.

La Fig. 3 muestra un diagrama esquemático de los grupos de intervención más importantes en el Plan de Emergencia para la central nuclear en Angra. (Las iniciales de los grupos son las correspondientes a su denominación en Brasil, y los nombres escritos son una descripción y no una traducción directa de los mismos.) De acuerdo con este esquema, las decisiones más importantes serían tomadas a nivel político por el Comité de Coordinación General, en el que estarían representadas las agencias más importantes del Gobierno tales como la CNEN, FURNAS y los Ministerios Federales y de los Estados. La participación de la CNEN sería formulada a través de un Grupo Ejecutivo para el Control de Emergencias (GECE), supervisado por el Grupo de Evaluación Técnica (GERE). Dos de los grupos dependientes del GERE, el Grupo de Evaluación de Seguridad de la Sede Central de la Planta (GASU) y el Grupo de Evaluación de Seguridad de la Planta (GIOU), están vinculados con la seguridad de la central nuclear de Angra y no estuvieron directamente relacionados con el accidente de Goiânia.

En el transcurso de una emergencia, el Grupo de Monitoreo y Evaluaciones de Emergencias (GE/IRD) sería el responsable del monitoreo ambiental realizado fuera de la planta y del monitoreo de la población, así como de la evaluación de los resultados. Existe también un Grupo de Apoyo Administrativo y Logístico (GALA).

Ambos grupos estuvieron involucrados en alguna medida con el accidente de Goiânia. Dentro del IRD, había un grupo de emergencia formado por los coordinadores de varios grupos de monitoreo y apoyo. Aunque estas medidas no se habían elaborado para una emergencia como la ocurrida en Goiânia, la preparación básica y la planificación para actuar en situaciones de emergencia fueron indudablemente de gran ayuda. Por ejemplo, resultó muy útil la disponibilidad de una sala para control de emergencias totalmente equipada con una red de comunicaciones.

Las medidas para afrontar emergencias radiológicas en otros sectores fuera del de generación de nucleoelectricidad fueron planificadas para asegurar que hubiera siempre una persona responsable de la respuesta a una situación de emergencia de manera tal que, ocurrida la misma, pudiera ser contactada y coordinar la asistencia adecuada. En el marco del Plan de Emergencia, esta persona —el coordinador de emergencias nucleares— era el Director del Departamento de Instalaciones Nucleares de la CNEN (DIN), en Río de Janeiro. El se comunicaría con el Director del IPEN en San Pablo o el del IRD en Río de Janeiro, dependiendo del lugar en donde ocurriera la emergencia. Cada uno de estos grupos ha designado coordinadores de emergencias (distintos a los del Plan de Emergencia para la central nuclear en Angra), los que enviarían rápidamente a alguna persona suficientemente experimentada a la escena del accidente con un equipo de monitoreo, ya sea para actuar directamente o, en su caso, evaluar qué otros recursos podrían requerirse.

3. DESCRIPCION DEL ACCIDENTE

3.1. LAS INSTALACIONES INVOLUCRADAS EN EL ACCIDENTE

El Instituto Goiano de Radioterapia (IGR) era un instituto privado de radioterapia de propiedad de un consorcio médico. Las instalaciones para el tratamiento de pacientes de la clínica del instituto incluían salas de teleterapia con cesio 137 y cobalto 60. El IGR había seguido el procedimiento normal de licenciamiento descrito en la Sección 2.3; el 17 de junio de 1971, la CNEN aprobó la importación de la fuente de cesio 137. Poco después, el equipo fue instalado, inspeccionado y puesto en operación. Bajo los términos de la licencia de operación otorgada por la CNEN, un físico y un médico (uno de los socios) eran solidariamente responsables de asegurar que se cumplieran las condiciones de la licencia. En particular, se requería que todo cambio significativo en la situación del equipo o de las instalaciones debía ser informado a la CNEN.

Se sabe ahora que, a fines de 1985, el IRG dejó de funcionar en estas instalaciones; un nuevo consorcio se hizo cargo de sus actividades en otras instalaciones nuevas. La unidad de teleterapia de cobalto 60 fue trasladada a estas nuevas instalaciones. La propiedad de los bienes de la clínica del IGR fue litigada y la unidad de teleterapia de cesio 137 fue abandonada en su lugar original. La CNEN no fue notificada adecuadamente de estos cambios, tal como se requería en la licencia de operación del Instituto. La mayor parte de la clínica, junto con algunas propiedades adyacentes, fue demolida. Las salas de tratamiento no fueron demolidas, pero fueron abandonadas en un estado ruinoso y usadas aparentemente por vagabundos. (Véanse las fotografías 1-3.)

Las circunstancias bajo las cuales se abandonó la máquina de teleterapia completa con su fuente de cesio 137 en la antigua clínica, la labilidad de su seguridad y su posterior rotura son aspectos del accidente que no han sido aún esclarecidos totalmente. Más aún, al tiempo de redactarse este informe son objeto de procedimientos legales. Sin embargo, nada puede disimular el hecho de que la responsabilidad profesional y moral de la seguridad de la fuente radiactiva debe recaer en la persona o personas licenciadas como responsables de la misma.

3.2. LA MAQUINA DE TELETERAPIA Y SU FUENTE RADIATIVA

La unidad de teleterapia en cuestión era un modelo Cesapan F-3000, diseñado en la década del 50 por Barazetti y Cía. en Milán, Italia, y comercializado por Generay SpA de Italia. La Fig. 4 muestra un dibujo de una unidad de teleterapia

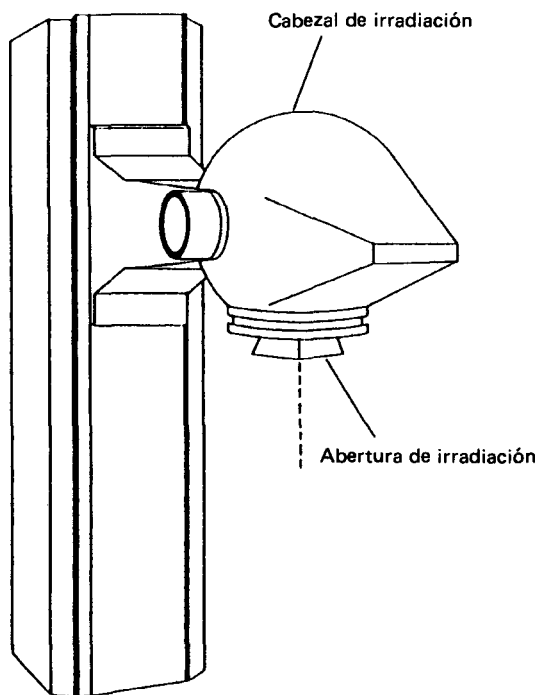


FIG. 4. Esquema de una unidad de teleterapia similar a la unidad de donde se sustrajo el portafuente en Goiânia. El cabezal de irradiación se ajusta verticalmente y puede rotarse sobre dos ejes horizontales.

similar. Para comprender lo sucedido, es necesario diferenciar los componentes más importantes de la unidad de teleterapia.

La *cápsula sellada de la fuente radiactiva* estaba ubicada en un *disco giratorio*, construido con plomo y acero inoxidable, formando el *obturador giratorio* (véase la Fig. 5). Para producir un haz de irradiación, el obturador era activado eléctricamente para alinear la cápsula de la fuente con la *ventana de irradiación*. Luego de una exposición o en el caso de una falla de energía, un dispositivo a resorte hacía regresar la fuente radiactiva a su posición de seguridad o posición "no". Entre el obturador giratorio y su mecanismo eléctrico de comando había un *buje cilíndrico de blindaje*. Estos elementos constituyen, en su conjunto, lo que se denomina el *montaje giratorio*. La unidad estaba diseñada en forma tal que el montaje giratorio podía ser retirado con herramientas especiales del blindaje del *cabezal de irradiación*.

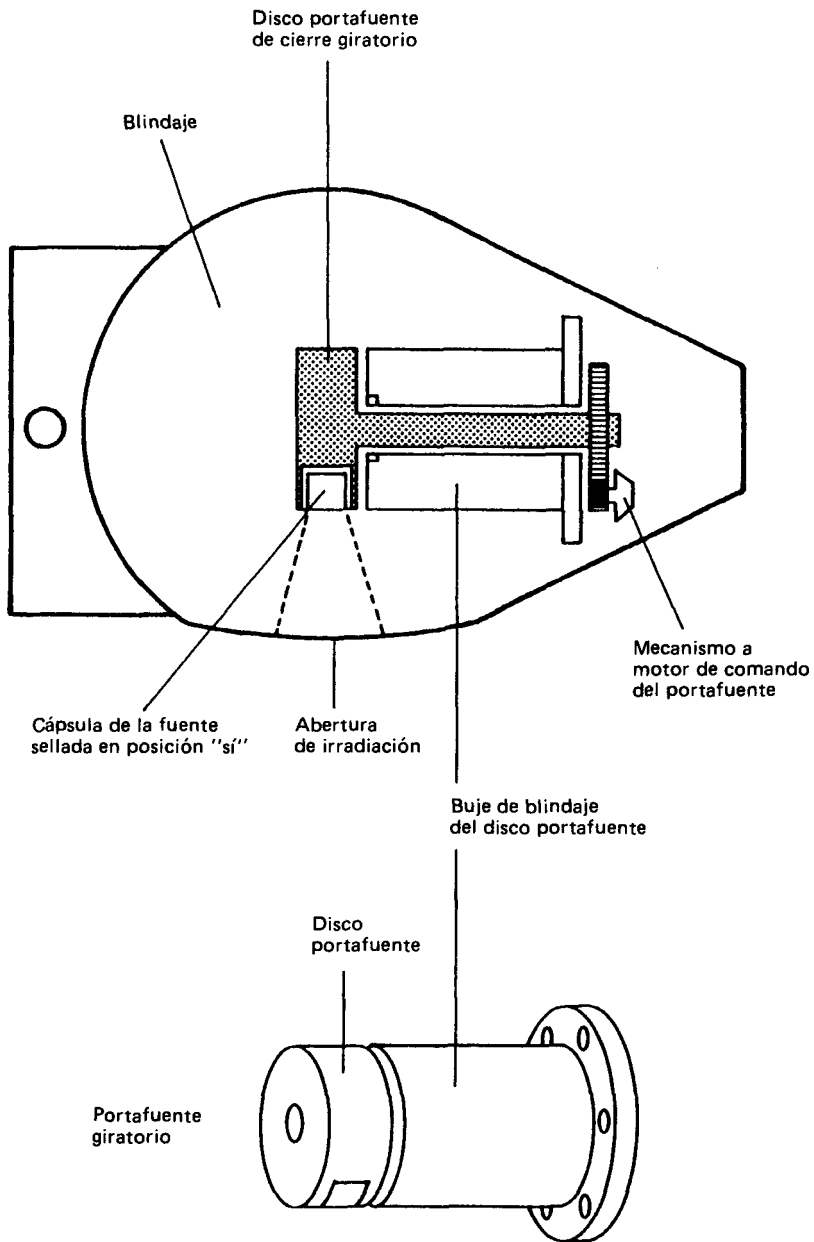


FIG. 5. Diagrama en corte del cabezal de irradiación de una máquina de teleterapia similar a la unidad de donde fuera retirado el portafuente en Goiânia, mostrando el montaje giratorio de la fuente encapsulada.

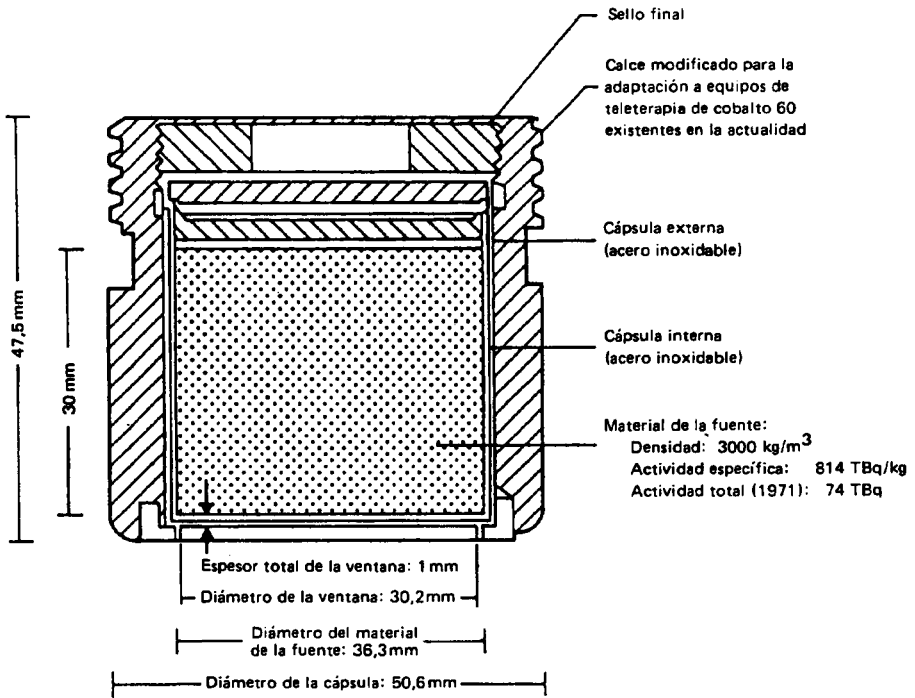


FIG. 6. Diagrama en corte de una cápsula internacional estándar. Una cápsula de este tipo, conteniendo cloruro de cesio radiactivo, fue abierta en el accidente de Goiânia. La fuente se hallaba compactada en una masa homogénea y sellada dentro de dos cápsulas de acero inoxidable.

El número de serie de la fuente radiactiva sellada no se conoce, pero en base a otras informaciones se piensa que la fuente fue producida en las instalaciones del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (ORNL), en los Estados Unidos de América, alrededor de 1970. La fuente radiactiva era cesio 137 en su forma salina —cloruro de cesio—, altamente soluble. El cloruro de cesio había sido compactado para formar una masa homogénea confinada dentro de dos cápsulas de acero inoxidable, tal como se muestra en la Fig. 6. Estas, a su vez, habían sido colocadas dentro de lo que se conoce como una *cápsula internacional standard*, que tiene dimensiones standard, comunes a la mayoría de las unidades de radioterapia. La Fig. 6 muestra un corte transversal de una fuente sellada en una cápsula internacional estándar.

El Cuadro I proporciona datos básicos sobre el cesio 137 y sobre la fuente en cuestión, así como datos relevantes a los fines de la protección radiológica.

CUADRO I. DATOS BASICOS SOBRE EL CESIO 137

Datos básicos sobre el cesio 137

Emisiones gamma		0,66 MeV (84%)
Emisiones beta	Energías máximas	0,51 MeV (95%)
		1,17 MeV (5%)
	Energía media	0,187 MeV
Período		30 años
Constante específica gamma	$8,9 \times 10^{-2} \text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ a 1 m por GBq ($0,33 \text{ rad} \cdot \text{h}^{-1}$ a 1 m por Ci)	

Datos sobre la fuente de cesio de la clínica del IGR (septiembre de 1987)

Actividad	50,9 TBq (1375 Ci)
Tasa de dosis a 1 m	$4,56 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ($456 \text{ rad} \cdot \text{h}^{-1}$)

Material radiactivo

Volumen	$3,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
Masa	0,093 kg
Actividad específica	$0,55 \text{ TBq} \cdot \text{g}^{-1}$ ($15,1 \text{ Ci} \cdot \text{g}^{-1}$)

Datos de interés para la protección radiológica

Tasa de dosis a 1 m de la capa del suelo uniformemente contaminada	$1,6 \times 10^{-12} \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2})^{-1}$
Dosis por unidad de actividad incorporada (ingestión)	$1,2 \times 10^{-8} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$
Dosis por unidad de actividad incorporada (inhalación)	$8,7 \times 10^{-9} \text{ Sv} \cdot \text{Bq}^{-1}$
Límite anual de incorporación (oral)	$4,0 \times 10^6 \text{ Bq}$
Límite anual de incorporación (inhalación)	$6,0 \times 10^6 \text{ Bq}$
Concentración derivada en aire	$2,0 \times 10^3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$

CUADRO II. CRONOLOGIA DEL ACCIDENTE DE GOIANIA

10-13 sept. 1987 R.A. había escuchado rumores de que un equipo valioso había sido abandonado en la clínica del IGR (ubicación A), que estaba fuera de servicio. R.A. y un amigo, W.P., fueron al lugar donde se encontraba la clínica en cuestión y trataron de dismantelar la unidad de teleterapia con herramientas simples. R.A. y W.P. finalmente lograron retirar el montaje giratorio. La pieza de acero inoxidable brillante les pareció de valor y la llevaron en una carretilla empujada por ellos a la casa de R.A. (ubicación B), distante medio kilómetro de la clínica.

Dado que no se halló contaminación en la clínica, se supone que el portafuente se hallaba intacto en esta etapa. Sin embargo, desde el momento en que R.A. y W.P. retiraron el montaje giratorio, habrían estado potencialmente expuestos al haz directo de radiación, como si hubieran posicionado la fuente en la posición de irradiación "si", mientras estaba todavía en el cabezal de irradiación. Esto habría producido una tasa de dosis de $4,6 \text{ Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ a 1 m.

13 de sept. W.P. y R.A. estuvieron vomitando, pero supusieron que se debía a algún alimento que habían ingerido.

14 de sept. W.P. sufrió diarrea y se sintió mareado; en una de sus manos presentaba un edema.

W.P. sufrió posteriormente una quemadura de mano/muñeca como consecuencia de haber sostenido el montaje giratorio con una mano/muñeca sobre la abertura del haz.

15 de sept. W.P. requirió asistencia médica. Sus síntomas fueron diagnosticados como debidos a alguna clase de reacción alérgica ocasionada por haber ingerido alimentos en mal estado. Por consejo médico permaneció en su domicilio durante una semana, sintiéndose débil y realizando tareas livianas.

18 de sept. El montaje giratorio había sido colocado en el jardín de R.A., al pie de un árbol frutal (mango). Aquí, R.A. trabajó a ratos para retirar el disco portafuente del obturador giratorio. Durante el intento, perforó con un destornillador la ventana de la cápsula de la fuente, de 1 mm de espesor, y sacó algo del material. Pensando que podría ser pólvora intentó encenderlo. El 18 de septiembre logró retirar el disco giratorio.

CUADRO II. CRONOLOGIA (cont.)

El 2 de octubre, cuando se midió la contaminación residual bajo el árbol, se obtuvo una tasa de dosis de 1,1 Gy⁻¹ a 1 m. Toda la casa de R.A. y su terreno se hallaban muy contaminados. La casa tuvo que ser demolida y la capa superior del suelo removida.

- 18 de sept. Las piezas del montaje giratorio fueron vendidas a D.F., quien vivía cerca del depósito de material de rezago que dirigía (depósito de material de rezago I, ubicación C). Las piezas fueron transportadas en una carretilla (por un empleado de D.F.). Esa noche, D.F. se dirigió al garage donde las piezas habían sido depositadas y notó un destello azulado que salía de la cápsula de la fuente. Le pareció bonito y pensó que el polvo podría ser valioso (como una gema) o aun sobrenatural, por lo que llevó la cápsula al interior de la casa. Durante los tres días siguientes, varios vecinos, conocidos y familiares fueron invitados a ver la cápsula como una curiosidad. Durante este período, tanto él como su esposa M.F.1 examinaron el polvo de cerca.

M.F.1 (dosis 5,7 Gy) falleció posteriormente. D.F. (dosis 7,0 Gy) sobrevivió, posiblemente debido a que pasó más tiempo fuera de la casa y, por ende, su exposición fue fraccionada.

- 21 de sept. E.F.1, un amigo de D.F., le visitó y con ayuda de un destornillador quitó de la cápsula algunos fragmentos de la fuente. Estos eran del tamaño de granos de arroz, pero rápidamente se disgregaron en polvo. E.F.1 dió algunos de los fragmentos coloreados a su hermano E.F.2 y se llevó el resto a su casa. D.F. también distribuyó fragmentos entre su familia. Posteriormente, aquella gente se frotó el polvo radiactivo sobre su piel, como si se tratase del polvo brillante utilizado durante el carnaval.

- 21-23 sept. M.F.1 vomitaba y sufría diarrea. Fue examinada en el Hospital San Lucas. Se le diagnosticó lo mismo que a W.P. (una reacción alérgica a algún alimento ingerido) y fue enviada a su casa a descansar. Su madre, M.A.1, fue a cuidarla durante dos días y luego volvió a su casa, algo distante de Goiânia, habiéndose contaminado significativamente.

M.A.1 tuvo una incorporación inicial estimada de 10 MBq (270 μ Ci) y una dosis de 4,3 Gy, estimada sobre la base de análisis citogenéticos. Aunque en una etapa estuvo en estado crítico, sobrevivió.

CUADRO II. CRONOLOGIA (cont.)

22-24 sept. Las piezas del montaje giratorio fueron manipuladas por los empleados de D.F., principalmente I.S. y A.S., para extraer el plomo. En un determinado momento, Z.S. los visitó y se ofreció a volver y cortar las piezas con un soplete de oxiacetileno. Sin embargo, se olvidó de hacerlo.

I.S. y A.S. incurrieron en dosis de 4,5 Gy y 5,3 Gy respectivamente. Ambos fallecieron posteriormente. Es posible que la exposición en ambos casos haya sido aguda mientras trabajaban con los restos del portafuente, de los que se había removido eficazmente el blindaje.

23 de sept. W.P. fue admitido en el Hospital Santa María, donde permaneció hasta el 27 de septiembre, cuando los efectos de la radiación sobre su piel fueron diagnosticados como un síntoma de alguna enfermedad y lo trasladaron al Hospital de Enfermedades Tropicales.

24 de sept. I.F., el hermano de D.F., fue al depósito de material de rezago I, donde le entregaron algunos fragmentos de la fuente. Los llevó a su casa, al lado de otro depósito de material de rezago (depósito de material de rezago II, ubicación D). Fueron colocados sobre la mesa durante una comida. Su hija L.F.2, de 6 años de edad, los manipuló mientras comía; lo mismo hizo —aunque en menor grado— el resto de la familia.

L.F.2 falleció posteriormente, habiéndosele estimado una incorporación de 1,0 GBq (27 mCi) y una dosis de 6,0 Gy.

25 de sept. D.F. vendió el plomo y los restos del portafuente al propietario del depósito de material de rezago III (ubicación E).

26 de sept. K.S., un empleado en el depósito de material de rezago II, regresó con otra persona a la antigua clínica del IGR; retiraron lo que quedaba del equipo, principalmente el blindaje (que pesaba alrededor de 300 kg), y lo trasladaron al depósito de material de rezago II.

28 de sept. Para esta fecha, un número importante de personas estaba enferma. M.F.1 estaba convencida de que el polvo brillante del portafuente estaba causando la enfermedad. Por lo tanto, fue con G.S. —un empleado de D.F.— al depósito de material de rezago III y le hizo poner los restos del montaje giratorio y de la fuente en una bolsa, que llevaron en ómnibus a las instalaciones de la Vigilância Sanitária (ubicación F). Desde la parada del ómnibus hasta allí, G.S. llevó la bolsa

CUADRO II. CRONOLOGIA (cont.)

sobre su hombro. Llegados a la Vigilância Sanitária, la bolsa fue colocada sobre el escritorio del Dr. P.M.; M.F.1 le dijo que “eso estaba matando a su familia”.

G.S. sufrió una grave quemadura por radiación en su hombro y recibió una dosis estimada en todo el cuerpo de 3,0 Gy, con una incorporación estimada de 100 MBq (2,7 mCi).

28 de sept. El Dr. P.M. dejó los restos de la fuente en la bolsa sobre su escritorio por algún tiempo, pero luego se preocupó lo suficiente como para sacarla de allí, llevarla a un patio y ponerla sobre una silla contra la pared exterior de las instalaciones (permaneció allí por un día).

El Dr. P.M. recibió una dosis estimada de 1,3 Gy. Su incorporación fue insignificante (dado que los restos de la fuente estaban en el interior de la bolsa).

M.F.1 y G.S. fueron enviados a un Centro de Salud. Allí, el diagnóstico inicial fue que habían contraído una enfermedad tropical, por lo que fueron enviados al Hospital de Enfermedades Tropicales. Varias otras personas que se habían contaminado en el incidente y presentaban síntomas similares ya habían estado en el Hospital de Enfermedades Tropicales y se les habían hecho diagnósticos similares. Sin embargo, el Dr. R.P. —uno de los doctores del Hospital— comenzó a sospechar que las lesiones cutáneas de los pacientes habían sido causadas por los efectos de la radiación. Por consiguiente, se puso en contacto con el Dr. A.M., quien trabajaba en el Hospital de Enfermedades Tropicales y era además Director del Centro de Información Toxicológica. El Dr. A.M. había sido consultado separadamente por el Dr. P.M., de la Vigilância Sanitária, sobre el paquete sospechoso (la bolsa con los restos de la fuente) que, según él había pensado en un primer momento, contenía piezas de equipos de rayos X. Luego de examinar nuevamente a los pacientes, los doctores R.P. y A.M. consideraron que el asunto requería una investigación adicional. Se pusieron en contacto con el Dr. J.P., del Departamento de Ambiente del Estado de Goiás. El Dr. J.P. propuso que el paquete sospechoso fuese examinado por un físico médico. El conocía a un físico, W.F., quien se hallaba visitando Goiânia en ese momento; sin embargo, le fue imposible contactarse con él hasta la mañana siguiente.

CUADRO II. CRONOLOGIA (cont.)

A partir de entonces, los hechos se precipitaron a medida que comenzaba a apreciarse la gravedad del accidente; por lo tanto, se brinda una cronología aproximada.

- 29 de sept.
08:00 W.F., el licenciado en física médica conocido por el Dr. J.P., que se hallaba casualmente visitando Goiânia en esos momentos, fue contactado por teléfono y se le preguntó si le era posible realizar algunas mediciones alrededor de un paquete sospechoso en la Vigilância Sanitária. W.F. creía saber donde podría pedir prestado un exposímetro, por lo que respondió afirmativamente al pedido. Luego de cierta demora, le fue prestado un centellómetro (un exposímetro con un detector centellador muy sensible a la radiación) del tipo usado normalmente para hacer mediciones geológicas, con un tiempo de respuesta rápido y un rango dinámico de 0,02 a 30 $\mu\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$. Se dirigió entonces a la Vigilância Sanitária; cuando se encontraba aún a cierta distancia de sus instalaciones, activó el monitor. La aguja de medición marcó inmediatamente el máximo de la escala y se mantuvo allí, cualquiera fuera la dirección en que se apuntara el monitor. W.F. supuso que el medidor estaba defectuoso y regresó a las oficinas de NUCLEBRAS para conseguir un remplazo.
- 10:20 W.F. llegó a la Vigilância Sanitária y ratificó el nivel de radiación. Al abandonar las oficinas de NUCLEBRAS, había encendido el monitor de repuesto, comprobando así su buen funcionamiento. Se convenció entonces de que había una fuente de radiación importante en la Vigilância Sanitária. En el interín, el Dr. P.M. se había preocupado lo suficiente como para llamar a la brigada contra incendios. W.F. llegó justo a tiempo para disuadir a los bomberos de su intención inicial de arrojar la fuente a un río.
- 11:00 Seguidamente, W.F. persuadió a los ocupantes de la Vigilância Sanitária de evacuar las instalaciones. La policía y los bomberos vigilaron que ninguna persona volviera a entrar en el edificio.
- 12:00 El Dr. P.M. explicó de dónde provenía la fuente; W.F. y él fueron al depósito de material de rezago I. Allí encontraron que en una amplia zona el monitor de radiación indicaba fuera de escala y había evidencia de contaminación. Esto los convenció de que la contaminación era extensa. Desde el depósito de material de rezago I, hablaron con D.F. y con cierta dificultad lo persuadieron, así como a su familia y a muchos vecinos, de evacuar el área.
-

CUADRO II. CRONOLOGIA (cont.)

- 13:00 W.F. y otras personas fueron a la oficina de la Secretaría de Salud del Estado de Goiás para informar a las autoridades acerca del incidente y su importancia, y para obtener asistencia adicional. Como quizás pueda imaginarse, los funcionarios demostraron incredulidad ante el relato del incidente y la estimación de la escala potencial de la evacuación necesaria. Debieron ser persuadidos de que la situación era lo suficientemente seria como para merecer la atención del Secretario de Salud. W.F. y las demás personas insistieron y eventualmente obtuvieron autorización para entrevistarse con él y ponerlo al tanto de la seriedad de la situación.
- 15:00 El Director del Departamento de Instalaciones Nucleares de la CNEN, en su carácter de coordinador para emergencias nucleares (CEN), fue contactado telefónicamente. Sugirió que se pusieran en contacto con el físico del IGR y solicitaron su colaboración; él podría determinar mejor la naturaleza del incidente y la extensión del área afectada, puesto que poseía una mayor variedad de instrumentos a su disposición. El CEN contactó asimismo al físico y al médico del IGR, licenciados como responsables de las máquinas de teleterapia del Instituto; la fuente fue tentativamente identificada como posiblemente proveniente del IGR.
- 16:00–20:00 Varias acciones fueron realizadas casi al mismo tiempo en Goiânia. En particular:
- a) El Hospital de Enfermedades Tropicales fue informado de que un número de personas se había contaminado y sufrían los efectos de la sobreexposición a la radiación.
 - b) Los distintos elementos de las fuerzas de defensa civil (la policía, los bomberos, ambulancias, hospitales) fueron alertados.
 - c) Los lugares contaminados conocidos, la Vigilância Sanitária y el depósito de material de rezago I, fueron nuevamente monitoreados con los equipos del IGR.
 - d) Los funcionarios de la Secretaría de Salud del Estado de Goiás se reunieron y elaboraron planes para la recepción de personas contaminadas en el Estadio Olímpico de la ciudad (ubicación H). Para ese entonces, la prensa estaba tomando interés en los hechos.
-

CUADRO II. CRONOLOGIA (cont.)

22:00	Z.S. (quien se había ofrecido anteriormente para cortar las piezas del montaje giratorio con un soplete de oxiacetileno) encontró a W.F. y le explicó cómo había sido abierto por la fuerza el portafuente y dónde habían sido llevadas las piezas. Esto permitió al equipo de monitoreo identificar otros lugares contaminados y evacuar más personas contaminadas. Durante la noche del 29-30 de septiembre, 22 personas fueron identificadas en el Estadio como seriamente sobreexpuestas. Fueron alojadas en tiendas de campaña, separadas de las otras personas. Esta segregación se hizo en parte en base a mediciones de contaminación y síntomas clínicos, y en parte teniendo en cuenta los grupos familiares que provenían de los lugares más contaminados. El Dr. A.M. y un colega suyo realizaron una selección inicial; aquéllos con lesiones fueron enviados al Hospital de Enfermedades Tropicales junto con otros pacientes que ya se encontraban allí. Para entonces, el Hospital había sido notificado que los pacientes se hallaban contaminados y debían ser aislados.
-------	--

3.3. CRONOLOGIA DEL ACCIDENTE

Existen diferentes versiones sobre lo que ocurrió para desencadenar el accidente de Goiânia. Estas versiones se desprenden de varias entrevistas mantenidas con distintos individuos. Aunque las versiones son generalmente consistentes, existen algunas inconsistencias menores, principalmente en las descripciones de las partes de la unidad de teleterapia. La secuencia de eventos desarrollada en el Cuadro II, en la que aparecen sólo las iniciales de las personas afectadas, parece ser la descripción más ajustada a la realidad de lo acontecido.

Como puede apreciarse, la descripción contenida en el Cuadro II incluye a un gran número de personas y se extiende a varios lugares del distrito Aeroporto de Goiânia y sus cercanías. Para complementarla y ayudar así al lector a seguir lo acontecido, se han incluido tres gráficos al final del informe (Figs. 7-9: véase la *parte interna de la contratapa*).

La Fig. 7 es un plano de Goiânia que muestra los lugares más contaminados; la Fig. 8 es un diagrama esquemático de la cronología del accidente, adaptado de un dibujo hecho por los investigadores poco después del accidente en un intento de establecer lo sucedido. Finalmente, la Fig. 9 muestra un cuadro de las personas más seriamente contaminadas en el accidente en Goiânia, ordenadas por lugar de exposición y posición dentro de la familia. También se proporcionan estimaciones de las

dosis incurridas (a partir de los datos obtenidos por análisis citogenéticos) e información sobre las personas hospitalizadas y las cuatro personas fallecidas como resultado de la exposición.

Es importante destacar que el interés generado por el resplandor azulado que emanaba de la fuente de cloruro de cesio radiactivo influyó significativamente en el curso del accidente. Asimismo, la alta solubilidad del cloruro de cesio contribuyó a la extensa contaminación de las personas, las viviendas y el medio ambiente. De no ser por estos factores, el accidente podría haberse desarrollado en forma similar al accidente que ocurrió con cobalto 60 en Ciudad Juárez (México; 1983), el que resultó en una pequeña contaminación y no causó víctimas fatales.

A principios de 1988, el fenómeno del destello azulado fue observado por algunos miembros del Laboratorio Nacional de Oak Ridge y del Centro de Asistencia y Entrenamiento para Emergencias Radiológicas del Departamento de Energía de los Estados Unidos (REAC/TS), en Oak Ridge, Estados Unidos de América, durante el desencapsulado de una fuente de cloruro de cesio 37. Este resplandor ha sido relacionado con la fluorescencia o radiación de Cerenkov debida a la absorción de humedad por la fuente. Al momento de la redacción de este informe, se está llevando a cabo en Oak Ridge un estudio adicional para determinar la naturaleza de este resplandor azulado.

4. MEDIDAS INICIALES TOMADAS AL DESCUBRIRSE EL ACCIDENTE

El accidente fue descubierto en la tarde del 28 de septiembre, y su gravedad comenzó a apreciarse en la mañana del día siguiente. Antes de considerar la fase inicial de respuesta, en la que las autoridades locales asumieron el control, vale la pena comentar aquí algunos aspectos específicos de la secuencia de eventos. (Se hacen otros comentarios generales en la Sección IV: Observaciones y Recomendaciones.)

4.1. MEDIDAS INICIALES TOMADAS POR LAS AUTORIDADES DE GOIÂNIA

A continuación, se describen la fase inicial de la respuesta encarada por las autoridades de Goiânia, la notificación y movilización de la CNEN, y las acciones iniciales llevadas a cabo por los directivos de la CNEN y los grupos médicos y físicos a su llegada a Goiânia. Se describe luego cómo se aumentaron los recursos iniciales y cómo se los organizó para implementar la estrategia que normalizara la situación. Esta fase inicial de la respuesta duró desde el martes 29 de septiembre hasta el sábado 3 de octubre.

Las autoridades de Goiânia movilizaron a la policía y a las fuerzas de defensa civil y bomberos; alrededor de las 20:00 del 29 de septiembre, habían designado el Estadio Olímpico como zona de aislamiento de pacientes y de selección de contaminados. Las dos áreas más contaminadas conocidas, la Vigilância Sanitária y el depósito de material de rezago I, fueron nuevamente monitoreadas con el equipo de monitoreo de la nueva clínica del IGR; algunos habitantes en la vecindad de esas áreas fueron evacuados y el ingreso posterior a ellas fue controlado. Aquéllos que posiblemente estaban contaminados fueron identificados y enviados al Estadio.

Durante la noche del 29 al 30 de septiembre se difundieron rumores sobre lo ocurrido. La situación empeoró a la mañana siguiente, cuando la gente se despertó y observó que distintas áreas del distrito habían sido clausuradas sin una explicación coherente. Muchos trataron de dirigirse al Estadio Olímpico para asegurarse de que no estaban contaminados, exigiendo denodados esfuerzos a los limitados recursos de monitoreo existentes entonces. (Véanse las fotografías 4 y 5.)

Aunque no existían planes locales para hacer frente a emergencias radiológicas de esta magnitud, la estrategia improvisada por las autoridades logró controlar eficazmente la situación y prevenir exposiciones severas adicionales. Una vez que

comenzó a llegar el personal de la CNEN, las autoridades locales les brindaron ayuda, proveyéndolos de facilidades, equipamiento y apoyo administrativo, así como de recursos de campaña necesarios para el seguimiento inicial. Las autoridades locales actuaron eficientemente, dejando así a las autoridades de la CNEN en mejor situación para comenzar las tareas de normalización.

4.2. MOVILIZACION INICIAL DE RECURSOS

Las medidas para situaciones de emergencia fueron puestas en funcionamiento a través del Grupo Ejecutivo para el Control de Emergencia (GECE) de la CNEN. Autorizado por el Presidente a cargo, el Director Ejecutivo responsable de la seguridad puso en funcionamiento —tal como estaba previsto— al Grupo de Emergencias del Departamento de Instalaciones Nucleares (GEDIN). El Director del GEDIN fue designado coordinador para Goiânia; por lo tanto, tomó las medidas necesarias para poner en operación el Plan de Emergencia.

El Director del Instituto de Protección Radiológica y Dosimetría (IRD) fue comisionado para la tarea permanente de identificar y movilizar los recursos técnicos y físicos apropiados del IRD para satisfacer los pedidos según las necesidades que se presentaran. El primer paso fue ponerse en contacto con los médicos y físicos esenciales para la tarea. Posteriormente, se requirió personal adicional, así como una gran cantidad de materiales y equipos. En este sentido, resultó útil el sofisticado apoyo administrativo y logístico previsto en el Plan de Emergencia de Angra.

4.3. EQUIPO DE CONDUCCION DE LA CNEN

A las 18:00 del 29 de septiembre, el coordinador para emergencias nucleares (CEN) partió de Río de Janeiro hacia Goiânia, llegando poco después de la medianoche (00:30), el miércoles 30 de septiembre. En el trayecto se unieron a él dos técnicos del IPEN de San Pablo, quienes basándose en la información preliminar obtenida del físico W.F. habían traído equipos de monitoreo adecuados.

El equipo de conducción se dirigió primero a la clínica abandonada del IGR. Al no hallar rastros de una fuente radiactiva ni indicios de contaminación, se dirigieron a la Vigilância Sanitária y posteriormente a los otros lugares involucrados en el accidente. Confirmaron la localización de los restos de la fuente en una bolsa colocada sobre una silla, en el patio de la parte delantera de la Vigilância Sanitária. La Fig. 10 muestra las tasas de dosis ambientales obtenidas en un relevamiento dosimétrico de las instalaciones de la Vigilância Sanitária. En particular, la tasa de dosis a un metro de los restos de la fuente era de $0,4 \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$, lo que indicaba una actividad de alrededor de 4,5 TBq (120 Ci), es decir, menos del diez por ciento de la fuente.

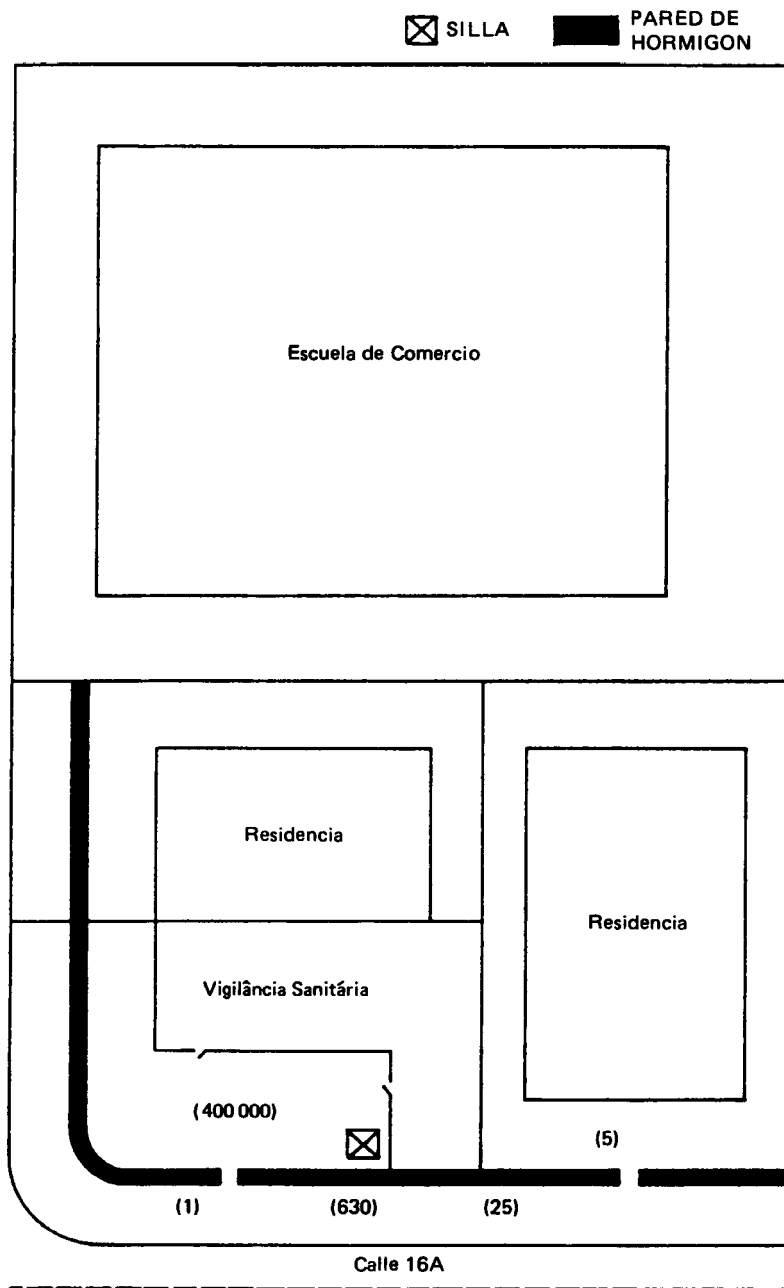


FIG. 10. Tasas de dosis (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) detectadas alrededor de la Vigilância Sanitária (el departamento de salud pública en Goiânia), en la Rua (calle) 16 A.

Durante las horas siguientes de esa noche, el físico W.F., quien había descubierto lo sucedido, mostró al equipo de la CNEN los lugares que había identificado como los focos principales de contaminación. W.F. y las autoridades de Goiânia decidieron evacuar a los residentes de aquellas áreas cuyas tasas de dosis excedieran de $2,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$. Considerando las circunstancias apremiantes, no podía esperarse un criterio de intervención fundado en bases filosóficas elaboradas. Esta primera aproximación se basó simplemente en el límite de dosis profesional recomendado internacionalmente de 50 mSv por año. W.F. estaba al tanto de que el cumplimiento con un límite de dosis profesional de 50 mSv para un trabajador de tiempo completo estaría asegurado si la tasa de dosis en la superficie externa de las barreras físicas que clausuraban las áreas estaba limitada a $25 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$. También sabía que los límites de dosis individuales para el público eran habitualmente diez veces menores que los límites de dosis profesionales, de donde resultó el criterio de un límite de tasa de dosis de $2,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$.

El equipo de conducción de la CNEN decidió no modificar este criterio simple en la fase inicial de la respuesta, habiendo llegado a una conclusión similar a partir de distintas consideraciones. En primer lugar, se tenía la sensación de que no sería deseable, ni políticamente aceptable, permitir que los residentes locales incurrieran en dosis que excedieran los 5 mSv por año. En segundo lugar, el equipo reconoció que el factor de ocupación de una vivienda (que determina esencialmente la duración diaria de la exposición) era mayor que el correspondiente a la exposición profesional. También estimó inicialmente que la limpieza de la contaminación duraría alrededor de tres meses (o sea que la exposición sería incurrida sólo durante un trimestre del año). El equipo opinó que ambas consideraciones se anulaban mutuamente, sustentando el criterio de un límite de tasa de dosis de $2,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$. Luego de la fase inicial, sin embargo, este criterio sencillo para fijar el nivel de intervención de la tasa de dosis fue perfeccionado. (Véase la Sección 7.3.)

Posteriormente, W.F. se trasladó con el equipo de la CNEN al Estadio Olímpico, donde los afectados habían sido ubicados en tiendas de campaña, en un extremo del campo de juego. El personal de la CNEN indicó a todas las personas contaminadas que se ducharan, dado que no se había intentado proceder a su descontaminación por temor a contaminar el agua. Las ropas fueron colocadas en bolsas. Además, los físicos instalaron equipos de monitoreo para controlar a los cientos de personas que habían oído acerca del accidente y aguardaban en el Estadio para ser examinadas.

A las 3:00 del miércoles 30 de septiembre, el CEN presentó un informe a la sede central de la CNEN. Estimó que la situación era crítica e indicó que se precisaría una gran cantidad de recursos.

En la mañana del 30 de septiembre, el CEN concentró su atención en los restos de la fuente encontrados en el patio de la Vigilancia Sanitaria. Se utilizó una pequeña grúa para levantar un caño de hormigón (de los utilizados en las cañerías de desagüe) por encima de la pared del patio, de dos metros de altura, rodeando con él la silla. Luego se bombeó hormigón a través de una manguera, por encima de la pared,

llenando de ese modo el caño de hormigón y cubriendo la silla y la bolsa con los restos de la fuente. Como resultado de esto, la tasa de dosis en el área circundante se redujo significativamente y, dado que la contaminación no representaba un problema importante en este lugar, gran parte del área clausurada pudo ser reabierta. Esta operación se completó en las primeras horas de la tarde.

4.4. EQUIPO MEDICO DE CABECERA DE LA CNEN

El miércoles 30 de septiembre, a las 6:30, llegó por vía aérea un médico de la CNEN-IRD con otros dos físicos del IRD. Una vez en el Estadio, el médico de la CNEN-IRD se encontró con que el médico del Hospital de Enfermedades Tropicales, que había sido el primero en reconocer la posibilidad de que los síntomas de los pacientes que él ya había atendido hubieran sido causados por sobreexposición a la radiación, había permanecido en el Estadio durante la noche y ya había revisado a aquéllos que habían sido remitidos allí. Se identificaron síntomas de sobreexposición en 22 personas más; de estas, 11 ya habían sido enviadas al Hospital de Enfermedades Tropicales.

Dado que las personas transferidas al Hospital de Enfermedades Tropicales se hallaban bajo el cuidado de otros médicos, el médico de la CNEN permaneció con el médico del Hospital de Enfermedades Tropicales en el Estadio, registrando las historias clínicas y llevando a cabo exámenes. Hacia el final del día, los dos médicos habían examinado otras 50 a 70 personas contaminadas. Desde entonces y hasta el 3 de octubre, se realizaron muchas otras acciones médicas (descriptas en la Sección 5).

4.5. AUMENTO DE LA RESPUESTA

El martes 29 de septiembre, a las 17:00, el Director del IRD llamó a su predecesor pidiéndole que se preparara para viajar a Goiânia para intervenir en el accidente radiológico. Llegado allí, el CEN le solicitó que actuara como su representante. En esta etapa había aún confusión sobre el origen de la contaminación, y la información disponible sobre la fuente radiactiva de la clínica del IGR no incluía su forma química. El representante del CEN estaba especialmente preocupado por la dispersión del material radiactivo. Concluyó que no podría haberse diseminado tan fácilmente si se hubiera tratado de cobalto 60 (un metal), por lo que podría tratarse entonces de cesio en su forma salina (cloruro de cesio). Resultó difícil obtener información que confirmara la forma química de la fuente. A las 9:00 del 30 de septiembre, recibió información adicional: la contaminación se debía a cesio y seis o siete personas habían sido admitidas en el Hospital.

El representante del CEN voló a Goiânia junto con dos médicos y personal de apoyo especializado en protección radiológica de Río de Janeiro; llegaron allí a las 16:00. En el Estadio Olímpico se encontraron con una multitud: personas afectadas por el accidente, gente en busca de una confirmación de que no se había contaminado y gente interesada en lo que estaba ocurriendo, incluida la prensa. Los lugares contaminados habían sido clausurados durante la noche del 29-30 de septiembre; esto había alarmado al público, dado que aún no se había informado públicamente sobre el accidente. El grupo concurrió inmediatamente a una reunión donde recibió información del CEN y de las autoridades locales sobre las áreas que se habían contaminado, la evacuación realizada y la atención en el Estadio de las personas contaminadas.

4.6. ORGANIZACION INICIAL

El representante del CEN, basándose en su lectura de un informe sobre el incidente mexicano de 1983, recomendó que un primer paso crucial antes de comenzar la limpieza de la contaminación era efectuar un profundo y bien documentado relevamiento de los niveles de contaminación. Esto fue aceptado y constituyó un paso importante en la formulación de planes para actuar en el accidente. El control de operaciones de la CNEN fue establecido inicialmente debajo del Estadio; permaneció en ese lugar durante más de cuatro días, hasta que OSEGO, el Ministerio de Salud del Estado de Goiás, los proveyó de instalaciones en su sede central.

Durante este período, una violenta tormenta hizo volar las tiendas de campaña en las que se había alojado a las personas afectadas. Esto obstaculizó las operaciones durante un tiempo y representó una muestra del clima adverso en el que debieron llevarse a cabo algunas descontaminaciones.

Al principio, sólo cinco personas intervenían en los aspectos vinculados a la radiofísica sanitaria, incluyendo a W.F. y al físico del IGR. El 30 de septiembre, el CEN solicitó ayuda adicional, asignando tareas a cada persona sobre la base del plan de acción elaborado. El personal fue seleccionado de acuerdo a sus cualificaciones profesionales, incluyendo su capacidad de trabajo bajo presión. El jueves 1 de octubre llegaron quince trabajadores más. Los veinte disponibles en ese momento fueron divididos en tres grupos para control, verificación de área y descontaminación. El último grupo fue dividido luego en cuatro subgrupos, uno para cada una de las principales áreas de contaminación.

Naturalmente, la prensa y el público se hallaban interesados en lo que estaba sucediendo, por lo que el tiempo insumido contestando sus preguntas representó una merma constante en los recursos disponibles para controlar la situación. Analizando retrospectivamente este aspecto, hubiera sido de gran utilidad nombrar desde el comienzo del accidente un vocero oficial, con el apoyo consiguiente, para cumplir la tarea de información pública.

Sólo al tercer día fue posible realizar un registro de los acontecimientos, dado que los trabajadores estaban ocupados en hacer relevamientos y entrenar a otras personas en el monitoreo de la contaminación. A esta altura de las circunstancias, se reconoció la necesidad de contar con una infraestructura administrativa para el plantel técnico. Todo el personal fue alojado en un hotel situado a un par de kilómetros del área contaminada, lo que contribuyó a incrementar la eficacia de la operación. A partir del sábado 3 de octubre, cuando el control de operaciones fue trasladado a las instalaciones de OSEGO, el proceso se tornó progresivamente más organizado a medida que la infraestructura administrativa —incluyendo servicios de secretariado, télex y fotocopiado— se hacía accesible. Se nombró un coordinador de información. Se requirieron informes diarios, orales y escritos de todos los que realizaban trabajos de descontaminación; estos informes formaron la base para la revisión específica de la estrategia general. Retrospectivamente, parece que hubiera resultado de utilidad haber designado oficialmente un encargado de registrar todo lo acontecido.

Para el sábado 3 de octubre se dispuso de más recursos y se había realizado un relevamiento más detallado de los lugares contaminados. El equipo de monitoreo en el Estadio había encontrado 249 personas con contaminación detectable. Aquellas con contaminación externa solamente fueron rápidamente descontaminadas; sin embargo, se detectó también contaminación interna en 129 personas, las que fueron sometidas a tratamiento médico. Los principales lugares contaminados habían sido identificados; aunque los trabajadores se hallaban todavía examinando otros lugares de contaminación posibles, esto marcó efectivamente el final de la fase inicial de controlar y asegurar que ninguna otra persona corría el riesgo de exposición severa.

El miércoles 30 de septiembre se solicitaron mapas, los que se recibieron el viernes 2 de octubre; en ellos se marcaron todos los puntos de mayor contaminación. Los residentes de las áreas donde las tasas de dosis excedían los $2,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ fueron evacuados el sábado 3 de octubre. (Los criterios de acción se discuten en la Sección III.)

4.7. TRATAMIENTO MEDICO INICIAL DE LOS AFECTADOS

La prioridad médica inicial fue el tratamiento de los once pacientes más seriamente afectados que ya habían sido admitidos en el Hospital de Enfermedades Tropicales o en el Hospital Santa María. Estos pacientes fueron transferidos y ocuparon totalmente el tercer piso de un ala del Hospital General de Goiânia, que había sido desocupado con el fin de tener a todos los pacientes en una situación radiológica y biológicamente controlable.

Como era de esperar, ningún integrante del personal médico en este hospital local estaba entrenado y preparado para tratar con pacientes contaminados con sustancias radiactivas. Los pacientes fueron dejados entonces sin atención médica

hasta el arribo de los dos médicos especialistas. La situación sufrió una complicación adicional debido a una huelga de trabajadores vigente en aquel momento. Los médicos y el plantel de protección radiológica de apoyo recibieron equipamiento para monitoreo y vestimenta de protección standard (gorros, guantes y mamelucos). Establecieron un área de control de la contaminación, de acuerdo a los lineamientos del Informe N° 65 de la USNCRP¹. Los médicos comenzaron a hacer exámenes físicos y de laboratorio, tomando muestras de sangre y tratando los síntomas.

A las 18:30 del miércoles 30 de septiembre, se unió al equipo médico un médico de la FURNAS de Río de Janeiro. La clasificación médica llevó doce horas. Los médicos decidieron transferir seis de los once pacientes a instalaciones especializadas del Hospital Naval Marcilio Dias, en Río de Janeiro. La selección de éstos se basó en la gravedad relativa de los síntomas y en la necesidad de contar con un mejor equipamiento para su tratamiento. El médico de la FURNAS y los seis pacientes fueron recogidos en Goiânia el jueves 1° de octubre a las 09:00, transportados por vía aérea a Río de Janeiro y recibidos en el Hospital Naval Marcilio Dias a las 12:30. El 3 de octubre, cuatro pacientes más fueron transferidos al Hospital.

4.8. TRANSICION HACIA UNA FASE DE CONTROL A PLAZO MAS LARGO

Alrededor del 3 de octubre, la situación había sido controlada. El principal interés de los equipos de intervención, entonces, se centró en el tratamiento posterior de los afectados y en el mejoramiento de las condiciones de los lugares contaminados. Superada la urgencia inicial, se condujeron con mayor cautela. Los planes fueron elaborados a plazo más largo. Se realizaron los relevamientos adicionales necesarios y se analizaron las necesidades de recursos. Se escribieron procedimientos para el control de accesos, para el control de la calidad del equipamiento y para la selección de pacientes para realizar ensayos citogenéticos y otros análisis de sangre; asimismo, se establecieron especificaciones para los recipientes de desechos radiactivos. Estas y otras acciones subsiguientes pueden considerarse en términos de acciones relativas a las personas afectadas y acciones relativas a la limpieza del medio ambiente. Estas dos clases de acciones se describen en las Secciones II y III, respectivamente.

La descripción de cada una de las principales líneas de acción —médica, relevamientos y descontaminación, dosimetría, gestión de desechos y la respuesta del público— se presenta en distintas secciones del informe separadas entre sí. Estas secciones están considerablemente detalladas, de forma que los especialistas dispongan de la información necesaria para extraer lecciones del accidente de Goiânia.

¹ UNITED STATES NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides, Rep. No. 65, USNCRP, Bethesda, MD (1980).

Sección II

LAS CONSECUENCIAS HUMANAS Y LA FORMA DE OCUPARSE DE LAS PERSONAS AFECTADAS

5. RESPUESTA MEDICA

6. DOSIMETRIA

5. RESPUESTA MEDICA

5.1. INTRODUCCION

El accidente radiológico de Goiânia tuvo serias consecuencias médicas y causó cuatro víctimas fatales. Sin embargo, no fue distinto a varios otros accidentes previos en los que hubo víctimas entre el público. Presenta similitudes notables con accidentes tales como los ocurridos en Ciudad de México (1962), Argelia (1978), Marruecos (1983) y Ciudad Juárez (México; 1983); en particular, en lo que se refiere a la incidencia de una irradiación significativa de todo el cuerpo y el consiguiente síndrome agudo de radiación, junto con graves quemaduras locales causadas por la radiación en algunos individuos. El accidente en Ciudad Juárez causó la contaminación externa de varios individuos con cobalto 60; sin embargo, los niveles fueron bajos y no se incurrió en contaminación interna significativa.

Una característica notable del accidente de Goiânia fue la severa contaminación externa e interna con cesio 137, que complicó el cuidado de los pacientes y motivó el uso extensivo de ferrocianuro $-\text{[Fe(CN)}_6\text{]}^{4-}$ (como Azul de Prusia o Radiogardase^R), por primera vez en la historia de los accidentes radiológicos. El accidente es único en el hecho de que las víctimas incurrieron inicialmente en exposiciones agudas externas de todo el cuerpo, seguidas de exposiciones crónicas de todo el cuerpo a bajas tasas de dosis, debidas al cesio 137 depositado internamente. Estas exposiciones variaron según el tiempo que los individuos estuvieron cerca de la fuente y la cantidad de cesio 137 depositado internamente.

Los aspectos radiológicos del accidente se complicaron además por el conocimiento incompleto de la naturaleza de las exposiciones recibidas y la falta de información sobre en qué momento comenzaron a recibirse. Algunas exposiciones externas fueron indudablemente fraccionadas como resultado de los hábitos de trabajo y personales. Además, las personas más severamente sobreexpuestas sufrieron daños locales agudos en la piel —causados por la radiación beta— y en los tejidos más profundos —causados por la radiación gamma penetrante. Esta variación en la naturaleza de las exposiciones (y la incertidumbre consecuente) complicó la interpretación de las estimaciones citogenéticas de dosis basadas en curvas de dosis-respuesta derivadas de tasas altas de dosis.

Tras el descubrimiento del accidente el 28 de septiembre y su confirmación por relevamiento radiológico el 29 de septiembre (gracias a la labor desempeñada por el físico médico W.F. y el personal de Salud Pública del Estado de Goiás), se pusieron en operación los preparativos de emergencia de la CNEN. En la mañana del 30 de septiembre, un médico, un dosimetrista y un técnico en protección radiológica fueron enviados desde Río de Janeiro a Goiânia. Cuando este grupo llegó, los

cuatro focos principales de contaminación en la ciudad habían sido controlados, los residentes habían sido evacuados de las zonas vecinas a los lugares contaminados y se había establecido un área intermedia para el control radiológico y la clasificación médica de las personas en el Estadio Olímpico de Goiânia. Veintidos personas afectadas habían sido reunidas en el Estadio cuando llegó el equipo médico. Estas 22 personas habitaban las viviendas cercanas al jardín donde se había roto la fuente o eran familiares o empleados de los propietarios de los dos depósitos de material de rezago a los que habían sido trasladadas las piezas de la unidad de teleterapia de cesio 137.

Al llegar al Estadio Olímpico, el equipo médico se enteró de que 11 personas contaminadas ya habían sido admitidas en el Hospital de Enfermedades Tropicales y en el Hospital Santa María de Goiânia, de acuerdo a las instrucciones de las autoridades locales de salud. Estas 11 personas habían sido hospitalizadas el 28 de septiembre; se pensó entonces que sufrían de intoxicación por alimentos, dermatitis de contacto o pénfigo, una enfermedad de cierta importancia en la región central de Brasil. Posteriormente, se supo que la mayoría de ellas había sufrido náuseas, vómitos, diarrea, mareos y fatiga. Debido a la radiación, diez de esas personas sufrieron daños de distinto grado en la piel de las manos, pies, piernas u otras áreas circunscriptas del cuerpo. (Véanse los fotografías 25, 26, 28-31.)

5.2. FASE INICIAL DE LA RESPUESTA MEDICA

A su llegada al Estadio Olímpico, donde se había establecido el área intermedia de recepción de personas afectadas, el equipo médico de intervención fue informado de la situación por las autoridades locales. Las 22 personas reunidas en el Estadio fueron monitoreadas radiológicamente, encontrándose que todas ellas se hallaban contaminadas externamente con cesio 137. Se quitaron las ropas contaminadas y se descontaminaron bañándose repetidas veces con agua y jabón. Este método demostró ser efectivo en un 50-80%, tal como fuera constatado mediante el uso de monitores de mano. Después de la descontaminación, se mantuvieron distintas reuniones para determinar si las historias clínicas eran compatibles con los signos y síntomas del síndrome agudo de radiación. Hacia las 18:00 del 30 de septiembre, se habían registrado las historias clínicas de las 22 personas y realizado los exámenes médicos de rutina. Para ese entonces, se enviaron desde Río de Janeiro dos médicos más y personal de apoyo en física radiosanitaria. Ambos médicos habían recibido entrenamiento en el tratamiento de lesiones causadas por radiación. Uno de ellos había completado tres meses de estudios intensivos (como becario del OIEA) en el manejo de accidentes radiológicos, varios meses antes del accidente de Goiânia.

El equipo médico consideró que la tarea más urgente era tratar a los 11 pacientes ya hospitalizados en el Hospital de Enfermedades Tropicales y en el Hospital Santa María. Esta decisión se basó en la información sobre el estado de los pacientes

suministrada por el personal médico de los hospitales. En la noche del 30 de septiembre, los 11 pacientes fueron transferidos desde el Hospital de Enfermedades Tropicales y el Hospital Santa María a un área apropiada del Hospital General de Goiânia.

Cuando el equipo médico (tres médicos y personal de apoyo técnico) llegó al Hospital General de Goiânia, estableció un control de contaminación y exposición sobre la base de un relevamiento radiológico realizado. Asimismo, implementó un plan de acción en base a las recomendaciones del Informe N° 65 del USNCRP¹ y a los conocimientos adquiridos en el entrenamiento sobre el manejo de accidentes radiológicos. Los pacientes fueron examinados y sus historias clínicas registradas. Todos ellos fueron considerados como víctimas del síndrome agudo de radiación o de lesiones en la piel inducidas en mayor o menor grado por la radiación, y de contaminaciones externas e internas debidas al cesio 137. Los relevamientos radiológicos sobre las lesiones en la piel arrojaron tasas de dosis de hasta $15 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$; el control de una niña de 6 años mostró una tasa de dosis promedio de $3 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ en contacto con la piel.

Se obtuvieron muestras de sangre, orina y heces de cada uno de los pacientes. La contaminación interna con cesio 137 se confirmó por conteo de la actividad total de las muestras de orina y heces. La descontaminación de la piel de los pacientes se realizó mediante una limpieza con agua y un jabón especial (más suave), ácido acético y dióxido de titanio. Los resultados de esta descontaminación fueron parcialmente exitosos, dado que la sudoración produjo la recontaminación de la piel debido al cesio 137 depositado internamente.

En las primeras horas del 1° de octubre, se decidió trasladar (en un avión militar) a seis de los 11 pacientes al centro de cuidados para enfermedades de alta complejidad del Hospital Naval Marcilio Dias, en Río de Janeiro. Los criterios clínicos utilizados para tomar esta decisión fueron los datos registrados en la historia clínica, los signos y síntomas prodromales, el tiempo transcurrido hasta el comienzo de los vómitos y el número de veces que éstos se repitieron, la gravedad de las lesiones en la piel, la caída de cabello o vello (depilación) y las estimaciones aproximadas del contenido corporal de cesio 137 basadas en controles radiológicos. El conteo de la actividad en la sangre no resultaba confiable aún. Los seis pacientes fueron trasladados por avión a Río de Janeiro, acompañados por uno de los médicos del equipo. El 3 de octubre, cuatro pacientes más fueron trasladados a Río de Janeiro debido al agravamiento de su condición médica.

Hacia el 3 de octubre se había apreciado la magnitud plena del accidente y el número de personal de apoyo había aumentado significativamente. El equipamiento

¹ UNITED STATES NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides, Rep. No. 65, USNCRP, Bethesda, MD (1980).

y los recursos para la atención médica básica resultaron adecuados hasta que se manifestó la necesidad de contar con un contador de todo el cuerpo. Se había anticipado que los stocks de Azul de Prusia (Radiogardase^R) en Brasil serían rápidamente agotados; se solicitaron entonces suministros adicionales a la Sociedad para la Investigación sobre la Radiación y el Medio Ambiente (Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung) en Neuherberg, República Federal de Alemania.

En el Hospital General de Goiânia, el personal (básicamente médico) del pabellón especializado fue integrado totalmente el 7 de octubre; en el interín, la prestación de atención médica no se vió comprometida. Algunos integrantes del personal del laboratorio clínico manifestaron cierto temor o preocupación por su salud, pero fueron tranquilizados por los dos médicos a cargo, quienes les proporcionaron seguridades personales y la instrucción básica pertinente. Aunque la comunidad médica de Goiânia se mostró reticente a colaborar, un médico del plantel del Hospital se unió al equipo médico en Goiânia. La capacidad de respuesta médica a la emergencia del Hospital General de Goiânia se completó en la primera semana de noviembre, cuando se instaló un contador de todo el cuerpo especialmente diseñado para medir la alta tasa de dosis de los pacientes (véase la fotografía 32).

En Río de Janeiro, el Hospital Naval Marcilio Dias organizó rápidamente su plantel de respuesta a emergencias radiológicas y puso en operación un área de recepción/tratamiento previamente designada para víctimas de accidentes radiológicos. Había cierto temor a la exposición a la radiación entre los miembros del personal del laboratorio clínico, temor disipado con la debida instrucción al respecto y el establecimiento de un laboratorio especialmente dedicado a estos pacientes en las cercanías del área de tratamiento.

5.3. EL TRATAMIENTO

Los procedimientos terapéuticos seguidos durante la fase crítica de la respuesta a la emergencia incluyeron:

- manejo del período crítico del síndrome agudo de radiación, manifestado por la depresión de la médula ósea;
- tratamiento de daños locales causados por la radiación;
- eliminación corporal de cesio 137;
- apoyo general y psicoterapia.

5.3.1. Tratamiento del síndrome agudo de radiación

Para los pacientes más seriamente irradiados, el tratamiento se dirigió al análisis y manejo de la crisis hematológica asociada con el síndrome agudo de radiación. Los esfuerzos fueron orientados a la determinación —a través de entrevistas con los

pacientes, la confección de hemogramas y la reconstrucción del accidente— del día del inicio de la exposición, la duración de la misma, las estimaciones de dosis por técnicas citogenéticas y la gravedad de la contaminación interna con cesio 137. Estos datos resultaron útiles en la predicción del grado de depresión hematológica y el consiguiente grado de susceptibilidad a las infecciones. Las técnicas citogenéticas indicaron que la dosis de radiación de los pacientes hospitalizados en Río de Janeiro variaban entre 1 Gy y 7 Gy. Estas estimaciones citogenéticas de dosis, aunque complicadas por la irradiación continua debida al cesio 137 depositado internamente, fueron útiles en la prognosis y en la anticipación de problemas en el tratamiento médico asociados con la depresión de la médula ósea. El tratamiento médico se basó, entonces, en la evolución clínica de cada paciente y no predominantemente en la dosimetría citogenética.

Se hicieron cultivos, mediante métodos standard, de muestras de sangre, piel, heridas y orificios corporales para identificar infecciones bacterianas, fúngicas y virósicas. Sobre la base de los resultados de los cultivos y la evolución clínica, los pacientes fueron tratados con agentes sistémicos o locales antibacterianos, anti-fúngicos o antivirales.

El tratamiento médico básico de los pacientes consistió en:

- a) Internación en cuartos con aislamiento del paciente.
- b) Dietas sin verduras crudas o alimentos no cocidos.
- c) Recorte y cepillado de uñas.
- d) Neomicina local en las cavidades nasales.
- e) Esterilización del intestino, si la concentración de neutrófilos era menor que $1,5 \times 10^9 \text{ L}^{-1}$, con trimetoprim/sulfametaxazol y nistatina por vía oral.
- f) Administración sistemática de antibióticos si la fiebre superaba los $38,5^\circ\text{C}$ o hubiera otros signos de infección en un paciente granulocítico (concentración de neutrófilos por debajo de $0,75 \times 10^9 \text{ L}^{-1}$); el régimen empírico de antibióticos consistió de gentamicina, cefalotina y carbenicilina por vía endovenosa, cambiado a cefoperazona, imipenem y/o piperacilina² como resultado de la evolución y/o cultivos; los pacientes con fiebre persistente por más de 48–72 horas recibieron amfotericina B.
- g) Administración de paquetes de glóbulos rojos irradiados (25 Gy) e infusiones de plaquetas para mantener los niveles de hemoglobina por encima de $1,55 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ($0,1 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$) y de plaquetas por encima de $20 \times 10^9 \text{ L}^{-1}$; o cuando se produjeran hemorragias en un paciente con un recuento de plaquetas inferior a $60 \times 10^9 \text{ L}^{-1}$.
- h) Administración de aciclovir, comenzando alrededor de 3 semanas después de la exposición a la radiación, para prevenir la activación del virus herpes.

² Dos pacientes recibieron vancomicina y uno amikacina y cefoxitina.

- i) Administración de antihelmínticos tales como mebendazol y tiabendazol, de acuerdo a los resultados de análisis de excrementos o en forma empírica (eosinofilia).

La evolución clínica y los resultados de laboratorio indicaron que ningún paciente requería un trasplante de médula ósea.

Una práctica no aplicada en accidentes radiológicos previos fue el uso del factor estimulante de colonias de macrófagos y granulocitos (FECMG), el que fue administrado a ocho pacientes hospitalizados en Río de Janeiro. Cuatro pacientes que habían recibido FECMG fallecieron posteriormente, como resultado de sus dosis de radiación (4–6 Gy), con complicaciones hemorrágicas e infección. Los cuatro pacientes que sobrevivieron, tratados con FECMG, tenían las estimaciones de dosis más bajas (2,5–4,4 Gy) entre los miembros del grupo sobreexpuesto. Dos pacientes que incurrieron en dosis altas (6,2 y 7,1 Gy) y presentaron una depresión severa de la médula ósea, pero que no recibieron FECMG, sobrevivieron.

5.3.2. Tratamiento de daños locales causados por la radiación

Se observaron lesiones en la piel inducidas por radiación en diecinueve de los veinte pacientes hospitalizados. Los pacientes presentaron inflamación, eritema, bronceado, descamación seca y ampollas mientras se encontraban en el hospital en Goiânia. Se produjeron lesiones en las manos, pies, piernas, axilas y en numerosas áreas pequeñas sobre el pecho, abdomen, cara, brazos y las zonas anteromedias de las piernas (véanse las fotografías 25, 26, 28–31). Durante la primera semana de octubre de 1987, la mayoría de las lesiones en la piel se abrieron y supuraron. La infección de tales lesiones no constituyó un problema de importancia.

Alrededor del 12 de octubre, las lesiones cutáneas presentaban indicios de resecamiento, eliminación de la piel necrosada y re-epitelización, confirmando el daño superficial ocurrido por radiación beta (véase la fotografía 31). Esta evolución fue seguida unas tres semanas más tarde por lesiones profundas en diez de los veinte pacientes, indicando daño por radiación gamma en tejidos más profundos (véase la fotografía 26).

Todas las lesiones cutáneas se hallaban contaminadas con cesio 137; en las cercanías de algunas lesiones se midieron tasas de dosis de hasta $15 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$. Los niveles de contaminación fueron reducidos significativamente mediante la eliminación del tejido necrosado de la piel y por intentos posteriores de descontaminación. Tanto en Río de Janeiro como en Goiânia, las quemaduras localizadas fueron tratadas mediante aplicaciones de soluciones analgésicas y antisépticas, cremas antibióticas, neomicina, jugo de aloe vera (inhibidor de tromboxane) y alantoina (un agente antiinflamatorio). Para los pacientes hospitalizados en Goiânia, se adoptaron dos técnicas terapéuticas adicionales: inyecciones de factor de activación de antiplaquetas, para disminuir el daño capilar, e inyecciones de vasodilatadores tales como

Trental^R e Iridux^R. La evolución clínica fue aproximadamente la misma en ambos hospitales.

En el Hospital Naval Marcilio Dias, se realizaron exámenes por imágenes de centelleografía del lecho vascular. Estos exámenes resultaron útiles para determinar los límites entre arteriolas normales y dañadas; también ayudaron en el caso en que se requirió una amputación, el 15 de octubre. Dentro de las 48 horas, la evolución clínica del paciente mejoró, sobreviviendo finalmente al síndrome agudo de radiación. Posteriormente, otros cinco pacientes necesitaron intervención quirúrgica: cuatro debridamientos y un injerto de piel.

5.3.3. Aceleración de la eliminación corporal de cesio 137

El accidente en Goiânia causó los mayores niveles de contaminación con cesio 137 que se hayan registrado clínicamente. Se observó contaminación externa en 249 de aproximadamente 112 000 individuos monitoreados en Goiânia. La descontaminación para eliminar el cesio 137 depositado externamente fue exitosa en aquellos individuos que presentaban poca o ninguna contaminación interna. La contaminación interna en otros pacientes condujo a la contaminación repetida de la piel por sudoración. El cesio 137 depositado internamente presentó problemas de manejo muy diferentes desde el punto de vista médico y de la física radiosanitaria. (Los niveles de contaminación interna se discuten posteriormente). La dosis individual más alta debida al cesio 137 depositado internamente se estaba suministrando a una tasa inicial de $0,25 \text{ Gy} \cdot \text{d}^{-1}$.

En el accidente de Goiânia, se administró el Azul de Prusia (Radiogardase^R) a 46 personas. Las dosis de Azul de Prusia variaron entre $1 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ y $10 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$. La cantidad inicial para adultos fue de $3 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, administrada en tres dosis iguales. Para aquellos pacientes que tuvieron incorporaciones cinco veces mayores que el límite anual de incorporación para el cesio 137, la cantidad inicial varió de $4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ a $6 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, administrada en cuatro a seis dosis iguales. La dosis administrada a 13 niños fue inicialmente de $1,0\text{--}1,5 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$.

A partir de los resultados de los análisis radioquímicos, se observó que el incremento de la dosis de Azul de Prusia causaba una mayor actividad en las muestras fecales. Las mediciones directas en todo el cuerpo permitieron observar que un aumento de la dosis de Azul de Prusia facilitaba la eliminación corporal de cesio 137. Aunque no se dispone aún de una curva dosis-respuesta, la Fig. 11 muestra este efecto para un paciente. Realizados estos estudios, se administró a los adultos y adolescentes más seriamente contaminados $10 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, en ocho a diez dosis iguales; a los niños se les administró $3 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ en tres dosis iguales.

Se están llevando a cabo estudios más detallados sobre el efecto de la administración de Azul de Prusia sobre el período biológico del cesio. Asimismo, se están efectuando periódicamente análisis radioquímicos e in vivo sobre pacientes contaminados internamente.

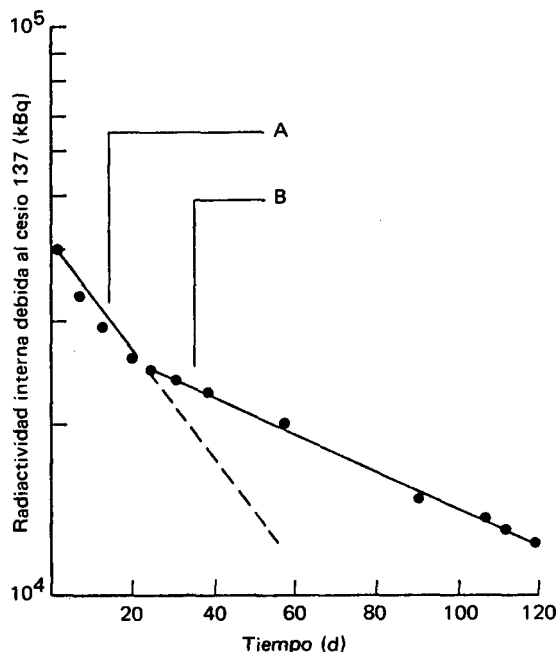


FIG. 11. Efecto de la administración de Azul de Prusia: gráfico de la cantidad de material radiactivo contenida en el cuerpo en función del tiempo. A: administración de 10 g de Azul de Prusia por día; B: luego de suspender la administración de Azul de Prusia.

Puesto que no se encontraron en la literatura especializada datos relacionados con la administración de dosis tan altas de Azul de Prusia, el equipo médico observó en todo momento un cuidado especial para detectar en seguida cualquier efecto secundario. Los niveles séricos de potasio fueron evaluados rutinariamente dos veces a la semana y toda vez que hubo una indicación clínica de hacerlo. No se observaron variaciones significativas en los niveles séricos de potasio. Un efecto colateral aparente fue la constipación en un pequeño número de pacientes; estos pacientes, sin embargo, respondieron bien a los controles en la dieta y a los laxantes.

Se administraron diuréticos a los pacientes que tenían elevadas tasas de contaminación interna y ninguna contraindicación clínica a tal tratamiento. Un total de diecisiete pacientes recibieron diuréticos; seis de ellos también necesitaban diuréticos debido a la hipertensión. Los diuréticos, administrados oralmente, fueron furosemida, en dosis de $40 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$, o hidroclorotiazida, en dosis de $50\text{--}100 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$. Sin embargo, los datos de los análisis de orina demostraron la ineficacia de los diuréticos como agentes de eliminación corporal de cesio 137, por lo que su administración fue suspendida.

A algunos pacientes con niveles altos de contaminación interna y que se hallaban recibiendo Azul de Prusia y diuréticos, se los sobrehidrató diariamente con tres litros de agua enriquecida con potasio.

Los altos niveles de cesio 137 depositado internamente plantearon algunos problemas médicos especiales, dado que todos los fluidos corporales y las excretas debían ser recolectados y conservados para el análisis. Durante los tres meses en que los pacientes estuvieron hospitalizados, debieron adoptarse constantemente medidas estrictas de control de la contaminación y exposición, para que ellos no representaran un riesgo significativo para la salud del personal médico. Las dosis recibidas por el plantel de médicos se mantuvieron por debajo de 5 mSv durante el período de cuidado hospitalario de los pacientes.

5.3.4. Apoyo general y cuidado psicológico

Los cuidados médicos descriptos tuvieron la finalidad de combatir las enfermedades identificadas durante el tratamiento hospitalario, tales como hipertensión arterial, insuficiencia cardíaca y arritmia, o infecciones urinarias. Se dio un especial énfasis a la terapia psicológica de apoyo, no sólo para reducir al mínimo las consecuencias psicológicas del confinamiento prolongado y la tensión sufrida como resultado del accidente en sí mismo, sino también para asegurar el tratamiento psiquiátrico para algunos pacientes tratados previamente por alteraciones psíquicas.

5.4. ESTUDIOS POSTMORTEM: AUTOPSIAS

Los patólogos forenses, con el apoyo del equipo médico y del grupo de apoyo en física radiosanitaria del Hospital Naval Marcilio Dias, efectuaron autopsias en los cuatro pacientes que fallecieron. Se obtuvieron muestras biológicas para efectuar estudios bacteriológicos e histopatológicos.

5.4.1. Caso 1. M.F.1: mujer de 38 años, fallecida el 23 de octubre de 1987

El examen externo mostró: hematomas orbitales; alopecia severa; palidez de mucosas y hemorragias en el cuello, tórax, conjuntivas, brazos, piernas y piel.

El examen interno mostró: hemorragias difusas en todos los órganos, las más severas en los pulmones y en el corazón. La sangre era fluida y oscura. Placas hemorrágicas fueron halladas entre los músculos esqueléticos. Había edema cerebral. Las leptomeninges mostraban focos múltiples de hemorragias. El líquido cerebroespinal era xantocrómico. Zonas múltiples de hemorragias se hallaban presentes en las serosas de los intestinos y del estómago. Estos órganos contenían en su interior grandes cantidades de materia fecal hemorrágica. Habían edemas difusos

y petequias en toda la mucosa gástrica e intestinal. El hígado estaba agrandado y blando.

Impresión macroscópica: diátesis hemorrágica ampliamente diseminada (el síndrome agudo de radiación). Edema cerebral y hemorragias petequiales (posiblemente secundaria a una sepsis toxémica).

5.4.2. Caso 2. L.F.2: niña de 6 años, fallecida el 23 de octubre de 1987

El examen externo mostró: severo edema en la cara, cuello y tercio superior del tórax; palidez de mucosas. Zonas múltiples de alopecia. Múltiples áreas de petequias en la piel, mucosas y conjuntivas. Múltiples áreas de descamación epidérmica seca con áreas de hiperpigmentación. Áreas de ulceración dérmica, especialmente en el abdomen, área periumbilical y piernas. Área extensa de necrosis en la palma de la mano izquierda, afectando también a los dedos. Manchas oscuras sobre las plantas de los pies.

El examen interno mostró: áreas múltiples de hemorragia en placas y puntos a través de toda la musculatura. Los órganos internos se hallaban muy congestionados, con áreas hemorrágicas. Los pulmones y el corazón fueron los órganos más afectados por la hemorragia difusa. El interior del estómago y los intestinos contenía material hemorrágico que involucraba a las mucosas. La pelvis renal estaba hemorrágica. Se encontraron equimosis y petequias también en las serosas y en las leptomeninges cerebral y medular. El líquido espinal era claro.

Impresión macroscópica: diátesis hemorrágica diseminada (secundaria al síndrome agudo de radiación). Neumonía hemorrágica y nefritis hemorrágica, miomalacia del miocardio.

5.4.3. Caso 3. I.S.: hombre de 22 años, fallecido el 27 de octubre de 1987

El examen externo mostró: palidez de mucosas. Hemorragias en las conjuntivas y mucosas, así como petequias en la piel. Múltiples áreas de descamación despigmentadas en la dermis. Focos de necrosis e inflamación localizada. Estas lesiones eran más severas en la superficie interna de los muslos, escroto y pene, y en las regiones glútea e inguinal. Había zonas de descamación epidérmica y necrosis en las palmas de las manos.

El examen interno mostró: equimosis y petequias hemorrágicas de las serosas, más severas en el pericardio. Los pulmones estaban compactos, hemorrágicos y pobremente aireados. Su superficie de corte mostraba áreas amarillentas levemente elevadas. Había adherencias fibrinosas en los espacios interlobulares. El ventrículo derecho del corazón estaba agrandado. Equimosis y petequias hemorrágicas fueron encontradas en el miocardio interventricular y subendocardial. La mucosa gástrica

e intestinal presentaba hemorragias petequiales. Había hiperplasia generalizada de los nódulos linfáticos, así como hiperemia de las leptomeninges.

Impresión macroscópica: bronconeumonía bilateral hemorrágica (secundaria a la irradiación total del cuerpo). Pleuritis fibrosa, hipertrofia ventricular derecha. Hiperplasia de los nódulos linfáticos.

5.4.4. Caso 4. A.S.: hombre de 18 años, fallecido el 28 de octubre de 1987

El examen externo mostró: palidez difusa de mucosas. Severa alopecia generalizada. Areas múltiples de hiperpigmentación en la epidermis con lesiones de descamación, pero sin focos de inflamación. Había una zona de descamación con necrosis en la palma de la mano izquierda.

El examen interno mostró: congestión difusa de todos los órganos. Los pulmones se hallaban agrandados, mostrando áreas hemorrágicas, particularmente en los lóbulos inferiores, donde las superficies de corte tenían pequeñas áreas elevadas. El corazón estaba agrandado, debido principalmente a la dilatación del ventrículo derecho. Se encontraron hemorragias subendocárdicas y petequias subpericardíacas. El estómago y los intestinos mostraban hemorragias petequiales de mucosas. Los músculos esqueléticos contenían varias equimosis hemorrágicas, pero menos severas que las correspondientes a los dos primeros casos. El hígado, bazo, riñones, páncreas y glándulas adrenales presentaban hemorragias petequiales.

Impresión macroscópica: bronconeumonía hemorrágica bilateral. Diátesis hemorrágica sistémica y cardíaca generalizada (secundaria al síndrome agudo de radiación). Hipertrofia ventricular derecha.

6. DOSIMETRIA

Desde el descubrimiento inicial del accidente de Goiânia, resultó evidente que muchos individuos se habían irradiado y que esto había ocurrido por varias combinaciones de haces de irradiación externa, contaminación interna y contaminación de la piel. Se utilizaron varias técnicas dosimétricas para proveer datos para la selección inicial de las personas potencialmente expuestas, el consiguiente tratamiento médico de los pacientes, y para una evaluación científica general del accidente. Las principales técnicas utilizadas fueron las siguientes:

- Dosimetría interna: análisis biológicos y monitoreo directo de todo el cuerpo.
- Análisis citogenéticos: estimación de dosis por análisis de aberraciones cromosómicas.
- Dosimetría externa: estimación de dosis a partir de reconstrucciones y sobre la base de los efectos de la radiación.

Estas técnicas, las instalaciones necesarias, las dificultades encontradas y los resultados obtenidos se describen en las secciones siguientes.

6.1. DOSIMETRIA INTERNA

6.1.1. Métodos

La contaminación interna se produjo a través de tres vías potenciales: por inhalación, por ingestión y a través de heridas. No se consideró a la inhalación como una vía importante, presunción que los datos del monitoreo de aire y otros datos posteriormente confirmaron. El primer paso consistió en identificar a las personas contaminadas internamente; la acción inmediata se concentró en estimar sus incorporaciones por análisis de muestras de orina y materia fecal. Considerando los niveles de actividad predominantes, las muestras tuvieron que ser recogidas muy cuidadosamente para prevenir su contaminación cruzada. Las muestras fueron recogidas en Goiânia y enviadas por avión a Río de Janeiro para ser analizadas. Muchas de las muestras iniciales estaban tan activadas que un monitor portátil de radiación indicó altas lecturas en su escala. Este sencillo recurso de monitoreo se utilizó entonces tanto para seleccionar pacientes en el hospital como para diferenciar las muestras que requerían una manipulación especial. Para los análisis biológicos, se prepararon muestras standard de cesio 137 para orina y heces. Posteriormente se requirió un maniquí con pañales descartables, al encontrarse varios niños de corta edad internamente contaminados con cesio 137.

CUADRO III. VARIACION DE LA DOSIS INTEGRADA DURANTE 70 AÑOS DEBIDA A UNA UNICA INCORPORACION DE UNA UNIDAD DE ACTIVIDAD DE CESIO 137, SIN ADMINISTRACION DE AZUL DE PRUSIA

Biotipo	Porcentaje remanente después de 15 días	Dosis integrada (Gy · Bq ⁻¹)
Recién nacido	66,7	$3,85 \times 10^{-8}$
1 año	44,5	$7,82 \times 10^{-9}$
5 años	54,7	$7,13 \times 10^{-9}$
10 años	61,1	$7,22 \times 10^{-9}$
15 años	74,5	$9,76 \times 10^{-9}$
Hombre adulto	82,1	$9,94 \times 10^{-9}$
Mujer adulta	82,1	$8,22 \times 10^{-9}$

Dado que se habían contaminado individuos de un amplio rango de edades, se consideró necesario utilizar modelos específicos para cada edad para suministrar a los médicos datos pertinentes, tales como la incorporación de cesio, tasas de eliminación y los perfiles de dosis integradas (las dosis recibidas en diferentes períodos). Con este propósito, se utilizó un modelo específico para cada edad basado en informes del Laboratorio Nacional de Oak Ridge³. Posteriormente estos modelos resultaron útiles también para determinar la eficacia del tratamiento de la contaminación interna con Azul de Prusia. Se desarrollaron modelos para recién nacidos, niños de un año de edad, de cinco años, de diez años, de quince años y para adultos. Los modelos específicos para cada edad demostraron ser útiles para la labor de los médicos. El Cuadro III muestra la variación con la edad de la dosis integrada debida a la incorporación de una unidad de actividad de cesio 137.

Cuando se seleccionaron los individuos, fue necesario informar a los médicos sobre la eficacia de los métodos de eliminación corporal de cesio 137, particularmente sobre el efecto de la administración de Azul de Prusia. Normalmente, los isótopos del cesio deberían eliminarse normalmente del cuerpo principalmente por excreción urinaria (80% con la orina y 20% con las heces). El efecto del Azul de Prusia es el de aumentar la tasa de excreción fecal de cesio 137. Diariamente, se recogieron muestras fecales y de orina de los pacientes contaminados y se determinó

³ OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, Estimating Dose Rates to Organs as a Function of Age following Internal Exposure to Radionuclides, ORNL-TM-8265, Oak Ridge, TN (1984); ORNL-TM-8385, Oak Ridge, TN.

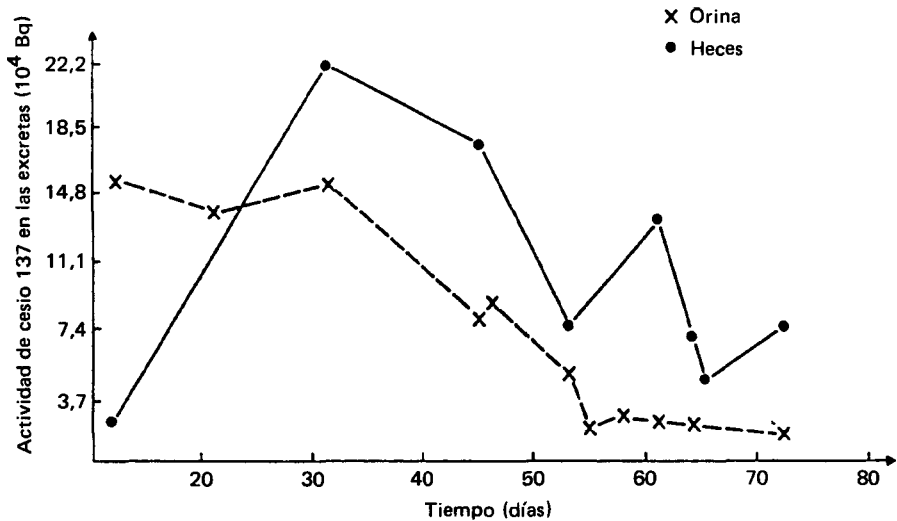


FIG. 12. Un ejemplo típico del efecto de la administración de Azul de Prusia sobre la actividad en las excretas de un paciente.

la relación entre la actividad de cesio 137 en heces y en orina. En la mayoría de los casos, resultó evidente que el efecto del Azul de Prusia era el de incrementar significativamente la tasa de excreción fecal, en un grado tal que ésta se convirtió en el modo predominante de excreción. En algunos casos, la relación original incluso se revirtió, esto es, la relación concentración fecal a concentración urinaria se elevó a 4:1. En general, el efecto fue una función de la dosis de Azul de Prusia administrada y del metabolismo de los pacientes. Al momento de la redacción de este informe, se estudia la relación entre la cantidad de Azul de Prusia administrada a los pacientes y la tasa de eliminación corporal del cesio en heces, así como la influencia sobre tal relación de la cantidad de cesio depositada internamente y de factores metabólicos. La Fig. 12 muestra un gráfico de la tasa de eliminación de cesio con las heces y con la orina.

El paso siguiente fue evaluar cuantitativamente la eficacia del Azul de Prusia en reducir el período biológico del cesio en el cuerpo. Con este fin, se instaló un contador de todo el cuerpo de campaña a principios de noviembre en Goiânia. Aquellas personas que se habían contaminado internamente fueron monitoreadas periódicamente, con una frecuencia que dependía de la incorporación de cesio de cada persona y del tratamiento para la descontaminación. Tres pacientes del Hospital Naval Marcilio Dias, en Río de Janeiro, fueron medidos en el contador de todo el cuerpo del IRD antes de regresar a Goiânia; los resultados guardaban relación con los obtenidos en la instalación improvisada en Goiânia. Los resultados de las mediciones se describen en la Sección 6.1.2.

Después del accidente ocurrido en Goiânia, el laboratorio en Río de Janeiro se dedicó totalmente al mismo. Las instalaciones habían sido originalmente diseñadas para el análisis rutinario de muestras de excretas de bajo nivel de actividad, por lo que la alta actividad de las muestras tomadas de los pacientes después del accidente causó algunas dificultades. Este fue particularmente el caso en las primeras etapas posteriores al accidente, cuando las muestras se enviaban en recipientes no adecuados que podrían haber estado contaminados.

El laboratorio tenía dos entradas, una desde el interior del edificio y otra directamente desde el exterior. Esto demostró ser muy útil, dado que fue posible preparar procedimientos adecuados de protección radiológica para el personal a la entrada ubicada en el interior del edificio, y controles de recorrido y contaminación de las muestras en la puerta exterior.

Un cuarto adyacente, al cual también se accedía directamente desde el exterior, fue convertido en área de almacenamiento para las cajas de muestras radiactivas que llegaban y debían ser analizadas o gestionadas como desechos. El piso del laboratorio fue cubierto con una lámina plástica para facilitar su descontaminación. Durante las primeras cuatro semanas después del accidente, nueve personas fueron asignadas a la realización de las mediciones de laboratorio y dos personas al grupo de evaluación dosimétrica.

Alrededor de un mes después del accidente, las necesidades habían variado: se instaló un contador de todo el cuerpo de campaña en el Hospital General de Goiânia. El contador fue montado en el centro de una sala cuyas medidas eran 4,0 m × 3,5 m, con siete planchas de plomo —de 2 mm de espesor cada una— sobre el piso. Luego de algunos ensayos, se demostró que lo mejor era utilizar un detector de NaI (Tl) (centelleador) con un diámetro de 200 mm y un espesor de 100 mm, colimado por un blindaje de plomo de 50 mm de espesor instalado a unos 2,2 m del suelo. Se colocó una silla de reposo de fibra de vidrio con su centro a unos 2 m debajo del centro del detector.

Se adoptaron tiempos de conteo cortos (p.ej. 2 min) debido a los niveles de actividad de cesio 137, a la necesidad de lograr una afluencia regular de pacientes y a la necesidad de realizar mediciones asociadas a la descontaminación. El límite de detección para un tiempo de conteo de 2 min era de 9,1 kBq (247 nCi) para un nivel de confianza del 95%. Se siguieron los procedimientos normales para el conteo in vivo, tales como el cambio de vestimenta de los pacientes y el registro de sus pesos y alturas.

Este sistema operó hasta el 14 de enero de 1988, cuando la instalación de monitoreo fue trasladada a la Rua (calle) 57, cerca de los focos iniciales del accidente. Para entonces, estos lugares habían sido descontaminados y la CNEN había instalado allí un laboratorio. La sala en la que se instaló el contador de todo el cuerpo fue blindada con láminas de plomo de 2 mm de espesor, colocadas en las paredes, y una protección de plomo de 130 mm de espesor sobre el piso. La parte central del detector fue ubicada 2,2 m por encima del piso y 2 m por encima de la misma silla de

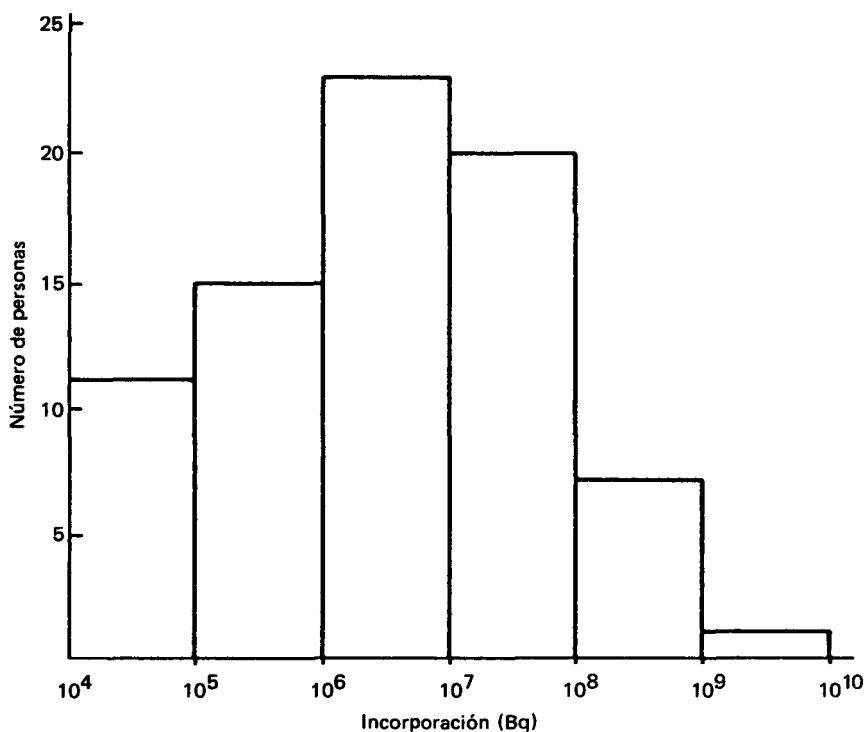


FIG. 13. Histograma de la distribución de frecuencias de la actividad incorporada estimada de las personas contaminadas: número de individuos en función de la actividad en bequerelios.

reposito usada para el conteo (véase la fotografía 32). El límite de detección para un tiempo de conteo de 2 min era de 7,3 kBq (197 nCi).

Hacia abril de 1988, unos 600 individuos habían sido monitoreados en Goiânia en el contador de todo el cuerpo. El monitoreo in vivo requería de dos a tres personas para operar el sistema y computar los resultados en el lugar. Al contador de todo el cuerpo de campaña, instalado en la Rua (calle) 57, se agregó en enero un laboratorio para la medición de los niveles de actividad de cesio 137 en excretas, operado con tres personas más.

6.1.2. Resultados generales

Durante el primer mes después del accidente, toda la información sobre contaminación interna se obtuvo a partir de mediciones de excretas, realizadas en Río de Janeiro. Estas fueron consideradas las mediciones más representativas que podían hacerse en ese momento. A través de las mediciones, fue posible identificar a

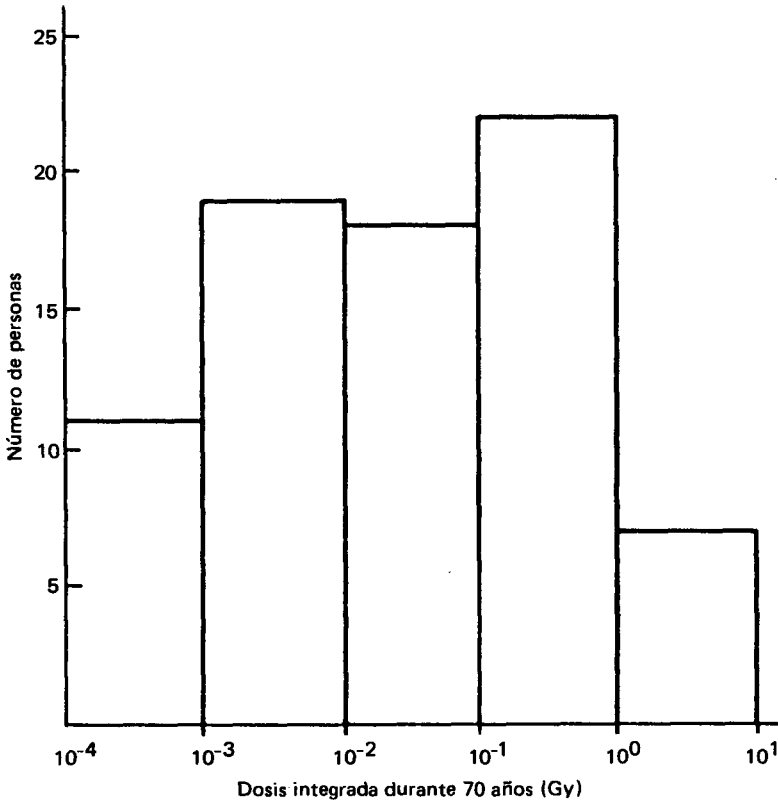


FIG. 14. Histograma de la distribución de frecuencias de las dosis integradas, proyectadas sin aplicación de terapias de descontaminación en personas contaminadas: número de individuos en función de la dosis integrada durante 70 años (en grays).

aquellas personas significativamente contaminadas y a las que no lo estaban; asimismo, fue posible estimar las dosis integradas. Durante el período comprendido entre octubre de 1987 y enero de 1988, se analizaron más de 4000 muestras de orina y heces de un total de 80 personas. La Fig. 13 es un histograma que muestra la distribución de frecuencias de las incorporaciones de cesio 137. Las dosis integradas durante 70 años por contaminación interna en las que se hubiera incurrido si no se hubiesen tomado medidas de descontaminación se presentan en la Fig. 14. La niña de 6 años de edad que falleció el 23 de octubre, L.F.2, había incorporado 1,0 GBq (27 mCi) de cesio 137 —la mayor incorporación registrada— y había incurrido al momento de su muerte en dosis por contaminación interna estimada en alrededor de 4 Gy.

Para evaluar la eficacia del Azul de Prusia en acelerar el proceso de descontaminación, se calculó el contenido teórico del material radiactivo en el cuerpo a partir de los datos de la excreción urinaria y se lo comparó con los datos obtenidos del monitoreo directo de todo el cuerpo. Un test estadístico no mostró diferencias significativas entre la actividad incorporada en el cuerpo, determinada por monitoreo directo, y la estimada en base a los datos de excreción urinaria. Esto indica lo siguiente:

- a) que los niveles cada vez menores de actividad de cesio 137 en orina, derivados de los datos de excreción, reflejaban una disminución real de la actividad incorporada;
- b) que los modelos eran apropiados y estaban validados para este caso; y
- c) que el Azul de Prusia era eficaz en promover la eliminación de cesio 137 del cuerpo, siempre que la dosis administrada fuera suficiente (más de $3 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$).

Al momento de la redacción de este informe, se está llevando a cabo un análisis detallado sobre los efectos de las diferentes dosis administradas de Azul de Prusia sobre el período biológico del cesio 137. Sin embargo, los resultados iniciales, aunque no depurados aún, muestran claramente que la droga aumenta la tasa de eliminación de cesio 137. Esto puede observarse, por ejemplo, en la Fig. 11, que muestra el material radiactivo contenido en el cuerpo en función del tiempo para un adulto que cesó voluntariamente de tomar la droga. Luego de haberse interrumpido la administración de la medicación, el período biológico determinado a partir de mediciones realizadas durante un lapso de 120 días resultó de unos 100 días, que es el valor esperado para el período biológico del cesio 137 en los adultos. Este período biológico fue mayor que el determinado durante la administración del Azul de Prusia. La próxima etapa en el análisis de los resultados será llevar a cabo una determinación plena de la reducción de las dosis comprometidas de los 62 pacientes a los que se les había administrado el Azul de Prusia.

Se concluyó que fueron necesarias varias cosas para afrontar el accidente, a saber:

- a) Personal suficiente, con el entrenamiento y la experiencia necesarias para poder adoptar procedimientos normalizados. A este respecto, el programa de entrenamiento patrocinado por el OIEA resultó particularmente útil;
- b) Un laboratorio para realizar mediciones in vitro, con dos entradas separadas. Demostró ser de gran ayuda para proteger la salud del personal y para minimizar la probabilidad de contaminación cruzada del mismo;
- c) Una instalación para monitoreo personal in vivo, con provisión de repuestos de detectores y accesorios electrónicos que pudieran ser trasladados a Goiânia, para instalar allí la facilidad de monitoreo en forma improvisada; y
- d) Modelos aplicables para diferentes radionucleidos y grupos de edad que vinculen los datos de los análisis biológicos con las incorporaciones, así como el contenido de material radiactivo en el cuerpo y las dosis integradas.

Se están llevando a cabo estudios de seguimiento sobre las personas contaminadas. Estos están dirigidos en principio a determinar las dosis integradas reales en las que incurrieron los pacientes, teniendo en cuenta los efectos de las dosis de Azul de Prusia administradas. Asimismo, como se mencionó anteriormente, se está desarrollando un programa continuo de análisis biológicos y monitoreo directo de todo el cuerpo, el que contribuirá al estudio posterior de los efectos del Azul de Prusia. Sin embargo, un factor que puede dar lugar a confusiones será la variación de la dosis de Azul de Prusia durante el tratamiento de cada paciente. Se están llevando a cabo mediciones in vivo periódicas sobre muestras de sangre, heridas y órganos de veinte pacientes para investigar posibles distribuciones inhomogéneas de cesio y su retención en los tejidos del cuerpo. Al momento de la redacción de este informe, se halla bajo estudio el caso especial de una mujer con un niño recién nacido, para evaluar los mecanismos de retención y transferencia durante la lactancia.

Fueron necesarias pautas de protección radiológica para dar de alta a los pacientes de los hospitales en forma tal que pudieran regresar a sus comunidades en forma segura. Estas pautas se describen en el Anexo II. Puesto que, como se hizo aparente durante su estadía en el hospital, los pacientes no siempre cumplían con lo que se les solicitaba, tal como retener todas sus excretas en botellas, estas pautas fueron delineadas con un criterio conservador.

6.2. DETERMINACION DE LAS DOSIS POR ANALISIS CITOGENETICO

Se recogieron muestras de sangre de todas las personas que, según el equipo médico, habrían incurrido en dosis superiores a 0,1 Gy (110 personas en total); estas muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis citogenéticos de Río de Janeiro —montado en el año 1983— para la determinación de la dosis. Se emplean allí procedimientos y métodos standard tales como los que se describen en el Informe Técnico N° 260 del OIEA⁴. Durante el período de emergencia del accidente, se enviaron suministros adicionales de reactivos químicos esenciales (no disponibles en Brasil) para el cultivo de muestras de sangre desde el Laboratorio de Genética de Radiación y Mutagénesis Química de la Universidad Estatal de Leiden, en los Países Bajos. Otros materiales de rutina se hallaban disponibles en el laboratorio.

Las primeras muestras de sangre se recibieron el 2 de octubre; más de veinticinco muestras de sangre se recibieron para su análisis durante la primera semana. Las primeras muestras analizadas fueron las correspondientes a los diez pacientes más expuestos de los admitidos en el Hospital Naval Marcilio Dias, en Río de Janeiro. Se cultivaron muestras enteras de sangre; luego de 48 h, los linfocitos

⁴ ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Biological Dosimetry: Chromosomal Aberration Analysis for Dose Assessment, Colección de Informes Técnicos N° 260, OIEA, Viena (1986).

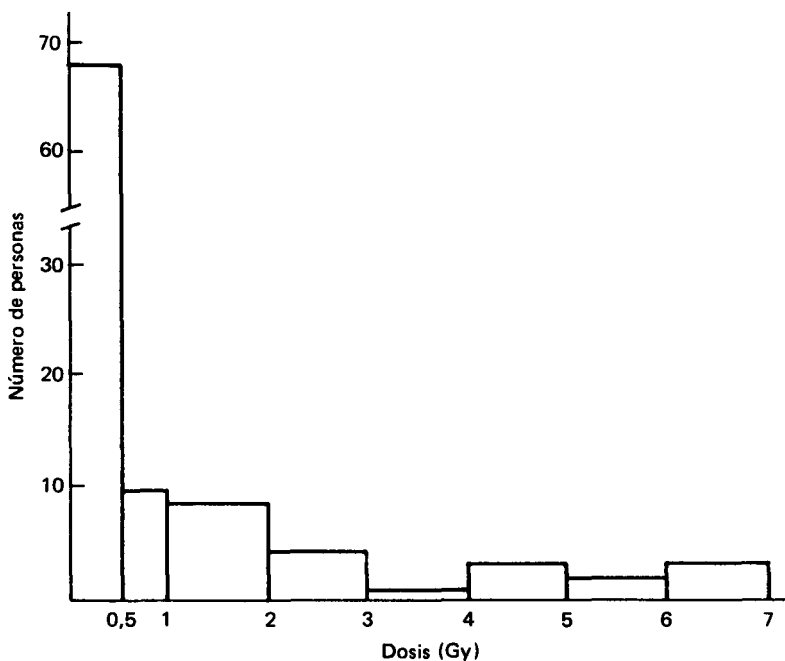


FIG. 15. Histograma de la distribución de frecuencias de las dosis estimadas por análisis citogenéticos en personas contaminadas: número de individuos en función de la dosis (en grays).

fueron separados y procesados para el análisis cromosómico. En esta fase inicial, se analizaron 100 células en cada caso para hacer una evaluación dosimétrica preliminar. Se contaron las aberraciones de tipo cromosómico, tales como dicéntricos, cromosomas anulares céntricos y fragmentos acéntricos. Dado que no se contaba con una curva de calibración para cesio 137, se utilizó para la evaluación dosimétrica una curva de calibración generada para las emisiones gamma del cobalto 60, a una tasa de dosis de $0,12 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$.

Los primeros resultados se obtuvieron tres días después de recibidas las muestras de sangre. Para los individuos más expuestos, un análisis de 100 células resultó suficiente. Sin embargo, para exposiciones menores (como las evidenciadas por la menor frecuencia de aberraciones) fueron analizadas 200 a 300 células. La rápida comunicación de los resultados a los médicos les resultó útil en el tratamiento de los pacientes. La distribución de dosis estimadas por análisis citogenéticos se presenta en la Fig. 15, que muestra que las dosis estimadas excedían 1,0 Gy para 21 personas y 4,0 Gy para ocho personas. Ninguna dosis estimada superó los 7,0 Gy.

En los casos en que la exposición de todo el cuerpo había sido uniforme, la incidencia de aberraciones entre los linfocitos siguió una distribución de Poisson. Las desviaciones de la distribución de Poisson (sobredispersión) podrían indicar una exposición no uniforme (parcial) del cuerpo. Un análisis preliminar de los individuos con dosis estimadas de 0,5 Gy o más indicó que más de seis de ellos habían sufrido exposición no uniforme. Las estimaciones de sus dosis en todo el cuerpo fueron 0,5 Gy; 0,6 Gy; 0,7 Gy; 1,3 Gy; 2,7 Gy y 4,5 Gy. Aunque varios de los otros individuos cuyas dosis estimadas fueron altas podrían haber sufrido exposición no uniforme (con diferentes partes del cuerpo recibiendo diferentes dosis), la resolución del análisis de Poisson no es lo suficientemente sensible como para discernirlo.

Se enviaron muestras de sangre a varios países para su análisis citogenético. Las estimaciones de dosis obtenidas a partir de tales análisis fueron menores que las estimadas previamente. Esta discrepancia no fue sorprendente, dado que factores tales como la demora en iniciar los cultivos de linfocitos (p.ej., muerte durante la interfase de células altamente expuestas), diferencias en los criterios de conteo y el uso de curvas de calibración diferentes (agudas o crónicas) pueden influir sobre la estimación de dosis. Se concluye que las técnicas citogenéticas resultaron sumamente útiles para estimar las dosis de radiación incurridas.

Las frecuencias de incidencia de aberraciones en linfocitos, en distintos momentos después del accidente, fueron seguidas para seis individuos expuestos. Se determinaron tres patrones principales, a saber:

- a) en dos casos las frecuencias de incidencia de aberraciones se mantuvieron constantes hasta un mes después del accidente y disminuyeron hasta aproximadamente un 30% de la frecuencia inicial tres meses después;
- b) en otros dos casos se encontró una disminución gradual del orden del 20% cada tres meses; y
- c) *en dos de los casos de mayor contaminación interna se produjeron incrementos de las frecuencias de incidencia de aberraciones (alrededor del 50% y 100%) durante un período de tres meses.*

Los estudios de seguimiento continuarán durante cinco años para evaluar las frecuencias de incidencia de ambas clases de aberraciones, estables (traslocaciones) e inestables (dicéntricos y anillos céntricos), en quince individuos seleccionados.

6.3. DOSIMETRIA EXTERNA

Inmediatamente después de un accidente radiológico, las estimaciones de dosis basadas en las mediciones de tasas de dosis ambientales y en la reconstrucción de la secuencia de los eventos brindan frecuentemente datos útiles para clasificar los pacientes en la fase inicial de la respuesta. Tan pronto como el accidente de Goiânia fue descubierto, quedó claro que efectuar estimaciones dosimétricas para las víctimas

resultaría muy difícil, debido a la compleja mezcla de contaminación interna e irradiación externa, ésta última presentando complicadas geometrías de exposición con factores de tiempo en su mayor parte desconocidos. Sin embargo, se realizaron algunas evaluaciones superficiales con fines de selección, junto con estimaciones de dosis más detalladas para cuatro casos más directos. Estas fueron las estimaciones de dosis para las dos personas (G.S. y M.F.1) que llevaron en ómnibus los restos del portafuente a la Vigilancia Sanitaria, la dosis recibida por el Dr. P.M. en la Vigilancia Sanitaria y la dosis externa recibida por un paciente, E.F., quien transportó un fragmento de la fuente en el bolsillo de su pantalón. Aun estas estimaciones de dosis arrojaban grandes dudas.

Posteriormente, se hicieron intentos adicionales de utilizar los relevamientos documentados de tasas de dosis y de los factores de ocupación, sobre la base de una información más detallada sobre los pacientes. Debido a las dificultades en reconstruir las diversas circunstancias del accidente, estas estimaciones no han sido aún completadas. En forma paralela, se están llevando a cabo varios proyectos relacionados con algunas de las personas expuestas, para los cuales podría ser posible usar técnicas más avanzadas para cuantificar las dosis. Por ejemplo, se está utilizando una técnica de resonancia de spin electrónico con fines de dosimetría sobre huesos y dientes; asimismo, se está aplicando dosimetría termoluminiscente en elementos apropiados que serían indicativos de las dosis en las que incurrieron los individuos.

Sección III

LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE: EVALUACION Y MEDIDAS CORRECTORAS

7. INTRODUCCION Y RELATO DE LAS MEDIDAS ADOPTADAS

8. DETERMINACIONES AMBIENTALES

9. DESCONTAMINACION

10. ELIMINACION DE LOS DESECHOS RADIOACTIVOS

7. INTRODUCCION Y RELATO DE LAS MEDIDAS ADOPTADAS

7.1. INTRODUCCION

En la preparación de planes de acción para emergencias radiológicas y, por cierto, en la descripción de accidentes radiológicos ocurridos, es útil considerar un accidente dividido en fases. En este sentido se ha realizado un esfuerzo significativo para los accidentes potenciales en centrales nucleares⁵.

Los accidentes radiológicos no vinculados a la energía nuclear son generalmente de una escala muchos órdenes de magnitud menor que la correspondiente a los accidentes potenciales en centrales nucleares, y la planificación para afrontarlos, así como la separación en fases, tiende a ser algo menos compleja. Por cierto, para la mayoría de tales accidentes, las acciones a realizar pueden ser, en principio, divididas en dos períodos o fases:

- a) La *fase inicial*, cuando se requieren acciones urgentes
 - i) para identificar fuentes potenciales de irradiación aguda; y
 - ii) para controlar la exposición.
- b) La *fase de recuperación*, cuando ya no se requieren más las acciones urgentes y el objetivo es normalizar la situación.

Sin embargo, a medida que la magnitud y complejidad del accidente aumenten, tenderá a desaparecer la distinción entre las fases y aparecerán subfases que podrían tener diferentes tiempos de duración para los distintos aspectos del accidente.

La Sección 7 ofrece un panorama de la respuesta física al accidente de Goiânia, que cubre el período comprendido entre la fecha de su descubrimiento (el 28 de septiembre de 1987) y marzo de 1988. Algunos aspectos específicos relacionados con los trabajos de respuesta, tales como las evaluaciones ambientales, descontaminación y gestión de desechos, son considerados más detalladamente en las Secciones 8-10. Al final de la Sección 7 se considera el tema de la descripción de las fases que podrían ser apropiadas para analizar el accidente de Goiânia.

⁵ COMISION INTERNACIONAL DE PROTECCION RADIOLOGICA, Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents: Principles for Planning, Publication 40, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1984); ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Principios para el Establecimiento de Niveles de Intervención para la Protección del Público en Caso de Accidente Nuclear o de Emergencia Radiológica, Colección Seguridad N° 72, OIEA, Viena (1986).

7.2. DESCRIPCION GENERAL

Los focos de contaminación principales en el accidente fueron el jardín donde el portafuente fue retirado de su blindaje y la cápsula de la fuente fue rota, y las viviendas de las personas más afectadas. Estas se hallaban principalmente dentro de un área de alrededor de 1 km² en los Distritos Aeroporto, Central y Ferroviarios de Goiânia, aunque hubo algun área levemente contaminada en otras zonas. Se necesitaron alrededor de once semanas de trabajo intenso para relevar y descontaminar los lugares altamente contaminados en este área y tres meses más para resolver los aspectos relacionados con los bajos niveles residuales de contaminación.

En la fase inicial de la respuesta, los objetivos fundamentales habían sido:

- a) identificar los principales lugares de contaminación;
- b) evacuar las viviendas donde los niveles de actividad superaban los niveles de intervención adoptados;
- c) establecer controles radiosanitarios alrededor de estas áreas, evitando el acceso cuando fuera necesario; e
- d) identificar a las personas que hubieran incurrido en dosis significativas o estuvieran contaminadas.

Hacia el sábado 3 de octubre, la mayor parte de estos objetivos había sido lograda, habiéndose identificado siete focos principales de contaminación (véase la Fig. 16). Retrospectivamente, esto pudo ser considerado como el final de la fase inicial urgente de la respuesta, dado que las fuentes mayores de riesgo se hallaban bajo control. Sin embargo, como se verá más adelante, era posible todavía que se encontraran otras áreas menos contaminadas y que hubiera que establecer controles.

La semana del 3 al 10 de octubre podría describirse como un período de retracción y de desarrollo de un programa general para la fase de recuperación. Este programa incluyó la evaluación de los recursos necesarios, en términos de personal, equipamiento y elementos descartables requeridos. Las dificultades en el montaje de todos los elementos necesarios a unos 1000 km de los centros más competentes en materia de protección radiológica fueron considerables. Aquí demostró ser de suma utilidad el Grupo de Apoyo Logístico Administrativo (GALA) del Plan de Emergencia en Angra, particularmente por sus contactos con la Fuerza Aérea Brasileña para la provisión de transporte. Mientras que GALA constituyó la base del apoyo logístico, la experiencia adquirida en el accidente demostró la necesidad de improvisar y de contar con una autoridad operativa disponible para evitar las trabas burocráticas.

Aunque algunas acciones correctoras —tales como cubrir con hormigón los restos de la fuente en el patio de la Vigilância Sanitária— habían sido realizadas durante la fase inicial de la respuesta, se había decidido desde un principio que no se realizarían esfuerzos importantes de descontaminación hasta que se hubieran llevado a cabo relevamientos radiológicos completos y se hubiera preparado un repositorio de desechos radiactivos. Incluso antes de realizar los relevamientos y construir el repositorio se prepararon procedimientos escritos, criterios de acción y

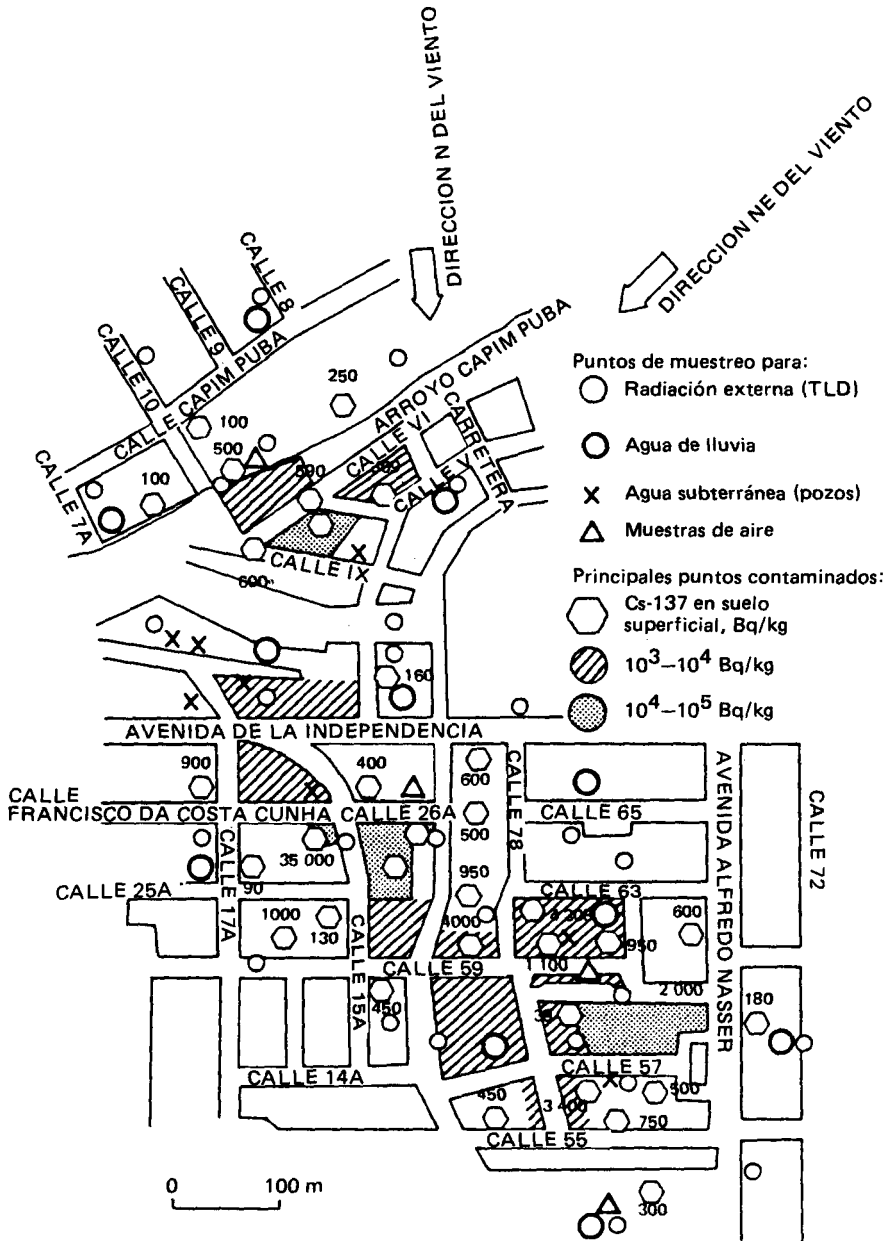


FIG. 16. Plano del Distrito Aeroporto de Goiânia, mostrando la ubicación de los principales lugares de contaminación y los puntos de muestreo.

procedimientos de control de calidad. El programa general de relevamiento radiológico constaba de un cierto número de elementos. En primer lugar, se planteó la necesidad de asegurar que no se había dejado de lado ningún área de contaminación importante. Se utilizaron dos técnicas principales de monitoreo:

- a) El 7 y 8 de octubre se realizó un relevamiento radiológico aéreo de la ciudad usando detectores montados en un helicóptero. Esto fue una adaptación de una técnica de relevamiento geofísico aéreo ya establecida.
- b) Los relevamientos radiológicos iniciales de la red caminera fueron llevados a cabo con los instrumentos utilizados en el helicóptero, instalados ahora en un vehículo automotor. Al mismo tiempo, otro vehículo con un cristal de NaI(Tl) 2 pulg × 2 pulg también relevó radiológicamente distintas zonas de la ciudad en busca de nuevos focos posibles de contaminación. Luego se realizaron mediciones más precisas con detectores montados en la parte trasera de una camioneta. (Veáse la fotografía 6.)

Para complementar estas técnicas, los pacientes hospitalizados y los habitantes de viviendas contaminadas fueron interrogados sobre las visitas que ellos pudieran haber recibido y sobre sus propios movimientos durante el período pertinente. Esto indicó las vías potenciales de contaminación; en efecto, se encontraron otros 42 lugares menos contaminados, tanto dentro como fuera de la ciudad. La importancia del interrogatorio a las personas afectadas no debería ser subestimada, puesto que permite orientar los recursos de monitoreo y hacer un uso más eficaz de los mismos. Fue necesario hacer un monitoreo significativo en forma manual, usando monitores portátiles, para relevar radiológicamente en forma adecuada los lugares públicos, viviendas y objetos tales como los automóviles. Muchos objetos, tales como billetes de banco (dinero), fueron monitoreados fundamentalmente para tranquilizar al público.

Durante la fase inicial de la respuesta, se adoptaron medidas para iniciar un programa de monitoreo para determinar si la contaminación radiactiva era transportada por diversas vías acuáticas, pero especialmente para asegurar que ninguna cantidad significativa de actividad estuviera introduciéndose en los suministros de agua, a pesar de lo poco probable de tal eventualidad. En octubre, la red de muestreo no trabajaba sistemáticamente sino que respondía a las solicitudes de las autoridades locales y a declaraciones de la población en general. Con posterioridad, se planificó y montó una red de muestreo, a fin de evaluar todas las vías de contaminación ambiental (las vías de contaminación del cesio se muestran en la Fig. 17).

Como resultado de estos relevamientos radiológicos y evaluaciones ambientales, fue necesario tomar varias medidas correctoras, tales como la descontaminación química, la remoción de la capa superior del suelo y la recolección de vestimentas contaminadas y alimentos de preparación casera. Desde un principio, se hizo evidente que se generarían grandes volúmenes de desechos radiactivos; alrededor del 3 de octubre, se estaban analizando planes para afrontar esta situación. El armado de

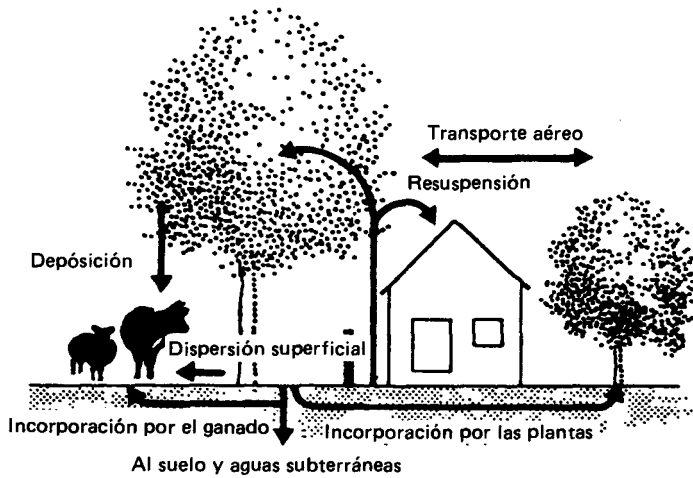


FIG. 17. Vías de contaminación del cesio.

contenedores adecuados sería, evidentemente, una tarea difícil desde el punto de vista logístico. Las especificaciones dependían, en alguna medida, del lugar donde serían depositados, de los medios de transporte y de los requerimientos regulatorios. Como podría esperarse, el incidente provocó una gran repulsa del público hacia todo lo relacionado con la radiación; esto generó entonces una componente política muy importante y una demora en la selección del lugar de almacenamiento de los desechos. Cualquier sitio en Goiânia fue descartado. El 16 de octubre se eligió un lugar a 20 km de la ciudad, pero se estableció que sería solamente un lugar temporal de almacenamiento.

La decisión sobre la ubicación del lugar de almacenamiento de los desechos radiactivos, su planificación y construcción llevó más tiempo del que se había esperado. Sólo a mediados de noviembre fue posible iniciar los trabajos de descontaminación más importantes. En el interín, las actividades estaban generalmente limitadas a la preparación y a prevenir el deterioro de la situación. La preparación incluía:

- el diseño y construcción de contenedores para los desechos;
- el montaje de la maquinaria pesada —por ejemplo, excavadoras y topadoras—, necesaria para la descontaminación más importante;
- la actualización de los procedimientos operacionales escritos;
- el ensayo de distintas técnicas de descontaminación; y
- la elaboración de un cronograma de trabajo.

En realidad se efectuó algún tipo de descontaminación, pero fue principalmente fuera de los focos principales de contaminación y estaba concentrada en el interior de las viviendas evacuadas.

La falta de un repositorio de desechos radiactivos y una acumulación de problemas políticos y logísticos ocasionó cierta pérdida de dinamismo. El programa cobró ímpetu nuevamente como consecuencia de los hechos siguientes:

- a) el Presidente de la CNEN decidió hacerse cargo personalmente de la conducción de la respuesta en Goiânia, reduciendo así el número de pasos en los procesos de toma de decisiones de las autoridades locales y federales;
- b) el Presidente de la República visitó Goiânia; y
- c) se fijó una fecha tope, el 21 de diciembre, para descontaminar las áreas principales, permitiendo a los residentes evacuados y a la fuerza de trabajo el retorno a sus hogares para la Navidad.

La fuerza de trabajo ocupada entonces en la respuesta al accidente de Goiânia comprendía unos 250 miembros, entre profesionales y técnicos, y otros 300 miembros de apoyo, transporte, demolición, etc. Hubo también esfuerzos muy importantes en la Sede Central e institutos de la CNEN en Río de Janeiro y San Pablo, brindando diversos servicios analíticos y dosimétricos. La fecha tope del 21 de diciembre fue alcanzada trabajando turnos de 12 h, todos los días, frecuentemente bajo condiciones climáticas adversas.

Esto marcó el fin de lo que podría ser llamada la etapa de contención del trabajo, dado que, en el corto plazo, la contaminación remanente no representaba un riesgo radiológico importante. Antes de esta etapa, cualquier descuido de los sistemas de control o la amenaza cierta de una tormenta de magnitud podía haber dispersado nuevamente la contaminación. De todos modos, hubo que realizar acciones correctoras complementarias para hacer relevamientos radiológicos y, en general, ocuparse de aquellas áreas contaminadas situadas alrededor de los focos principales donde los niveles de actividad de cesio 137 ya no eran tan altos. Durante esta etapa no hubo necesidad de utilizar maquinaria pesada; sólo se realizaron operaciones manuales y procesos químicos. El tiempo ya no era un factor tan crítico, y se desarrollaron y adoptaron procedimientos de optimización. Este trabajo se retomó después de la Navidad y duró hasta marzo de 1988.

Retrospectivamente, parece que el trabajo comprendió tres elementos principales, a saber:

- a) controlar la situación;
- b) delimitar el problema; y
- c) realizar acciones correctoras.

Hubo superposiciones en el tiempo entre estos tres elementos y las dos fases principales del accidente. Por ejemplo, mientras se controlaba la situación dentro de los cinco días de la fase inicial, se tomaron algunas medidas de control en otras áreas menos contaminadas halladas posteriormente. El seguimiento y la retroalimentación son también elementos importantes que se olvidan demasiado fácilmente. En este sentido, es importante destacar que los eventos de un accidente necesitan ser docu-

mentados tan pronto como sea posible, dado que tienden a desdibujarse con el tiempo. Si se quiere utilizar la experiencia de un accidente radiológico para estar mejor preparado en caso de emergencia, entonces debe aprovecharse plenamente cada oportunidad que se presente.

7.3. CRITERIOS PARA REALIZAR ACCIONES

Durante todo el período de respuesta se utilizaron varios criterios de dosis, de los que se derivaron niveles de acción en términos de cantidades medibles. Estos niveles de acción se discuten con mayor profundidad más adelante; aquí se analiza la filosofía básica y los criterios de dosis.

7.3.1. Evacuación

Tanto la CIPR como el OIEA han publicado pautas sobre niveles de intervención para la protección del público en el caso de un accidente nuclear o una emergencia radiológica (véase la Sección 7.1); ambos informes son compatibles. La evacuación es la medida de protección más severa que se adopta en un accidente radiológico, por lo que su aplicación debe decidirse a la luz de las circunstancias específicas imperantes. Sin embargo, los dos informes mencionados indican que la evacuación normalmente no debería considerarse a niveles de dosis por debajo de 50 mSv por año y que, por cierto, debería ser implementada a niveles de dosis por encima de 500 mSv por año.

Tal como se explicó en la Sección 4, la decisión de evacuar viviendas fue tomada por el físico W.F. sobre la base de una tasa de dosis de $2,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$, derivada del límite de dosis profesional, a 1 m de altura en el interior de la casa. Esto estaba ligado fundamentalmente al límite de dosis utilizado en el pasado para el público de 5 mSv por año para exposiciones no accidentales (anticipadas). Bajo las circunstancias del descubrimiento del accidente de Goiânia, y sin forma alguna de poder establecer rápidamente ningún componente de la dosis debida a la contaminación interna, no había que esperar una base filosófica elaborada para la toma de decisiones. Durante los primeros días de la respuesta, el equipo de la CNEN mantuvo el criterio de derivación simple. Aproximadamente una semana después, el criterio para la evacuación se hizo menos estricto, fijándose en un límite de tasa de dosis de $10 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$. Este nuevo valor se basaba todavía en un límite de dosis de 5 mSv por año, pero para llegar a él se consideraron varios factores modificatorios. Estos factores, cuyos rangos de valores posibles (entre 0 y 1) aparecen entre paréntesis, fueron:

- a) un factor de ocupación (0,30 a 0,75);
- b) un factor de distribución geográfica para relacionar la tasa media de dosis con la tasa máxima de dosis (0,1 a 0,2); y

- c) un factor de distribución de tiempo para reflejar la disminución de actividad de cesio 137 debida, por ejemplo, a la limpieza o a factores climáticos (0,1 a 0,4).

En cada caso se usó el valor más conservador (el mayor). Dado que el accidente de Goiânia no fue declarado oficialmente como una emergencia, los procedimientos detallados que se habían desarrollado para un esquema de acciones más elaborado y los criterios basados en niveles más altos de dosis de referencia no fueron implementados en ningún momento. La forma de encarar la situación planteada estuvo fuertemente influenciada por presiones políticas y sociales y por una reluctancia a considerar el accidente como una emergencia comparable de alguna manera con un posible accidente nuclear.

Los responsables de tomar decisiones deben admitir que la adopción de un valor restrictivo para un nivel de dosis de intervención para la evacuación (5 mSv por año) podría acarrear costos económicos y sociales que pueden estar agravados por el uso de factores negativos acumulativos en la derivación de los niveles de acción.

7.3.2. Acciones correctoras

Se realizaron distintas acciones correctoras, tales como la descontaminación de propiedades, la recolección de ropas contaminadas, la remoción de suelo contaminado y la implementación de restricciones en cultivos caseros cercanos a los focos principales de contaminación. El criterio de dosis adoptado fue que la dosis recibida por el grupo crítico en el primer año no debería exceder los 5 mSv. Se derivaron niveles de acción a partir de este criterio; seguidamente, se evaluaron las dosis a largo plazo comparándolas con un criterio de dosis inferior a 1 mSv por año. Se halló que el criterio de 5 mSv era el factor limitante.

Se reconoció que existían varias vías posibles de exposición (véase la Fig. 17), y entonces se fijaron confines superiores de dosis en el primer año para las principales vías de exposición, de la siguiente manera:

- a) en el interior de las viviendas (exposición externa): 1 mSv;
- b) en el exterior de las viviendas (por el suelo contaminado): 4 mSv, repartidos en 3 mSv debidos a irradiación externa y 1 mSv debido a contaminación interna, tal como la causada por la ingestión de frutas y otros productos de huerta contaminados.

Al considerarse que el nivel de acción adoptado para la contaminación superficial daría como resultado una componente despreciable para la exposición interna, el confín superior para la exposición en el interior de las viviendas se aplicó sólo a la exposición externa (mayormente derivada de la contaminación depositada en los techos). Este nivel de acción fue fijado en $37 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$, que era el nivel determi-

nado en las normas básicas de la CNEN para áreas no activas. Para la exposición externa, se asumió un factor de ocupación de 0,5 (12 horas por día), lo que arrojó un nivel de acción para la descontaminación de $0,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ teniendo en cuenta la tasa de dosis debida a la radiación de fondo.

Nuevamente, tanto los criterios de dosis como los modelos para calcular los niveles de acción derivados (véanse las secciones siguientes) fueron elegidos en el contexto de fuertes presiones políticas y sociales. Debería destacarse que los valores elegidos son más aplicables a situaciones normales que a las condiciones imperantes como consecuencia inmediata de un accidente.

En base a los 3 mSv fijados como confín superior de dosis para la exposición externa debida a la contaminación del suelo y a un factor de ocupación de 0,5 (12 horas por día), y asumiendo una fuente plana infinita y una tasa de dosis de $0,2 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ debida a la radiación natural de fondo, se derivó un nivel de acción de $1,0 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$. Este valor corresponde a una contaminación en la superficie de $430 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$, o $22,5 \text{ kBq} \cdot \text{kg}^{-1}$ en los primeros 15 mm de suelo, que es donde se encontró el mayor nivel de actividad. Se fijó un nivel de investigación de $10^4 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$.

En base al nivel de actividad encontrado en la superficie de suelo, se estimó que la dosis equivalente efectiva integrada durante 70 años, debida al uso de jardines en el primer año después del accidente, era de 1 mSv. Esta estimación fue realizada usando datos específicos del lugar y un modelo como el descrito en la Colección Seguridad N° 57 del OIEA⁶. Las vías de contaminación interna que se consideraron (dejando de lado la inhalación de material resuspendido) incluyeron la ingestión de frutas contaminadas, pollo, huevos, cerdo y vegetales de hoja. Finalmente, en relación a los productos contaminados por el depósito inicial de contaminación que se produjo luego del accidente, se fijó un límite derivado de $650 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ —de acuerdo a las normas brasileñas para alimentos— para las frutas y vegetales de hoja.

⁶ ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases: Exposures of Critical Groups, Colección Seguridad N° 57, OIEA, Viena (1982).

8. DETERMINACIONES AMBIENTALES

8.1. DISPERSION DE LA CONTAMINACION

Durante la fase inicial de la respuesta, el equipo de intervención se había formado una idea general de los lugares de contaminación y de la extensión de la misma. Había identificado siete áreas principales de contaminación, que se hallaban en su mayoría en los suburbios urbanos donde eran comunes los pequeños huertos y donde había también algunos gallineros. Todas las casas tienen provisión de agua potable por cañerías y se hallan conectadas a la red cloacal; en algunos lugares hay pozos artesianos, pero sólo son utilizados durante los períodos prolongados de sequía. Las aguas servidas y los desagües pluviales descargan en el arroyo Capim Puba. Este fluye hacia el río Meia Ponte, el que atraviesa Goiânia de noreste a sudoeste (véase la Fig. 18).

De acuerdo a los datos meteorológicos proporcionados por el Ministerio de Agricultura de Brasil, el 21 de septiembre cayeron en Goiânia 25,2 mm de lluvia y el 23 de septiembre 18,4 mm; luego no llovió más hasta el 27-28 de septiembre, cuando cayeron 8,7 mm. Estas lluvias fueron precedidas por vientos y por temperaturas muy altas. Durante los quince días anteriores al descubrimiento del accidente, la temperatura media fue de 26,4°C.

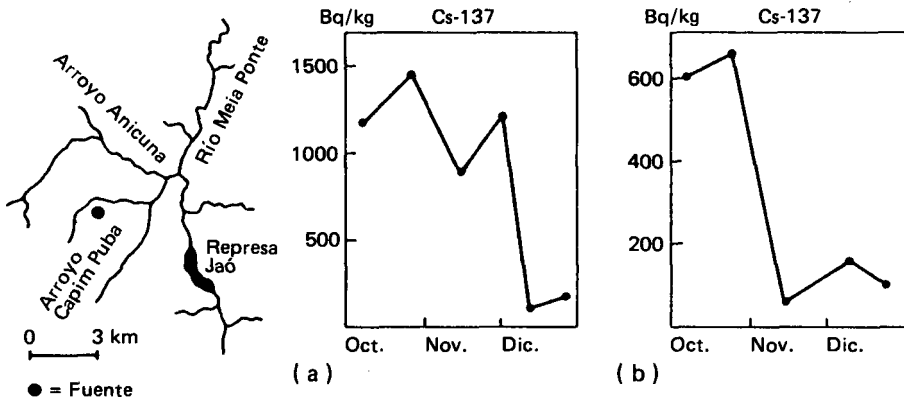


FIG. 18. Plano de los ríos de Goiânia y gráficos de las concentraciones de cesio 137 en muestras de sedimentos de: (a) arroyo Anicuna y (b) represa Jaó.

El cloruro de cesio es muy soluble, y su dispersión desde la cápsula rota de la fuente al ambiente fue incrementada por las lluvias. Se había pensado inicialmente que, debido a las intensas lluvias caídas, la contaminación había sido retenida por infiltración en el suelo arcilloso o arrastrada por las aguas. Sin embargo, no fue así. Las altas temperaturas secaron el suelo y los vientos intensos causaron la resuspensión y dispersión de la contaminación. En realidad, la magnitud del efecto fue sorprendente. Para algunas viviendas, la contaminación depositada en los techos fue el mayor contribuyente a la tasa de dosis en el interior de las mismas, por lo que las tejas del techo tuvieron que ser retiradas.

Además de estos fenómenos naturales, hubo también transporte de material radiactivo debido a las personas que pasaban a través de zonas contaminadas o arrojaban bolsas con residuos contaminados en terrenos baldíos.

8.2. RELEVAMIENTOS RADIOLOGICOS

8.2.1. Relevamiento aéreo

Durante el transcurso de la fase inicial de la respuesta, fue necesario confirmar que todos los focos más importantes de contaminación habían sido detectados. Con este fin, el 7 y 8 de octubre se llevó a cabo con un helicóptero un relevamiento aéreo de Goiânia. Se utilizó un espectrómetro gamma portátil operado por baterías, con detectores de NaI(Tl) y un volumen total de 840 cm³. Luego de efectuar pruebas en tierra, se realizó un vuelo de ensayo en zonas alejadas de las áreas contaminadas para medir el valor local del fondo natural de radiación. Se hicieron también pruebas para comprobar que la turbulencia causada por el funcionamiento de la hélice del helicóptero no resuspendiera y dispersara significativamente el material contaminado. La mayor parte del relevamiento se efectuó volando a una altura de 40 m, y el área de monitoreo efectivo fue equivalente a un círculo de 80 m de radio. La velocidad de vuelo fue de 50 a 70 km·h⁻¹. Durante dos días se monitorearon todas las áreas urbanas de Goiânia (alrededor de 67 km²). Esto confirmó que no se habían dejado de lado lugares de contaminación importantes, y se encontró un foco puntual de contaminación con una tasa de dosis a 1 m de 21 mSv·h⁻¹. (La Fig. 19 muestra un espectro típico registrado sobre áreas contaminadas.)

8.2.2. Relevamiento por automotor

Todavía era posible que áreas de menor contaminación hubieran pasado inadvertidas durante el relevamiento aéreo, especialmente en las cercanías de los sitios altamente contaminados que daban lugar a lecturas de fondo elevadas. Fue necesario, entonces, implementar un sistema complementario de monitoreo mediante el cual se pudieran relevar áreas extensas y que no fuera tan laborioso como el monitoreo con

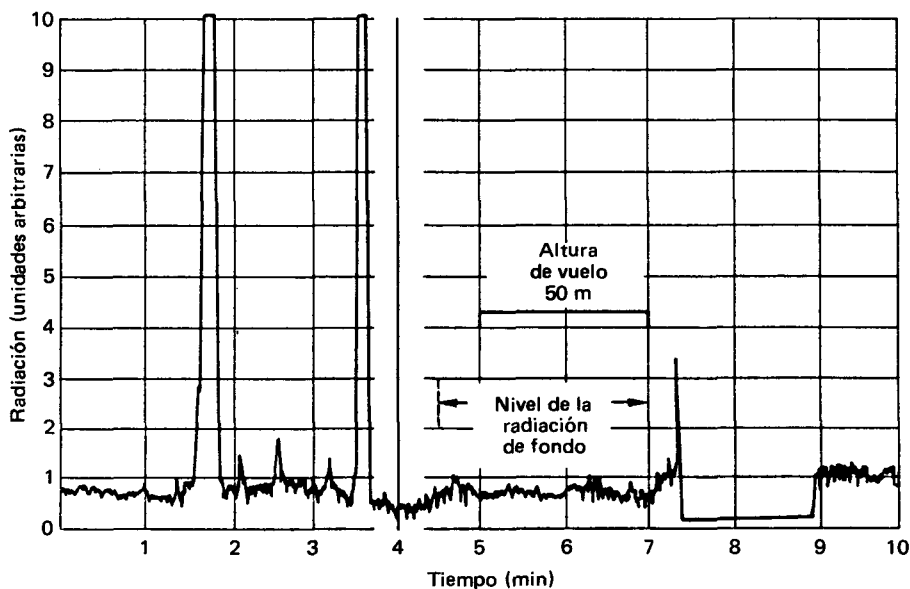


FIG. 19. Registro de un relevamiento aéreo de radiación. La lectura de fondo fue tomada a 50 m de altura sobre terreno abierto alejado del área contaminada de Goiânia. Los picos representan irregularidades radiométricas sobre áreas contaminadas.

instrumentos manuales. Este requisito fue inicialmente cumplido montando en un automóvil los detectores utilizados en el helicóptero y relevando las áreas adyacentes a los focos principales de contaminación y varias otras zonas de la ciudad. Además, se montó un detector de NaI(Tl), usado para monitorear los arroyos, en un vehículo automotor para buscar nuevos focos de contaminación en diferentes distritos de la ciudad. Posteriormente, se montó un conjunto de detectores en la parte trasera de un automotor (véase la fotografía 6). Se utilizaron detectores de NaI(Tl), de 100 mm × 100 mm, y detectores tipo Geiger-Müller (GM). Dado que la electrónica aplicada a los detectores era sensible a los cambios de temperatura, se requirió el uso de un vehículo con aire acondicionado.

El programa de monitoreo tuvo dos fases. La primera fase duró hasta diciembre y se concentró inicialmente en el monitoreo del área ubicada fuera de los principales focos de contaminación. Después de la Navidad, se llevó a cabo un segundo relevamiento una vez que estos focos fueron descontaminados.

8.2.3. Uso de monitores manuales

Se realizaron mediciones de tasas de dosis más precisas y monitoreos de contaminación más detallados cerca de los focos principales de contaminación.

 Edificio demolido

0 12 m

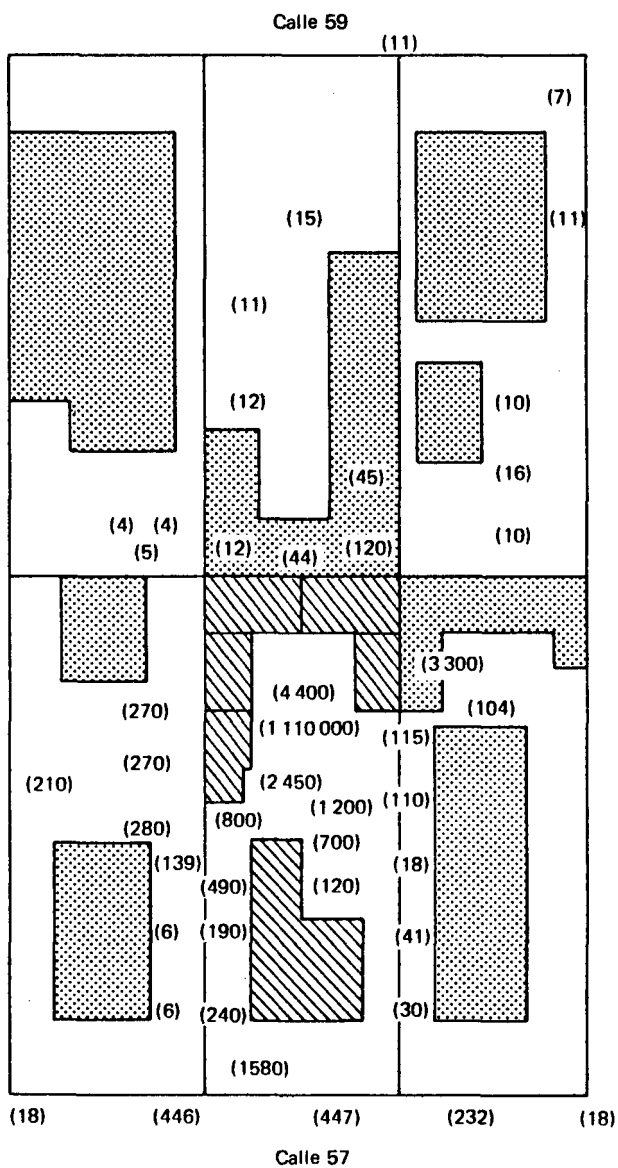


FIG. 20. Tasas de dosis (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) alrededor de la vivienda de R.A. en la Rúa (calle) 57.

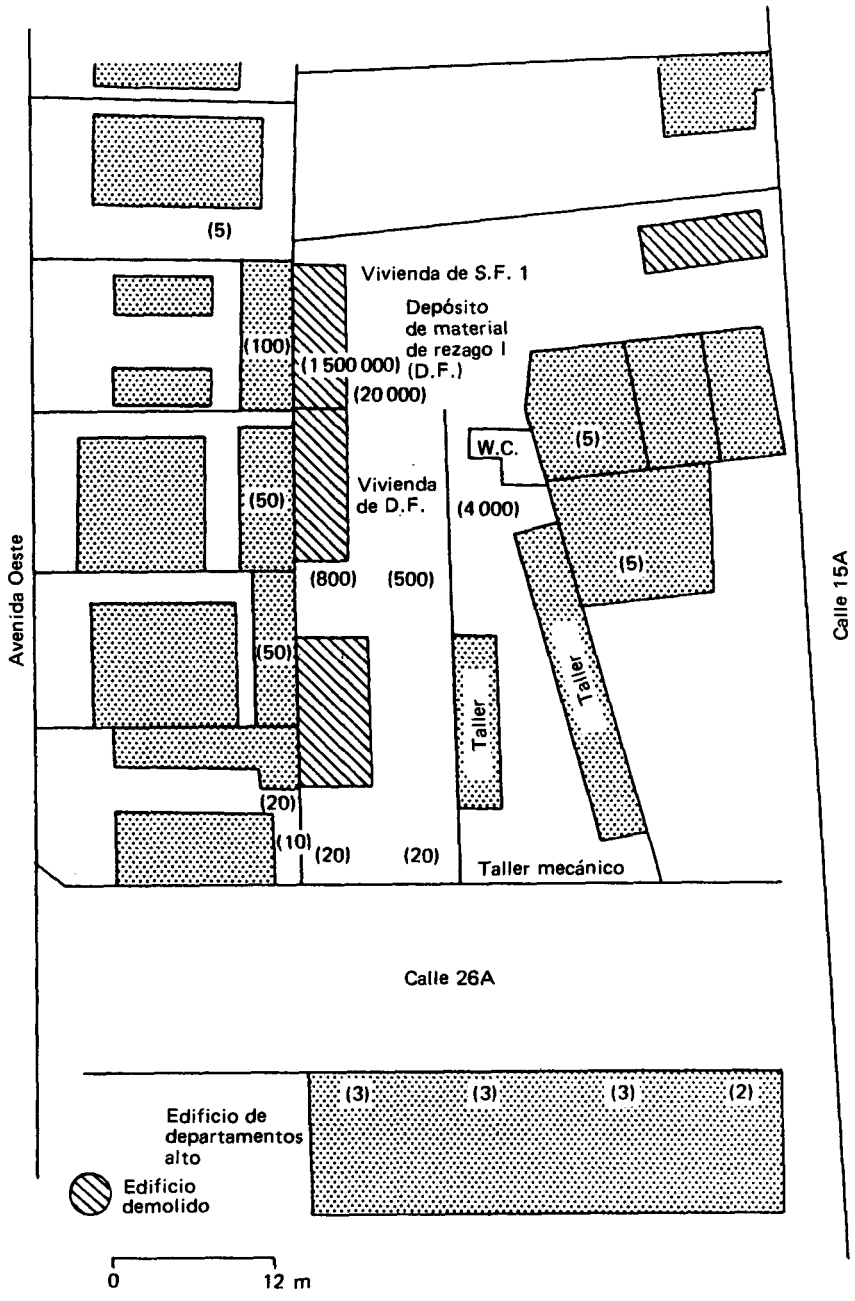


FIG. 21. Tasas de dosis (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) alrededor de la vivienda de D.F. en la Rúa (calle) 15 A.

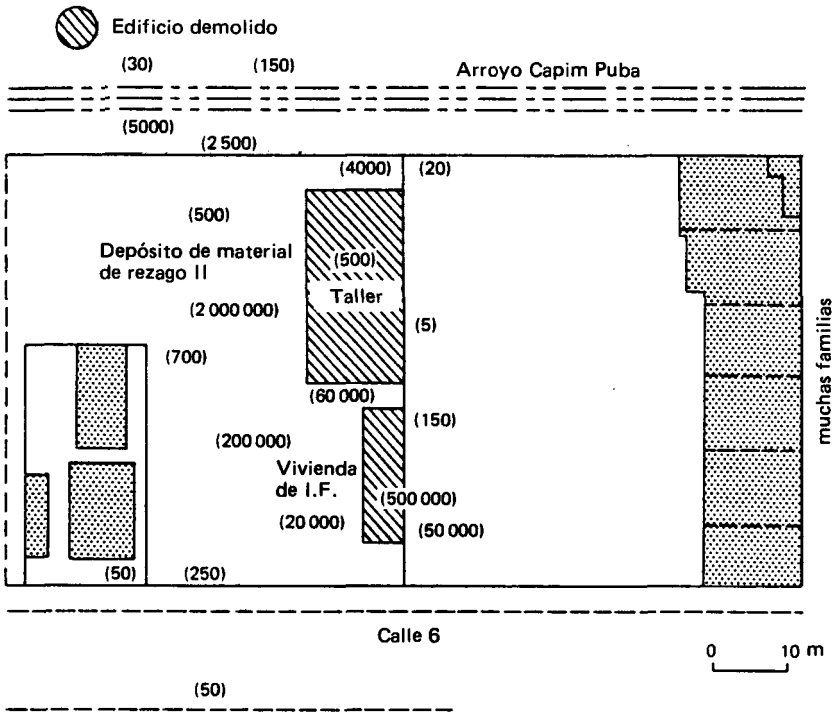


FIG. 22. Tasas de dosis (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) encontradas alrededor de la vivienda de I.F. en la Rua (calle) 6.

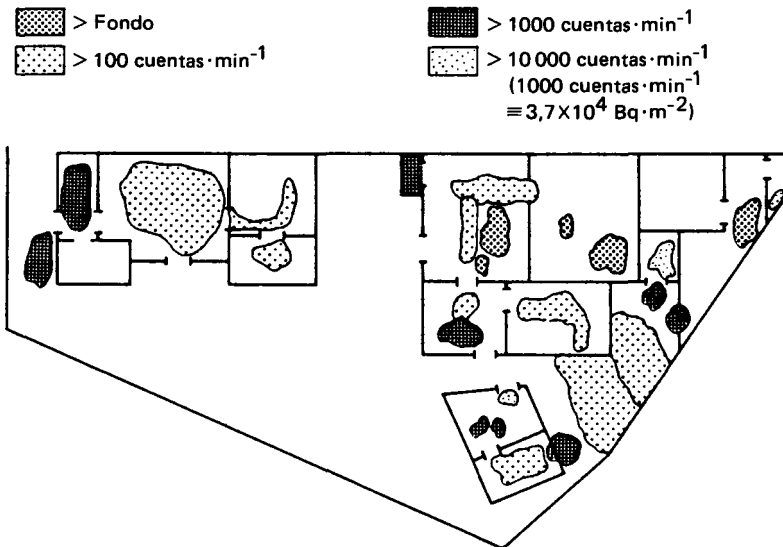


FIG. 23. Tasas de dosis (en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) en un área habitacional contaminada por habitantes y visitas.

La Fig. 16, representativa de este programa extensivo de medición, muestra extensas zonas de contaminación y de altas tasas de dosis alrededor de varios focos principales. Mediciones de tasas de dosis más detalladas se ofrecen en la Fig. 20 (para la casa y el jardín donde la cápsula de la fuente fue rota en principio) y en las Figs. 21 y 22. La Fig. 23 muestra un lugar de menor contaminación típico adonde el material radiactivo había sido introducido desde el exterior por los habitantes y visitas.

8.3. MONITOREO AMBIENTAL

Para cuantificar la dispersión ambiental del cesio, se analizaron más de 1300 mediciones de actividad debida al cesio 137 en el suelo, vegetación, agua y aire. Se puso énfasis en investigar áreas cercanas a los principales focos de contaminación (dentro de un radio de 50 m). Se usó inicialmente un analizador multicanal con un detector de NaI(Tl) de 2 pulg × 2 pulg en un laboratorio especial montado en Goiânia a mediados de octubre. Sin embargo, se encontró que un analizador monocanal con un cristal de NaI(Tl) de 3 pulg × 3 pulg era suficientemente sensible para tiempos cortos de medición (10 min), dado que sólo había cesio 137. (Esto implicaba que los instrumentos podían ser significativamente más sencillos que aquéllos que se hubiesen requerido para accidentes que causaran contaminación con muchos nucleidos.)

8.3.1. Suelo

En la Fig. 16, puede apreciarse la distribución de los niveles de actividad para unas 400 muestras de suelo. Los niveles oscilaron entre 10^2 y 10^5 Bq·kg⁻¹ y disminuían con la distancia a los focos principales de contaminación; variaron según la intensidad y dirección de los vientos del lugar, mostrando los efectos de la resuspensión y posterior dispersión. Los perfiles del suelo mostraron luego que, para cualquier nivel de actividad específica en la superficie, los primeros 15 mm de suelo retenían un promedio del 60% del cesio. (Véase la fotografía 19.)

8.3.2. Vegetación

En la misma ubicación en que se recogieron las muestras de suelo, se recolectaron y analizaron 263 muestras de vegetación, incluyendo las hojas, ramas y frutos. Debido a la acumulación de polvo, la actividad en las hojas era similar a la de los suelos en nivel y distribución, un mecanismo confirmado por el hecho que lavando se redujo la actividad en un 50%.

8.3.3. Río Meia Ponte

El monitoreo de la cuenca hidrológica se llevó a cabo inicialmente durante los primeros días de octubre y comprendió el agua superficial, la materia suspendida, los sedimentos en el fondo y peces, así como el monitoreo del lecho del río. Esto incluyó, en particular, el arroyo Capim Puba, tributario del río Meia Ponte, que recibe tanto las aguas del sistema de control de inundaciones como las aguas servidas de las áreas de los tres lugares más contaminados. Además, se llevó a cabo un relevamiento radiológico de la red cloacal del distrito. El monitoreo no arrojó niveles de radiactividad significativos. (Véase la Fig. 24.)

8.3.4. Provisión de agua potable a la población

La provisión de agua potable a los habitantes de Goiânia proviene de una planta de tratamiento que toma el agua de un tributario del río Meia Ponte, aguas arriba del arroyo Capim Puba. El agua tratada se almacena en reservorios situados, con relación al área contaminada, en la dirección contraria a los vientos. No fue sorprendente, entonces, que los niveles de actividad en el agua de la planta de tratamiento y en los reservorios, tanto antes como después del tratamiento, se hallaran por debajo de los límites de detección ($1 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$). De todos modos, la confirmación proporcionada por las mediciones ayudó enormemente a atenuar los temores y mantener la confianza del público en las primeras etapas del trabajo.

8.3.5. Agua subterránea

A pesar de la provisión pública de agua potable en Goiânia, en muchas casas aún se extrae agua de pozos durante los períodos de sequía. Por ende, se inspeccionaron 30 pozos alrededor de los principales lugares contaminados. Sólo los pozos ubicados cerca de los focos principales tenían niveles de actividad por encima del límite de detección ($1,5 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$). El mayor nivel de actividad detectado, $30 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$, correspondió al pozo en desuso de una vivienda.

8.3.6. Agua de lluvia

Para evaluar la acumulación total, se establecieron once estaciones de muestreo de agua de lluvia en el distrito Aeroporto. No se detectaron niveles de actividad de cesio 137 por encima del nivel del límite de detección ($150 \text{ Bq} \cdot \text{L}^{-1}$).

8.3.7. Aire

Cinco muestreadores de aire, de alto caudal de muestreo ($58 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) fueron instalados cerca de los focos principales de contaminación (véase la Fig. 16); en un

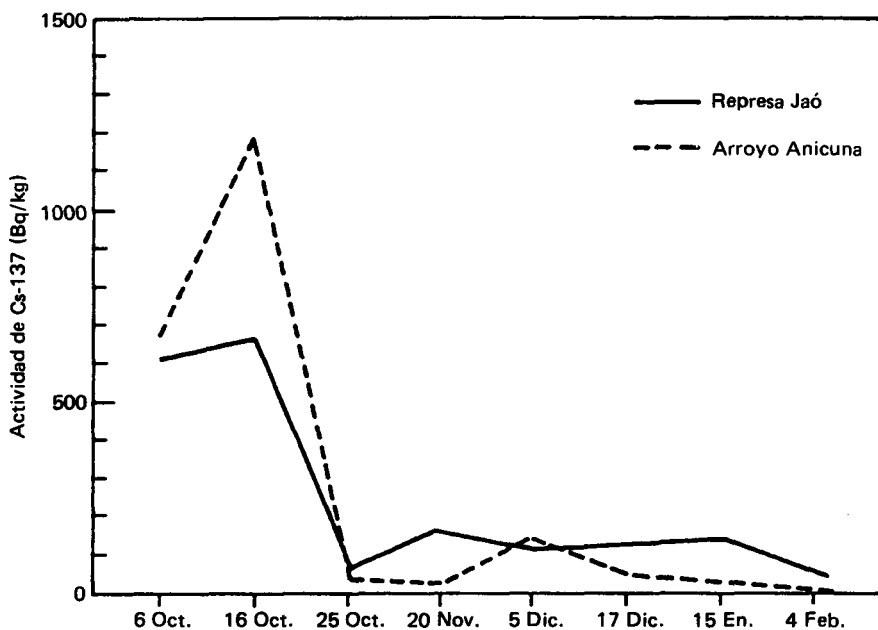


FIG. 24. Variación en función del tiempo de los niveles de actividad de cesio 137 en sedimentos del arroyo Anicura y de la represa Jaó.

**CUADRO IV. ACTIVIDAD MEDIDA EN MUESTRAS DE AEROSOL
RECOGIDAS A 50 M DE LOS FOCOS PRINCIPALES DE
CONTAMINACION DURANTE LA REMOCION DE LOS DESECHOS
RADIATIVOS**

Punto	Actividad medida en aerosoles debida al cesio 137 para varios periodos de muestreo en 1987 (mBq·m ⁻³)				
	2ª sem. nov.	3ª sem. nov.	4ª sem. nov.	1ª sem. dic.	2ª sem. dic.
1	0,9 ± 0,3	3,8 ± 0,4	<0,4	0,33 ± 0,11	0,3 ± 0,07
2	1,0 ± 0,4	75 ± 4	29 ± 2	4,4 ± 0,3	SM ^a
3	0,7 ± 0,3	<0,5	2,2 ± 0,3	2,6 ± 0,2	SM ^a

^a SM (sin muestra).

poblado distante se instaló un muestreador de control. Los resultados de las muestras semanales (véase el Cuadro IV) indican que, aunque como consecuencia de las operaciones de descontaminación se registraron valores máximos durante la 3ª y 4ª semana de noviembre, en general los niveles fueron un orden de magnitud —o aún más— inferiores a los valores máximos.

8.4. EQUIPAMIENTO PARA EL RELEVAMIENTO RADIOLOGICO

Se utilizaron muchas clases de instrumentos que habían sido obtenidos a través de un coordinador en la Sede Central de la CNEN, provenientes de varias fuentes: la CNEN y sus diversos institutos (IRD, IEN, IPEN), FURNAS, NUCLEBRAS, universidades y centros de investigación, y también la ayuda extranjera. Se usaron en total 55 exposímetros, 23 monitores de contaminación y 450 EFC (electrómetros de fibra de cuarzo o dosímetros-lapicera).

Como podría esperarse, con tantos monitores provenientes de distintas fuentes, algunos llegaron sin detalles de calibración o manuales de instrucción (ambos necesarios tanto para su uso como para su reparación). El uso intensivo de tal equipamiento en el área, a veces a cargo de personal sin experiencia previa suficiente en monitoreo, significó que el mantenimiento continuo fuese inevitablemente necesario. Por esta razón, durante la fase inicial de la respuesta al accidente, se montó un laboratorio electrónico y de calibración en Goiânia. Las clases de equipamiento de medición utilizado se resumen en el Anexo I, donde se presenta también una evaluación subjetiva de su utilidad por el grupo de instrumentación.

9. DESCONTAMINACION

La descontaminación fue indudablemente la tarea de la respuesta al accidente de mayor capacidad de recursos, con unos 550 trabajadores participando en Goiânia. Esta sección presenta las características principales de este trabajo.

Se halló contaminación significativa en 85 casas, de las cuales 41 fueron evacuadas. Las viviendas apartadas de los focos principales de contaminación fueron descontaminadas primero. En primer lugar, se ubicaba un lugar apropiado en el exterior de la casa, libre de contaminación, desde el que se pudieran monitorear fácilmente los objetos del interior de las viviendas. El lugar luego se cubría con material plástico y todos los elementos movibles eran sacados. Estos elementos eran monitoreados con un monitor de contaminación superficial. Las ropas eran monitoreadas con un centelleómetro (de NaI), el cual era blindado si las tasas de dosis ambientales eran altas. Los artículos libres de contaminación eran envueltos en plástico. Los objetos contaminados eran descontaminados hasta alcanzar un nivel de contaminación aceptable o sino eran gestionados como desechos radiactivos.

Las técnicas de descontaminación usadas dependieron de los objetos en cuestión. La decisión sobre si descontaminar o gestionar como desecho radiactivo dependía de la facilidad de descontaminación, excepto para los artículos de valor especial, tales como joyas o artículos personales de valor sentimental. El ver juguetes, fotografías y otros elementos de valor obviamente sentimental, acumulados en un patio para su posible gestión como desechos radiactivos, tuvo un efecto perturbador en habitantes y técnicos. Este es un aspecto psicológico de un accidente, que no debería ser subestimado.

Cuando se habían sacado los elementos de una casa, se usaban aspiradoras con filtros de alta eficacia para limpiar todas las superficies. Se monitoreaban las paredes, ventanas, pisos, piletas de lavar, y tanques de agua. Se rasqueteaban las superficies pintadas. Los pisos, usualmente de cerámica roja, eran descontaminados con ácido mezclado con Azul de Prusia. (El Anexo IV proporciona detalles adicionales.)

La contaminación de los techos de las casas por dispersión atmosférica podía afectar significativamente los niveles de actividad interiores. En esos casos, los techos eran aspirados interiormente y lavados exteriormente con chorros de agua a presión. Este método no fue muy eficaz, dado que las tasas de dosis se redujeron sólo en un 20% y debieron quitarse los techos de dos casas.

En los jardines, la poda de árboles y el descarte de frutos fueron medidas efectivas contra la contaminación.

Se eliminó la contaminación de 45 lugares públicos, incluyendo pavimentos, plazas, negocios y bares. Generalmente, allí había menos contaminación que en las

áreas de viviendas; se encontraba en focos puntuales sobre superficies construídas, tales como pavimentos y paredes. También se encontró contaminación en diversos vehículos: alrededor de 50 en total. (Véase la fotografía 17.)

El trabajo más importante de descontaminación comenzó a mediados de noviembre con la demolición y remoción de los escombros de siete casas tan contaminadas que su descontaminación no era posible. Gran parte del suelo de jardines cerrados y patios fue removido sobre la base de mediciones de perfiles de suelos. (Véanse las fotografías 7-19.)

El lugar de mayor contaminación fue la casa donde la cápsula de la fuente había sido rota (Fig. 20). Este fue el lugar de más riesgo y el último en ser descontaminado. (Véanse las fotografías 13 y 14.) Las tasas de exposición fueron muy altas, requiriendo períodos de trabajo muy cortos en los focos puntuales muy radiactivos. El trabajo exigió una cuidadosa planificación. Más del 90% del suelo más contaminado se hallaba en la superficie (con tasas de dosis tan altas como $1,5 \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) y mucho del trabajo fue llevado a cabo durante tormentas con lluvias intensas. (Véase la fotografía 21.) Resultó especialmente difícil, durante la remoción del barro contaminado con máquinas y su ubicación en los contenedores, que se mantuviera el límite diario de dosis de $1,5 \text{ mSv}$ para los trabajadores.

Después de la demolición, los escombros y el suelo eran retirados hasta que se cumplían los criterios establecidos. Luego se cubría el lugar con hormigón o tierra limpia.

Después de la Navidad, cuando los focos principales habían sido descontaminados, se relevaron radiológicamente todas las casas y tierras no cultivadas dentro de un radio de 100 m de los focos. La contaminación se hallaba habitualmente en forma de polvo, acumulado particularmente en los jardines. Sin embargo, hubo evidencia de que desechos contaminados, probablemente provenientes de las casas que se convirtieron en los principales lugares de contaminación, habían sido enterrados en terrenos baldíos antes de la intervención de la CNEN. Las medidas de descontaminación adoptadas, dado que no se requerían ya acciones urgentes, fueron diseñadas para mantener en un mínimo la cantidad de desechos radiactivos retirados y para causar la menor cantidad posible de inconvenientes al público:

- a) se midió la tasa de dosis gamma;
- b) se delimito el área en la que se encontró la mayor tasa de dosis. (Véase la fotografía 19);
- c) de acuerdo a los criterios previamente establecidos, las capas de suelo indicadas por la delimitación fueron retiradas; luego se retiró una capa adicional;
- d) se midió la tasa de dosis gamma y la actividad media específica del suelo;
- e) si estas mediciones eran cercanas a los límites derivados, el área se cubría con una capa de suelo limpio de 30 mm de suelo nuevo.

10. ELIMINACION DE LOS DESECHOS RADIACTIVOS

10.1. SELECCION DE UN EMPLAZAMIENTO PARA EL ALMACENAMIENTO DE LOS DESECHOS

Dado que la respuesta al accidente generó desechos radiactivos desde el comienzo, el personal técnico reconoció inmediatamente la necesidad de designar un lugar apropiado, en Goiânia o en sus inmediaciones, al que los desechos — convenientemente acondicionados— pudieran ser transportados inmediatamente para facilitar los trabajos de descontaminación. En base a su evaluación inicial sobre el volumen probable de los desechos y sobre los problemas de transporte posibles, el personal técnico tuvo la sensación de que cualquier demora en la elección de un lugar adecuado afectaría negativamente el trabajo.

No había dificultades técnicas inherentes en construir un depósito para los desechos radiactivos; sin embargo, la elección del lugar fue demorada por consideraciones políticas. En el interín, se generó una importante oposición pública a dejar los desechos en Goiânia o aún en el Estado de Goiás. Sin embargo, basándose en discusiones entre la CNEN y el Gobierno del Estado de Goiás, se tomó la decisión política de hallar un lugar para almacenar los desechos durante un período de hasta dos años, posponiendo la selección de un repositorio permanente. El lugar finalmente elegido se hallaba en un área poco poblada, a 20 km de Goiânia y a 2,5 km de la ciudad Abadía de Goiás. (Véanse las fotografías 23, 24 y 27.)

10.2. SISTEMAS DE CLASIFICACION Y CONTROL

A partir del 1° de octubre, un grupo de especialistas en física radiosanitaria fue designado para encarar el problema de los desechos radiactivos. Una de sus primeras medidas fue la de introducir el uso de un formulario para la gestión de desechos radiactivos (véase el Cuadro V) en el que se indicara: la tasa de exposición externa, el origen de los desechos, su forma física, combustibilidad, compactabilidad, etc. (Este sistema constituyó luego una base importante para estimar la fracción de la fuente original de cesio que había sido recuperada.)

Los desechos sólidos fueron clasificados, sobre la base de la legislación existente (Resolución CNEN-19/85, "Generación de los Desechos Radiactivos en Instalaciones Radiactivas", 27 de noviembre de 1985), como:

- 1) No radiactivos: actividad específica inferior a $74 \text{ kBq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($2 \text{ nCi} \cdot \text{g}^{-1}$).
- 2) Desechos de bajo nivel de actividad: tasa de dosis inferior a $2 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$, cercana a la superficie del bulto;

CUADRO V. REPRODUCCION DE UN FORMULARIO PARA LA GESTION DE DESECHOS RADIACTIVOS

Comisión Nacional de Energía Nuclear Control de Desechos Radiactivos	Lugar de origen	Número de registro	
Número de identificación del bulto:			
Tipo de bulto	... Tambor de 100 L ... Tambor de 200 L ... VBA Recipiente metálico ... Hormigón ... Tambor de 40 L Tambor de 100/200 L ... Tambor de 40/100 L ... Tambor de 40/200 L ...
Material			
Desecho compactable	... Papel ... Cartón ... Plástico	... Papel absorbente (tisú) ... Cerámico/vidrio ... Plomo
Desecho no compactable	... Piezas metálicas ... Escombros de edificación ... Hojalata	... Suelo ... Madera ... Moblaje	... Utensilios domésticos
Nucleidos con emisión gamma/beta: cesio 137			
Peso del bulto: kg			
Tasa de exposición en la superficie del bulto	máxima ($\text{mR} \cdot \text{h}^{-1}$) mínima ($\text{mR} \cdot \text{h}^{-1}$)		
Tasa de exposición máxima a 1 m de la superficie del bulto ($\text{mR} \cdot \text{h}^{-1}$)		
Contaminación superficial no fijada ($\mu\text{Ci} \cdot \text{cm}^{-2}$)		
<hr/>			
Monitoreado por	Fecha		
(nombre)			
.....		
Firma	Institución		

- 3) Desechos de nivel intermedio de actividad: tasa de dosis superior a $2 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$, pero menor de $20 \text{ mSv} \cdot \text{h}^{-1}$.

Los desechos líquidos fueron solidificados en cemento y clasificados de la misma manera.

10.3. EMBALAJE DE LOS DESECHOS

La mayoría de los desechos clasificados como de bajo nivel de actividad fueron introducidos en tambores industriales o en cajas metálicas cerradas. (Véanse las fotografías 18, 20, 22 y 23.) Los tambores eran de 40 L, 100 L y 200 L de capacidad, y fabricados con chapa de acero al carbono de 18 mm de espesor. Las cajas metálicas tenían un volumen de $1,2 \text{ m}^3$ y una carga máxima de 5 toneladas, con superficies resistentes a la corrosión cubiertas con cromato de zinc y pintura acrílica, y tapas abulonadas con juntas de goma. En el fondo de los recipientes se colocó cemento en polvo para absorber el agua. Para limitar el número de bultos de diferentes tamaños con los que se debía operar, y para aislar doblemente algunos tipos de desechos, los tambores de 40 y 100 L fueron colocados en el interior de tambores de 200 L o en cajas metálicas. (Véanse las fotografías 18, 20, 22.)

Un gran volumen de desechos de bajo nivel se hallaba en la forma de paquetes de papel en el depósito de material de rezago III. (Véase la fotografía 9.) Los paquetes fueron envueltos en plástico y colocados en contenedores de embarque (32 m^3), los que fueron depositados temporariamente para aguardar su eventual reciclado.

Los desechos de nivel intermedio fueron colocados en tambores de 200 L, los que a su vez fueron puestos en embalajes cilíndricos concéntricos con paredes reforzadas de hormigón de 200 mm (llamados VBA).

Las decisiones relacionadas con el embalaje de los desechos se vieron afectadas en gran medida por el hecho de que el lugar de depósito sería sólo para el almacenamiento temporario de los mismos. Los desechos ocuparon un total de 3800 tambores (200 L), 1400 cajas metálicas, 10 contenedores y 6 VBA. Los tambores y contenedores eran de uso comercial. Los VBA fueron originalmente destinados para su uso en la central nuclear de Angra. Las cajas metálicas fueron construídas especialmente en establecimientos fabriles de Goiânia.

10.4. DISEÑO DE UN LUGAR DE ALMACENAMIENTO TEMPORARIO DE LOS DESECHOS RADIATIVOS

El lugar de almacenamiento tenía que ser diseñado para acomodar los $4000\text{--}5000 \text{ m}^3$ de desechos estimados. Asumiendo que la mitad de los desechos serían embalados en tambores y la otra mitad en cajas metálicas, el repositorio

temporario tendría que diseñarse para albergar 12 500 tambores y 1470 cajas. Se encontró que el almacenamiento en plataformas abiertas era lo mejor para satisfacer las condiciones locales, las limitaciones en el tiempo de construcción y las demandas políticas.

El diseño fue normalizado para poder construir rápidamente las plataformas. Las bases de hormigón sobre las plataformas fueron dimensionadas para permitir la recepción de tambores o cajas usando totalmente el área. Cada base tenía 0,15 m de espesor y una superficie de 2,75 m × 2,75 m. Siendo cada caja un cubo de 1,2 m de lado, cada base podía recibir 8 cajas o 32 tambores, apilados de a dos. Considerando el número previsto de tambores y cajas, se estimó que serían necesarias 574 bases de concreto distribuidas en forma óptima sobre las plataformas. (Véanse las fotografías 23 y 24.)

En base a las hipótesis restrictivas, se decidió que al principio sólo se construirían seis plataformas; éstas fueron suficientes para los 3500 m³ de desechos que efectivamente se generaron.

Antes de trasladarlos al lugar de depósito, las cajas metálicas y los tambores fueron cuidadosamente descontaminados y cubiertos con plástico para protegerlos de las copiosas lluvias. (Véase la fotografía 21.) Además, las bases de hormigón fueron construídas para ser semiabsorbentes, es decir, para retener cualquier tipo de contaminación residual que pudiera resultar de la evaporación y condensación bajo el plástico.

Finalmente, se diseñó un sistema de monitoreo continuo del agua (principalmente agua de lluvia) proveniente de las plataformas. (Véase la fotografía 24.) Se construyó también un sistema de barreras naturales (incluyendo un pequeño dique utilizado para estudios ambientales) para disminuir el flujo del agua que drenase e incrementar la absorción de cesio dentro del área del repositorio.

Cada recipiente fue numerado y su contenido descrito en una tarjeta de inventario. Los datos fueron utilizados en un modelo matemático computadorizado, para predecir las tasas de dosis derivadas de las diferentes configuraciones de tambores y cajas. Los bultos más activos fueron colocados en el centro de las plataformas para minimizar las tasas de dosis en los corredores de acceso y en la alambrada de seguridad del repositorio.

Además del monitoreo de los trabajadores, del suelo, de la vegetación, del agua superficial, de los sedimentos y del aire, se utilizaron dosímetros termoluminiscentes (TLD) para monitorear las dosis en la alambrada de seguridad. No se han detectado fugas de material radiactivo, pero teniendo en cuenta las altas temperaturas y humedad reinantes, debería esperarse alguna corrosión dentro de unos pocos años. La copiosa lluvia ya estaba erosionando el suelo sobre el que se asentaban las plataformas. Al momento de la redacción de este informe, se estaban realizando los estudios correspondientes para decidir una forma de gestión permanente de los desechos, proceso que, se esperaba, demandaría un costo elevado tanto en dosis ocupacional como en términos económicos.

10.5. TRANSPORTE DE LOS DESECHOS AL LUGAR DE ALMACENAMIENTO

Los desechos fueron transportados de forma tal que se cumpliera con las normas legales brasileñas, esencialmente idénticas a aquéllas del Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos del OIEA⁷. Antes del transporte, se midió la tasa de dosis de cada bulto y se comprobó que estuvieran libres de contaminación. Los bultos tipo A fueron transportados por camión bajo condiciones de carga completa. Entre el 25 de octubre y el 19 de diciembre, 275 camiones —en convoyes con escolta policial— transportaron los desechos al lugar de depósito temporario, a una velocidad que no superaba los $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ en la ciudad y $45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ fuera de ella. Cada convoy era acompañado también por especialistas en física radiosanitaria, equipados para afrontar cualquier emergencia. (Efectivamente, un camión salió de la ruta y volcó, pero sin causar liberación de material radiactivo.) Los camiones eran monitoreados luego de su uso para asegurar que no había contaminación residual.

10.6. INVENTARIO

Los datos sobre las tasas de dosis externas en los bultos, registrados en las tarjetas de inventario, fueron utilizados luego para estimar la actividad de cada tambor, usando el método del “kernel spot”⁸. (El método asume una distribución homogénea de la actividad dentro de la geometría cilíndrica del tambor, pero se introdujeron factores de corrección para tener en cuenta datos conocidos sobre el blindaje e inhomogeneidades del contenido). La calidad de las estimaciones de actividad dependían de otras estimaciones diversas, particularmente la de la masa (se podrían haber obtenido mejores estimaciones sólo si se hubiera incurrido en mayores tasas de dosis profesionales, lo que no se consideró justificado).

La mejor estimación de la actividad en los desechos recuperados, junto con la actividad contabilizada en el Hospital Naval Marcilio Dias, fue de alrededor de 44 TBq (1200 Ci). A pesar que los márgenes de error comprendían la actividad conocida de la fuente de cloruro de cesio antes del accidente, de 50,9 TBq (1375 Ci), la prensa formuló ciertos comentarios críticos sobre contaminación radiactiva de “cientos de curies” que se hallaba potencialmente libre en el medio ambiente. En aquellas circunstancias, las estimaciones de actividad de los desechos eran las mejores que podían esperarse. Alguna contaminación radiactiva permanecía aún

⁷ ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos, Edición de 1985, Colección Seguridad N° 6, OIEA, Viena (1988); y Suplemento de 1986 (1987).

⁸ ROCKWELL, Theodore, III, Reactor Shielding Design Manual, Van Nostrand, Princeton, NJ (1956).

sobre los techos o en el suelo, por ejemplo, pero no en cantidades significativas. Las estimaciones de la actividad de los desechos fueron consideradas sólo confirmatorias. Los resultados del extenso y completo monitoreo ambiental constituyeron la base fundamental para asegurar que no había ningún riesgo residual importante.

10.7. ACTIVIDADES DE SEGUIMIENTO RADIOLOGICO

Luego de finalizado el trabajo de descontaminación, se iniciaron otras actividades de monitoreo e investigación. Para demostrar que se mantiene la seguridad, el monitoreo del lugar de depósito y sus alrededores continuará hasta que se adopte una decisión sobre la gestión final de los desechos que permita desocupar el lugar de depósito temporario. La red de muestreo que había sido montada en Goiânia fue mantenida para comprobar la eficacia del trabajo de descontaminación. Además, se iniciaron varios proyectos de investigación, algunos de los cuales son compartidos por universidades y otras instituciones científicas nacionales e internacionales, para aprovechar la oportunidad única de investigar los mecanismos de migración ambiental del cesio, particularmente en un área urbana.

Sección IV

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

La revisión que los expertos realizaron de los accidentes radiológicos permite retroalimentar experiencia en los sistemas relevantes de control, de forma tal que éstos puedan actuar para disminuir la probabilidad de ocurrencia de accidentes en el futuro y estén mejor preparados para responder a los accidentes que eventualmente ocurran. Cada revisión representa un aporte adicional al conjunto de conocimientos existentes sobre el tema, además de ilustrar y enfatizar principios y criterios que muchas veces son ya bien conocidos. Estos objetivos se reflejan en las observaciones y recomendaciones que se formulan a continuación, derivadas de la revisión internacional del accidente de Goiânia, aunque no necesariamente de las circunstancias específicas del accidente.

El accidente de Goiânia permite observar cómo la presencia de material radiactivo transforma acciones que hubieran resultado inocuas bajo circunstancias ordinarias, en cuestiones de vida o muerte. Se confirma así una regla fundamental de la protección radiológica: la seguridad intrínseca de la fuente es de suprema importancia. Las fuentes radiactivas pueden presentar un riesgo serio si son retiradas de la posición asignada en el proceso de notificación, registro y licenciamiento. La persona responsable de la fuente radiactiva debería garantizar la aplicación de los medios para prevenir fallas en la seguridad de la fuente, incluso a través de procedimientos de intervención y disposiciones apropiadas de seguridad. Incidentalmente, sin embargo, debería destacarse que esta necesidad de mantener la fuente radiactiva en condiciones seguras se asemeja a la existente en el área general de la seguridad de muchos materiales peligrosos, por ejemplo en la manipulación de tóxicos tales como el cianuro o el arsénico.

El requerimiento de que las fuentes de radiación deben ser seguras y estar bajo control debe ser impuesto por las autoridades nacionales competentes a través de un sistema regulatorio apropiado, complementado por normas adecuadas e inspecciones regulatorias; ése era, por cierto, el caso en Brasil. Sin embargo, el sistema regulatorio no puede disminuir la responsabilidad de la persona designada como encargada de una fuente radiactiva; no puede ni debe eximir de responsabilidades a los directivos que tienen a su cargo las fuentes radiactivas. En particular, no puede ser un sustituto de la responsabilidad que cabe a la persona licenciada para la seguridad de la fuente. El sistema regulatorio debería ser considerado sólo como un mecanismo para constatar la capacidad profesional de los que operan y la eficacia de la organización; en particular, puede intervenir en el cumplimiento de la responsabilidad asumida por parte de la persona licenciada, por ejemplo, mediante la inspección de las instalaciones —aunque los recursos disponibles impongan inevitablemente limitaciones a la frecuencia de estas inspecciones.

Los sistemas utilizados para el cumplimiento de los requisitos regulatorios deberían ser específicos, simples y obligatorios. Por ejemplo, en vez de mantener simplemente un registro de las pruebas realizadas durante las inspecciones, las autoridades regulatorias podrían exigir al responsable de una fuente altamente radiactiva que les notifique cada vez que verifique la integridad de la fuente. Tal notificación podría hacerse mediante el envío de una tarjeta postal de lectura por computadora. Si la persona responsable por la fuente omitiera la notificación en término, la autoridad regulatoria estaría alertada de la posible necesidad de comprobar el estado de la fuente. Este sistema cumpliría los requisitos de especificidad, simpleza y obligatoriedad. Más aún, representa un buen ejemplo de cómo puede mejorarse la comunicación entre las partes involucradas, cumpliendo así con el requisito de una buena comunicación entre todos aquéllos que estén involucrados en implementar y hacer efectivos los requerimientos de protección radiológica. De todos modos, antes de la implementación de este sistema debería evaluarse su eficacia en función de su costo.

Asimismo, debería tenerse en cuenta la elaboración de una señalización de los riesgos radiológicos identificable por la mayoría del público. El interés despertado por el destello azul de la fuente de cloruro de cesio radiactivo influyó marcadamente sobre el curso del accidente en Goiânia. La colocación en las fuentes de radiación de señales claras y reconocibles ayudaría a disminuir la probabilidad de ocurrencia de exposiciones accidentales.

Al licenciar la fabricación de fuentes radiactivas deberían considerarse también sus propiedades físicas y químicas, teniendo en cuenta el grado en que estas propiedades influyen sobre las consecuencias potenciales de los accidentes o el mal uso de las fuentes. La solubilidad y facilidad de dispersión del cloruro de cesio tuvo un profundo efecto sobre el curso del accidente en Goiânia. Muchas fuentes de menor actividad de cesio 137, en uso, se hallan en forma vítrea, lo que hace muy difícil la dispersión. Desafortunadamente, las fuentes en tal forma no pueden contener la elevada actividad específica requerida para una fuente de radioterapia.

Si a pesar de tomarse todas las precauciones ocurre un accidente y se prevé un riesgo radiológico, debería existir una cadena de información y de mando bien definida. En particular, para responder a un accidente grave, un país quizá necesite convocar a una gran parte de su personal especializado —que posiblemente se encuentra en establecimientos muy alejados entre sí— y hacer uso de una gran cantidad del equipamiento disponible. Un plan de emergencia debería anticipar esta necesidad de integración; por lo que la estructura de mando debería estar bien establecida.

En este sentido, es importante no sólo que se asignen las responsabilidades sino también que se confiera a las personas responsables la autoridad necesaria para obviar las trabas burocráticas. Por ejemplo, el accidente en Goiânia ocurrió lejos de los centros especializados en protección radiológica, por lo que el apoyo logístico necesario para movilizar personal y obtener suministros representó una dificultad

importante (el transporte aéreo demostró ser esencial). Una clara cadena de mando facilitará la provisión de los recursos necesarios durante las emergencias, incluyendo aquéllos que permitan una movilización inmediata.

De lo anteriormente observado se desprende que la preparación para la respuesta a las emergencias radiológicas debería comprender no sólo los accidentes nucleares sino también el conjunto de accidentes radiológicos posibles. Las autoridades nacionales e internacionales han realizado esfuerzos importantes en la preparación de la respuesta a accidentes nucleares; sin embargo, otros tipos de emergencia radiológica han recibido mucha menos atención. El accidente en Goiânia es un ejemplo de un accidente radiológico grave no concerniente a la industria nuclear. No fue único en su magnitud; en efecto, existen grandes similitudes con el accidente de Ciudad Juárez (México; 1983). (En su Examen de la Seguridad Nuclear para 1987, el OIEA describió brevemente los accidentes radiológicos fatales hasta la fecha; véase el Apéndice III). La mayoría de los accidentes radiológicos fatales han ocurrido fuera de la industria nuclear; la protección radiológica en esos sectores debería merecer quizás más atención.

Más aún, en la preparación de planes de emergencia las autoridades deberían asegurar que, en el caso de que ocurra un accidente radiológico que afecte al público, se disponga de medios bien conocidos para requerir ayuda y notificar el accidente a las autoridades pertinentes. Los medios más eficaces dependerán de la infraestructura del país en cuestión, pero se podría recurrir a los cuerpos locales, tales como la policía o los bomberos, los que a su vez tendrían preparados agentes de contacto.

Durante un accidente radiológico, además de contar con facilidades especializadas permanentes, puede resultar necesario utilizar equipamiento fácilmente transportable para realizar ensayos biológicos y monitoreos directos de todo el cuerpo. También puede llegar a precisarse especialistas entrenados para adaptar procedimientos normales a situaciones anormales. Los planes de intervención en emergencias podrían ser revisados en este sentido con gran utilidad.

Luego de un accidente con materiales radiactivos, es importante que el cuerpo elimine rápidamente la contaminación interna. El Azul de Prusia demostró ser eficaz en promover la eliminación corporal de la contaminación interna causada por cesio 137. El umbral de eficacia de esta droga parece ser una dosis diaria de 3,0 g (1 g administrado en forma oral tres veces por día). Los organismos farmacológicos nacionales podrían considerar permitir la administración de dosis orales de emergencia de hasta 10-12 g por día para pacientes adultos.

La dosimetría citogenética es una técnica extremadamente útil para estimar la dosis de radiación externa en todo el cuerpo y la inhomogeneidad de la dosis recibida por la persona irradiada, pues brinda información útil al médico responsable de la diagnosis y prognosis. Se sugiere que las autoridades nacionales revean sus planes de emergencia para asegurar que se disponga de laboratorios capaces de realizar este trabajo, y surjan en el país o como resultados de convenios de cooperación interna-

cional. Deberían llevarse a cabo programas de intercomparación para establecer un nivel aceptable de coherencia entre los diferentes laboratorios.

Es necesario realizar estudios adicionales sobre el uso experimental y clínico de la droga "factor estimulante de colonias de granulocitos y macrófagos" (FECGM), para aclarar los resultados cuestionables de su uso en Goiânia, antes de aplicarla nuevamente en otros accidentes radiológicos. Estos resultados cuestionables se deben posiblemente a que no se conoce aún ni la dosis óptima ni los tiempos en que esta droga debe ser administrada.

Después de los accidentes radiológicos, las personas afectadas por la exposición a la radiación han solicitado ayuda médica, habitualmente sin que los síntomas de la exposición hayan sido diagnosticados. Esta dificultad en el diagnóstico es típica de estos accidentes: los diagnósticos médicos han incluido picaduras de insectos y arañas, mordeduras de víboras, infecciones virales y exposición a agentes químicos tóxicos.

El reconocimiento de la naturaleza de los daños debidos a la radiación depende de la educación de los trabajadores no nucleares, así como de la disponibilidad de médicos y expertos en protección radiológica entrenados, todo lo cual depende a su vez de la implementación de programas educativos que sean ampliamente diseminados. El accidente en Goiânia podría representar un caso muy apropiado para ser incluido en programas de educación para las profesiones relacionadas con la salud y la seguridad, como también para aquéllos que tienen responsabilidades de supervisión sobre fuentes altamente radiactivas.

En los últimos tiempos, el tratamiento de las víctimas de accidentes radiológicos es variado y complejo. Estos pacientes deberían ser atendidos en hospitales por personal que esté vinculado diariamente al tratamiento hematológico, quimioterapéutico, radioterapéutico y quirúrgico de pacientes con riesgo de cáncer, inmunosupresión y discrasias sanguíneas. Generalmente, ni el personal médico ni las instalaciones están preparados para tratar lesiones debidas a la radiación y emergencias radiológicas. En los planes de emergencia radiológica debería preverse la asistencia inmediata a cargo de médicos especialistas entrenados para tratar a tales pacientes.

Luego de ocurrir un accidente radiológico que cause una extensa dispersión de contaminación, existe habitualmente la tentación de imponer criterios extremadamente restrictivos para realizar las acciones correctoras, generalmente inspirados en consideraciones políticas y sociales. Estos criterios imponen una carga económica y social sustancial, que se suma a la causada por el accidente mismo. El OIEA ha recomendado un rango de niveles de dosis de referencia para las acciones correctoras, consideradas como no innecesariamente restrictivas⁹. Además, aquéllos que

⁹ ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Principios para el Establecimiento de Niveles de Intervención para la Protección del Público en Caso de Accidente Nuclear o de Emergencia Radiológica, Colección Seguridad N° 72, OIEA, Viena (1986).

deben afrontar la emergencia podrían no estar en condiciones de implementar un esquema elaborado de niveles de acción —normalmente debido a la necesidad urgente de actuar— por lo que podrían preferir remitirse a los límites de dosis aplicados a niveles de exposición a la radiación planificados para situaciones normales. Esta es una restricción innecesaria, dado que estos límites de dosis no se han fijado para ser aplicados a aquellas personas que en un accidente incurren en exposiciones inesperadas. Sin embargo, como un parámetro adicional propio de cada país, no debería subestimarse las presiones políticas y sociales que influyen sobre los procesos de decisión.

Durante el accidente de Goiânia, surgieron varios problemas prácticos al realizarse el relevamiento radiológico y la descontaminación. Estos problemas han sido detallados en las Secciones 8 y 9, y en los Anexos I, III y IV. De todos modos, dos observaciones merecen destacarse aquí:

- a) El equipamiento de emergencia debe estar diseñado para operar bajo condiciones ambientales adversas; y
- b) Habrá, casi con certeza, necesidad de contratar trabajadores sin experiencia previa en trabajos radiológicos; aun el personal profesional puede carecer de experiencia relevante para afrontar el accidente; por lo tanto, los planes de emergencia deberían prever el entrenamiento correspondiente.

Si se intenta mejorar los planes de emergencia a partir de la experiencia de los accidentes radiológicos, entonces deberían documentarse los hechos del accidente tan pronto como sea posible, puesto que tienden a desdibujarse con el tiempo. Para facilitar la reconstrucción posterior de la secuencia de eventos y la evaluación de la experiencia adquirida el equipo de respuesta a la emergencia debería estar integrado por un encargado oficial de registrar los acontecimientos.

Resulta particularmente importante difundir la información a los medios de comunicación, al público y, por cierto, al equipo de respuesta a la emergencia. En efecto, al satisfacer la necesidad de información requerida durante un accidente, se van agotando los recursos de las personas que tratan de afrontar las consecuencias del accidente mismo. Por lo tanto, es recomendable que los equipos de respuesta a la emergencia radiológica tengan un apoyo informativo, administrativo y público apropiado a la magnitud del accidente. Las situaciones de emergencia de envergadura requieren un rápido apoyo administrativo y de información pública en el lugar. Todos los individuos que, según el criterio de la autoridad que los designe, puedan llegar a ser necesarios en la respuesta a emergencias radiológicas deberían recibir un entrenamiento tanto teórico como a través de simulacros, de acuerdo a las funciones que desempeñen.

El accidente de Goiânia fue uno de los accidentes radiológicos más graves que hayan ocurrido hasta la fecha. Causó daños por radiación en muchas personas —cuatro de ellas víctimas fatales— y contaminó partes de la ciudad. Los accidentes radiológicos son eventos que no ocurren con frecuencia; pero esto no debería justi-

ficar la complacencia. Ningún accidente radiológico es aceptable; el público debe confiar en que las autoridades competentes y los individuos están haciendo lo posible para prevenirlos. Parte de este proceso es aprender las lecciones del accidente de Goiânia.

FOTOGRAFIAS

*(Todas las fotografías son por cortesia de la
Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), Río de Janeiro, Brasil)*

- 1-3. Las instalaciones abandonadas del Instituto Goiano de Radioprotección, una clínica privada de radioterapia en Goiânia. Una fuente altamente radiactiva fue sacada de un equipo de teleterapia abandonado en las instalaciones. (Véase la Sección 3.1.)
4. El físico W.F., quien descubrió el accidente, monitorea a un agente de policía para detectar indicios de contaminación, en el Estadio Olímpico. (Véase la Sección 4.1.)
5. Monitoreo de gente para detectar indicios de contaminación, en el Estadio Olímpico. (Véase la Sección 4.1.)
6. Monitoreo móvil de radiación: detectores de NaI(Tl) y Geiger-Müller montados en un automotor. Más de 2000 km de caminos fueron monitoreados de esta manera. (Véanse las Secciones 7.2, 8.2.)
7. Preparando la demolición de la casa de E.F.2 y S.F.1, cerca del depósito de material de rezago I. (Véase la Sección 9.)
8. Monitoreo del techo de la casa de E.F.2 y S.F.1 durante la demolición. (Véase la Sección 9.)
9. Paquetes de papel contaminado que habían sido recogidos por los "sucateiros" (chatarros) para su reciclado. Algunos de esos paquetes fueron enviados a otros pueblos. (Véase la Sección 9.)
10. Demolición de la casa de L.F.2., la niña de 6 años que falleció como consecuencia del accidente. En el depósito de material de rezago II, se hizo un agujero en la pared con la excavadora para sacar un foco puntual de radiación con una tasa de dosis de $0,5 \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$. (Véase la Sección 9.)
11. Limpiando el lugar donde se encontraba el depósito de material de rezago II, en la Rua (calle) 6. (Véase la Sección 9.)
12. Depósito de material de rezago II: cortando barras de hierro contaminadas. (Véase la Sección 9.)
- 13, 14. Escombros contaminados de la demolición de la casa de R.A., en la Rua (calle) 57, donde se desarmó el portafuente y se rompió la cápsula de la fuente. (Véase la Sección 9.)

15. Sacando elementos contaminados del depósito de material de rezago III. (Véase la Sección 9.)
16. Cortando elementos contaminados para sacarlos del almacén del depósito de material de rezago III. La contaminación en el suelo era tal que fue necesario cubrirlo con una capa de hormigón. (Véase la Sección 9.)
17. Descontaminando un vehículo. Se encontraron alrededor de 50 vehículos contaminados. (Véase la Sección 9.)
18. Una manera improvisada de llenar ocho tambores simultáneamente con suelo contaminado. (Véase la Sección 10.3.)
19. Monitoreando el suelo para detectar indicios de contaminación. (Véanse las Secciones 8.3 y 9.)
20. Uno de los contenedores metálicos de almacenamiento construidos especialmente para contener 5 toneladas de desechos. (Véase la Sección 10.3.)
21. Una gran parte del trabajo de descontaminación tuvo que llevarse a cabo bajo una lluvia copiosa. (Véanse las Secciones 9 y 10.4 .)
22. Apilando contenedores de desechos para ser transportados al depósito temporario de desechos radiactivos. (Véase la Sección 10.3.)
23. Contenedores metálicos y tambores de desechos apilados y cubiertos en el lugar de depósito temporario. (Véanse las Secciones 10.1, 10.2 y 10.3.)
24. El lugar de depósito temporario, mostrando las bases de hormigón con canales para permitir el muestreo del agua que drena. (Véanse las Secciones 10.1 y 10.4.)
25. E.F., 20 de octubre de 1987. Una lesión inducida por radiación en el muslo, causada por un fragmento de la fuente de cesio 137 que llevaba en el bolsillo del pantalón. La gran costra en el centro de la lesión es una consecuencia típica de las dosis gamma instantánea que superan los 50 Gy a la dermis y el tejido subyacente (a una profundidad en el tejido de 1-3 cm). Alrededor de 25 días después de la irradiación. (Véanse las Secciones 5.1 y 5.3.)
26. E.F., 30 de diciembre de 1987. Evolución de la lesión en el muslo. El daño se ha extendido dentro de la musculatura del muslo. Se había efectuado una serie de debridamientos de la herida. Lesión de aproximadamente 100 mm × 120 mm. (Véase la Sección 10.1.)
27. Contenedores de desechos en el lugar de depósito temporario. Entre el 25 de octubre y el 19 de diciembre se transportaron por camión 275 cargas de desechos radiactivos. (Véase la Sección 10.1.)

28. O.F.1., 11 de octubre de 1987. Gran ampolla sobre la palma de la mano de un individuo que colaboró en sacar la fuente de cesio 137. Nótese la descamación húmeda sobre el pulgar y otros dedos. Alrededor de 19 días después de la irradiación. (Véanse las Secciones 5.1 y 5.3.)
29. O.F.1., 28 de octubre de 1987. Lesión sobre la palma de la mano, mostrando la evolución de la herida. La ampolla se ha abierto completamente y el daño se ha extendido hacia los dedos índice y medio. Nótese la falange terminal del dedo índice usado para extraer cesio 137 de la cápsula de la fuente. Alrededor de 36 días después de la irradiación. (Véanse las Secciones 5.1 y 5.3.)
30. O.F.1., 30 de noviembre de 1987. Curación parcial de la lesión sobre la palma de la mano. Alrededor de 69 días después de la irradiación. (Véanse las Secciones 5.1 y 5.3.)
31. Herida superficial en la piel causada por irradiación beta (en fase de curación) en las extremidades inferiores de un individuo que sufrió contaminación extensa con cesio 137. Alrededor de 60 días después de la irradiación. (Véanse las Secciones 5.1 y 5.3.)
32. El contador del todo el cuerpo improvisado, utilizado en Goiânia. Nótese la separación, inusualmente grande, entre paciente y detector, y el uso de una silla tipo reposera. (Véanse las Secciones 5.2 y 6.1.)



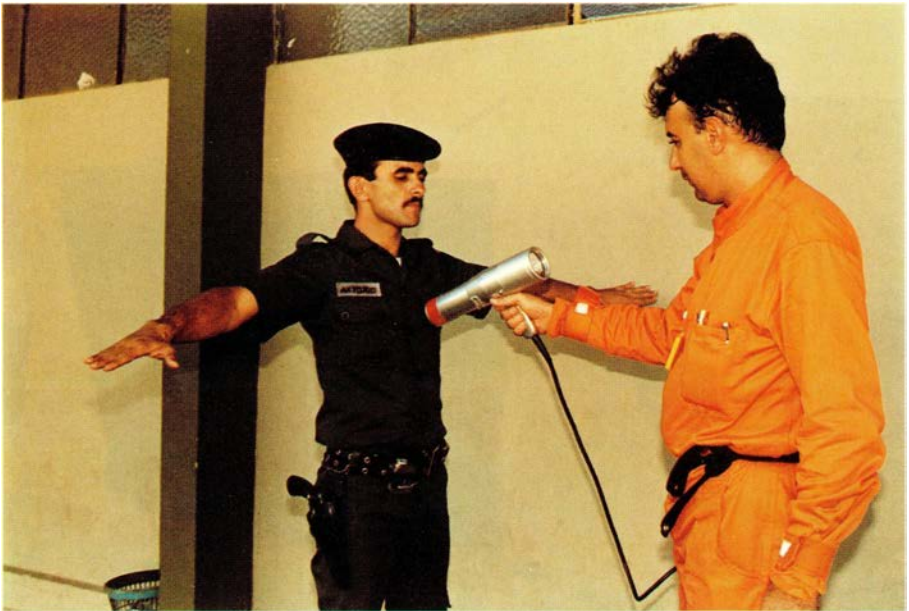
1. *La clínica de radioterapia abandonada de Goiânia, de donde fue sacada la fuente de cesio.*



2. *Otra escena del mismo lugar.*



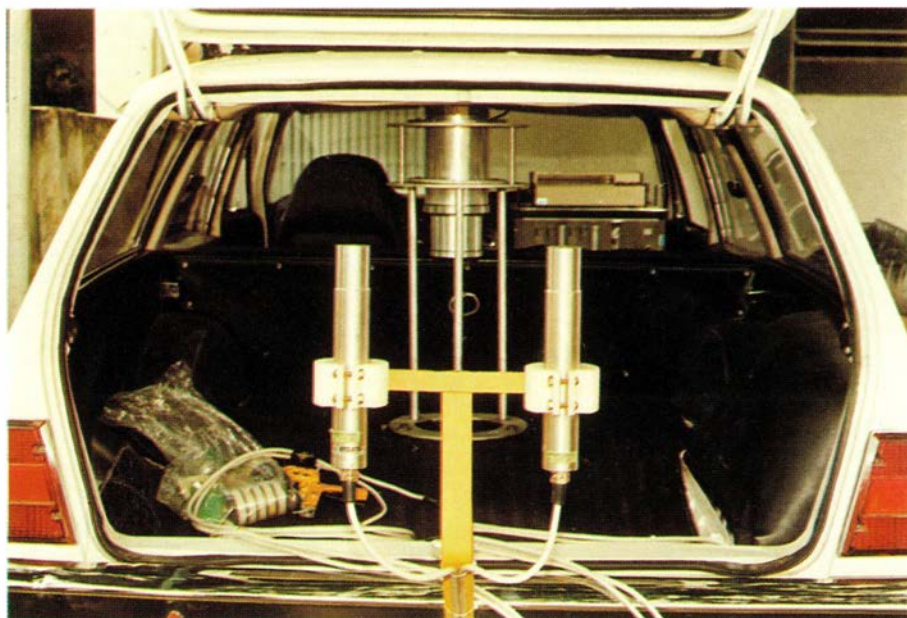
3. *De nuevo, la clínica de radioterapia abandonada de Goiânia.*



4. *El físico W.F. monitoreando a un agente de policía para detectar indicios de contaminación, en el Estadio Olímpico.*



5. *Monitoreando gente para detectar indicios de contaminación, en el Estadio Olímpico.*



6. *Equipamiento para el monitoreo móvil de radiación: detectores de NaI y GM montados en un vehículo.*



7. *Preparando la demolición de la casa de E.F.2 y S.F.1, cercana al depósito de material de rezago I.*



8. *Monitoreando el techo de la casa de E.F.2 y S.F.1 durante la demolición.*



9. Paquetes de papel contaminado que habían sido recogidos por los “sucateiros” (chatarros) para su reciclado.



10. Se hace un agujero para sacar un foco puntual de radiación con una tasa de dosis de $0,5 \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$.



11. *Limpiando el lugar donde se encontraba el depósito de material de rezago II, en la Rua (calle) 6.*



12. *Depósito de material de rezago II: cortando barras de metal contaminadas.*



13. *Escombros contaminados de la demolición de la casa de R.A. en la Rua (calle) 57.*



14. *El mismo lugar después de la remoción de los escombros contaminados.*



15. *Sacando elementos contaminados del depósito de material de rezago III.*



16. *Cortando elementos contaminados para sacarlos del almacén del depósito de material de rezago III.*



17. *Descontaminando un vehículo. Se encontraron alrededor de 50 vehículos contaminados.*



18. *Una manera improvisada de llenar simultáneamente ocho tambores con suelo contaminado.*



19. *Monitoreando el suelo para detectar indicios de contaminación.*



20. *Uno de los contenedores metálicos de almacenamiento construidos especialmente para contener 5 toneladas de desechos.*



21. *Gran parte del trabajo de descontaminación debió llevarse a cabo bajo lluvias copiosas.*



22. *Apilando los contenedores de desechos para ser transportados al depósito temporario de desechos radiactivos.*



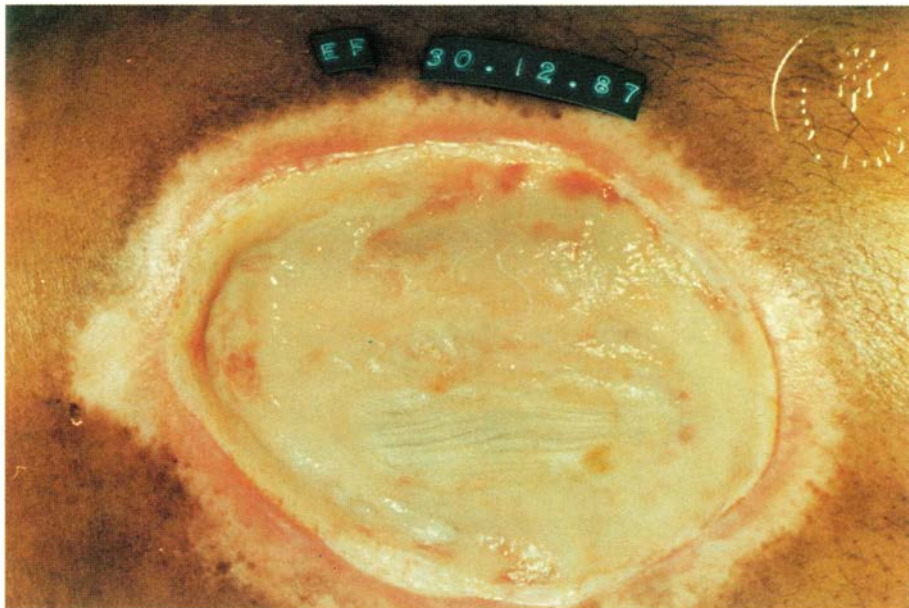
23. *Contenedores metálicos y tambores con desechos apilados y cubiertos en el lugar de depósito temporario de desechos radiactivos.*



24. *El lugar de depósito temporario: se muestran las bases de hormigón con canales de drenaje para el muestreo.*



25. Una lesión inducida por radiación en el muslo, alrededor de 25 días después de la irradiación.



26. La herida se ha extendido dentro de la musculatura del muslo. Lesión de unos 100 mm × 120 mm.



27. *Contenedores de desechos ubicados en el lugar de depósito temporario de desechos radiactivos.*



28. *Gran ampolla sobre la palma de la mano. Nótese la descamación húmeda.*



29. *La ampolla está completamente abierta y el daño se ha extendido hacia los dedos índice y medio.*



30. *La lesión sobre la palma de la mano se ha curado parcialmente.*



31. *Herida superficial en la piel debida a irradiación beta (en fase de curación).*



32. El contador de todo el cuerpo improvisado, utilizado en Goiânia.

Apéndices y anexos

Apéndice I

COOPERACION INTERNACIONAL

Apéndice II

COMUNICACION CON EL PUBLICO

Apéndice III

EL ACCIDENTE DE GOIANIA EN PERSPECTIVA

Apéndice IV

LECCIONES APRENDIDAS POR LA CNEN

Anexo I

EQUIPAMIENTO PARA EL RELEVAMIENTO RADIOLOGICO

Anexo II

PAUTAS SEGUIDAS PARA DAR DE ALTA A LOS PACIENTES

Anexo III

PROTECCION RADIOLOGICA

Anexo IV

DESCONTAMINACION QUIMICA

Apéndice I

COOPERACION INTERNACIONAL

Antes del accidente de Goiânia

Los institutos de la CNEN estuvieron en condiciones de hacer todo lo necesario para manejar el accidente de Goiânia, incluyendo la determinación de las dosis de radiación, el diagnóstico, pronosis y tratamiento de las personas sobreexpuestas y la eliminación de la severa contaminación ambiental.

A esa preparación contribuyó significativamente un programa de cooperación entre el OIEA y el Brasil sobre preparativos para emergencias. Este programa comenzó con el envío de una misión de expertos a Brasil, bastante antes del accidente de Goiânia, y llevó a la construcción de laboratorios y al entrenamiento del personal a través de becas y misiones de expertos. El primer proyecto del programa incluyó el entrenamiento de un médico para afrontar accidentes radiológicos, capacitación que demostró ser extremadamente útil en la respuesta al accidente.

Durante la respuesta al accidente

Las autoridades brasileñas informaron al OIEA sobre el accidente poco después de su conocimiento y le solicitaron ayuda bajo los términos de la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica. La ayuda brindada incluyó el envío de expertos y equipamiento. (Véase el Cuadro VI para más detalles.)

Desde que ocurrió el accidente

Desde que ocurrió el accidente, los expertos brasileños y otros expertos extranjeros colaboraron con numerosas actividades para aprender lecciones del mismo y evaluar la experiencia adquirida. El examen internacional, sobre el que se basa este informe, es una de tales actividades. La experiencia de brindar y coordinar ayuda internacional será evaluada, entre otras, para determinar cuánto podría mejorarse en el futuro.

El accidente de Goiânia ha creado una gran base de datos que puede proveer información de valor permanente en una amplia gama de campos. Se están llevando a cabo varios proyectos de investigación científica, otros se han planificado y

CUADRO VI. COOPERACION INTERNACIONAL EN LA RESPUESTA AL ACCIDENTE DE GOIANIA

País/Organización	Tipo de colaboración	Tipo de asistencia	Campo de trabajo	Institución de origen
Alemania, República Federal de	Bilateral	Experto/ equipamiento	Protección radiológica	Instituto de Protección Radiológica Munich
Alemania, República Federal de	OIEA	Equipamiento	Protección radiológica	
Argentina	Bilateral	Experto	Medicina	Comisión Nacional de Energía Atómica
Argentina	Bilateral	Experto	Protección radiológica y gestión de desechos	Comisión Nacional de Energía Atómica
CEC, Ispra	Cooperación técnica	Equipamiento	Protección radiológica	
Estados Unidos de América	Voluntaria	Experto/ equipamiento	Medicina	Universidad de California
Estados Unidos de América	Voluntaria	Experto	Medicina	Hospital de la Ciudad de Boston
Estados Unidos de América	OIEA	Experto	Protección radiológica	REACT/TS ^a
Estados Unidos de América	OIEA	Experto	Medicina	REACT/TS ^a

Francia	Bilateral	Experto/ equipamiento	Medicina/ protección radiológica
Francia	OIEA	Equipamiento	Protección radiológica
Hungría	OIEA	Equipamiento	Protección radiológica
Israel	OIEA	Equipamiento	Protección radiológica
Japón	Voluntaria	Experto	Medicina
			Instituto para las Enfermedades Terapéuticamente Dificiles
OIEA	Cooperación técnica	Experto/ equipamiento	Protección radiológica
Organización Mundial de la Salud	Cooperación técnica	Experto	Protección radiológica
			OMS
Países Bajos	OIEA	Equipamiento	Protección radiológica
Reino Unido	OIEA	Equipamiento	Protección radiológica
URSS	Voluntaria	Experto	Medicina
			Hospital Central N° 6, Moscú

^a REAC/TS = Centro de Asistencia en Emergencias Radiológicas del Dpto. de Energía/Centro de Entrenamiento, Oak Ridge.

muchos más podrán ser propuestos. Debería ser función de los organismos internacionales promover el intercambio de información sobre las lecciones aprendidas del accidente.

Observaciones

- El OIEA debería considerar la provisión de más entrenamiento para realizar preparativos de emergencia a nivel regional, los cuales incluirían: participación de personal experto en la respuesta a emergencias dentro de la región y ejercicios prácticos de campaña bajo las condiciones típicas de la región.
- El OIEA debería coordinar el intercambio periódico de información a nivel regional sobre los aspectos de mayor o menor relevancia en la planificación de respuestas a emergencias.
- El OIEA debería continuar con su objetivo de brindar asistencia no burocrática en una emergencia.

Apéndice II

COMUNICACION CON EL PUBLICO

El accidente de Goiânia tuvo un gran impacto psicológico sobre la población brasileña debido a su asociación con el accidente de la Central Nuclear de Chernobil en la URSS en 1986. Muchas personas sintieron miedo a la contaminación, irradiación y daño a la salud; peor aún, temieron contraer enfermedades incurables y fatales.

Algunos de los habitantes de Goiânia fueron discriminados hasta por sus familiares; las ventas de ganado, de cereales y otros productos agrícolas, y de ropa y otros productos de algodón —los principales productos de la economía del Estado de Goiás— cayeron una cuarta parte durante el período posterior al accidente.

Luego del accidente, los técnicos de la CNEN realizaron una encuesta. Obtuvieron los siguientes resultados:

- a) Alrededor del 90% de los habitantes de Goiânia no sufrió deterioro importante de su nivel de vida o de sus condiciones de trabajo.
- b) El accidente produjo efectos importantes en la vida transcurrida en los hogares de alrededor del 30% de las personas involucradas; otro tanto produjo en el ambiente laboral.
- c) De los individuos monitoreados para detectar indicios de contaminación radiactiva, el 74% había concurrido espontáneamente a ser monitoreado por temor a la radiación.

Para atenuar estos temores, se alentó al equipo de trabajo a explicar al público lo que se estaba haciendo y por qué, y a aceptar, por ejemplo invitaciones a beber agua y a comer alimentos provenientes de las viviendas de la gente. De ese modo, se ganó la confianza del público y se elevó la credibilidad de los anuncios oficiales.

Los trabajadores de los equipos de emergencia aparecieron frecuentemente en la televisión. Su intención era hacer analogías, utilizando un lenguaje sencillo, entre lo que acontecía y las aplicaciones comunes de la radiación —tales como el uso médico de rayos X—, y reseñar todo lo que se conocía de la situación hasta ese momento.

Además, como los coordinadores hallaban dificultades para explicar algunos aspectos de protección radiológica al público, se dieron charlas a periodistas, explicándoles en términos básicos las aplicaciones y efectos de la radiación. Se publicó un folleto titulado “Qué debería Ud. saber sobre radiactividad y radiación”, del cual se distribuyeron 250 000 copias. Un servicio telefónico estuvo operando 24 horas

al día para responder preguntas o recibir información sobre otras personas o lugares posiblemente contaminados.

Se dieron varias charlas a diferentes sectores de la población y a grupos comunitarios para restaurar la confianza, a fin de que la actividad pública continuara normalmente.

Hubo dos fases bien definidas en la reacción de los medios de comunicación (la prensa, radio y televisión). La primera estuvo caracterizada por el sensacionalismo, la desinformación y la crítica a las autoridades. En la segunda fase, en cambio, la cobertura de los hechos fue mucho más responsable: tendía a informar al público y describir más claramente lo que estaba sucediendo y qué acciones habían sido realizadas por la CNEN y los Gobiernos Federal y Estatal.

Para fomentar una presentación más responsable de los hechos, el personal de la CNEN no ahorró esfuerzos en aclarar todos los aspectos a los medios de comunicación, describiendo y explicando su trabajo. Los periodistas pudieron acompañar a los técnicos de la CNEN ocupados en los trabajos de descontaminación y en la atención de las víctimas.

Apéndice III

EL ACCIDENTE DE GOIANIA EN PERSPECTIVA

(extractado del Examen de la Seguridad Nuclear para 1987, del OIEA)

Accidentes radiológicos graves

“Desde el año 1945, se ha documentado una cantidad considerable de información sobre accidentes con sobreexposición importante a la radiación¹⁰. [Véanse los Cuadros VII y VIII.] La mayoría de los accidentes en instalaciones nucleares

CUADRO VII. ACCIDENTES DE RADIACION GRAVES REGISTRADOS (1945-1987)

Tipo de instalación	Nº de eventos	Sobreexposiciones ^a	Víctimas fatales
<i>Instalaciones nucleares</i>	27 (34%)	272 (64%)	35 (59%)
<i>Instalaciones no nucleares</i>			
Industria	42 (52%)	84 (20%)	20 (34%)
Investigación	7 (9%)	10 (2%)	- (-)
Medicina	4 (5%)	62 (14%)	4 (7%)
	80 (100%)	428 (100%)	59 (100%)

^a Una sobreexposición es considerada aquí como una exposición a la radiación de todo el cuerpo, órganos productores de sangre u otros órganos críticos que implique una dosis de 0,25 Sv o más; de la piel, de 6 Sv o más; otra irradiación externa de 0,75 Sv o más; y contaminación interna de la mitad o más de la “máxima carga corporal permisible”. (El concepto de la “máxima carga corporal permisible” ha sido ahora remplazado por el concepto del “límite anual de incorporación”). El cuadro excluye los eventos relacionados con las prácticas médicas y las exposiciones debidas al accidente de Chernobil, ocurridas fuera de su emplazamiento.

¹⁰ The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (Actas REACT/TS Conf. Int. Oak Ridge, TN, 1979) (HÜBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.), North-Holland, Nueva York (1980); COMITE CIENTIFICO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LAS RADIACIONES ATOMICAS, La Radiación Ionizante: Fuentes y Efectos Biológicos, Informe a la Asamblea General, Naciones Unidas, Nueva York (1982).

CUADRO VIII. ACCIDENTES RADIOLOGICOS FATALES REGISTRADOS (1945-1987)^a

Año	Lugar	Fuente de radiación	Víctimas fatales	
			Trabajadores	Público
1945	Los Alamos, Estados Unidos de América	Conjunto crítico	1	
1946	Los Alamos, Estados Unidos de América	Conjunto crítico	1	
1958	Vinča, Yugoslavia	Reactor experimental	1	
1958	Los Alamos, Estados Unidos de América	Conjunto crítico	1	
1961	Suiza	Pintura tritiada	1	
1962	Ciudad de México, México	Fuente de radiografía perdida		4
1963	China	Irradiador de semillas		2
1964	Alemania, República Federal de	Pintura tritiada	1	
1964	Rhode Island, Estados Unidos de América	Planta de recuperación de uranio	1	
1975	Brescia, Italia	Irradiador de alimentos	1	
1978	Argelia	Fuente de radiografía perdida		1
1981	Oklahoma, Estados Unidos de América	Radiografía industrial	1	
1982	Noruega	Esterilizador de instrumentos	1	
1983	Buenos Aires, Argentina	Conjunto crítico	1	
1984	Marruecos	Fuente de radiografía perdida		8
1986	Chernobil, URSS	Central nuclear	29	
1987	Goiânia, Brasil	Fuente de teleterapia sustraída		4
Total: 17 eventos con 59 víctimas fatales			40	19

^a En instalaciones nucleares e industrias no nucleares, investigación y medicina (excluyendo los eventos relacionados con las prácticas médicas).

ocurrieron cuando comenzaron a desarrollarse las aplicaciones de la energía nuclear. Algunos fueron accidentes de criticidad y varios ocurrieron en reactores experimentales. Aunque la incidencia de accidentes radiológicos en instalaciones nucleares ha disminuído considerablemente con los años, el número de tales accidentes en otros lugares ha aumentado. Varios accidentes han afectado a miembros del público; algunos causaron víctimas fatales cuando se perdió el control sobre fuentes altamente radiactivas, las que, no reconocidas como tales, cayeron en poder del público.

“El panorama general parece claro y bien documentado, aun cuando algunos accidentes radiológicos graves (por ejemplo, exposición de las manos de trabajadores de radiografía industrial) podrían no haber sido registrados; en tal sentido, no se halla disponible información que hubiera resultado útil para prevenir accidentes similares. En comparación con el número de víctimas fatales causadas todos los años por otros tipos de accidentes industriales, aquéllas debidas a la exposición accidental a la radiación, registradas durante 40 años, son pocas [véase el Cuadro VIII]. Sin embargo, el resultado relativamente bueno en materia de seguridad de las aplicaciones de la radiación no justifica la complacencia, por lo que se deben tomar medidas efectivas —especialmente donde sea practicable— para reducir los riesgos de tales accidentes.”

Apéndice IV

LECCIONES APRENDIDAS POR LA CNEN

Las siguientes lecciones fueron aprendidas por la CNEN a partir del accidente de Goiânia:

- 1) Un accidente radiológico que implique contaminación debido a la ruptura de una fuente radiactiva puede agravarse si transcurre mucho tiempo antes del descubrimiento del accidente.
- 2) Las propiedades físicas y químicas de una fuente radiactiva son factores importantes en un accidente. Los registros de fuentes selladas deberían contener tal información. Se sugiere que las propiedades físicas y químicas de las fuentes se tengan en cuenta en el licenciamiento de fabricación de tales fuentes, enfatizando las posibles consecuencias de accidentes o mal uso.
- 3) Un sistema adecuado de información es esencial para prevenir que el público entre en pánico. En general, el público debería ser puesto al tanto de lo que es la radiación y de sus aplicaciones; para ello, los medios de comunicación deberían disponer de un folleto que explique los términos especiales y las unidades relacionadas con la radiación. Si ocurriera una emergencia radiológica, debería organizarse un grupo para suministrar la información necesaria a la Asamblea Legislativa, escuelas, iglesias y asociaciones comunitarias, etc., así como a los medios de prensa. Debería instruirse al personal que trabaja en la descontaminación y la atención de las víctimas para comunicar información a la población en forma tal que ésta pueda comprenderla. El contacto del personal con las personas afectadas en el accidente de Goiânia demostró ser muy importante: el público midió la gravedad de la contaminación por las reacciones de los trabajadores. La gente más afectada por el accidente juzgaba si sus casas estaban realmente libres de contaminación por la aceptación de agua o café por parte del personal de la CNEN.
- 4) Luego de un accidente radiológico que cause una contaminación grave, se debería establecer un sistema de apoyo social y psicológico adecuado. El apoyo psicológico debería brindarse a aquellos individuos directa o indirectamente afectados por el accidente y al personal que trabaja en la respuesta a la emergencia. Debería haber psicólogos disponibles formando parte del grupo responsable de tomar decisiones rápidas y de planificar las acciones a realizar, aconsejándolo y evaluando las tensiones emocionales que puedan sufrir las víctimas.

- 5) La eficacia de la ayuda internacional luego de un accidente radiológico depende de la infraestructura del país involucrado. Los cursos de entrenamiento para emergencias deberían dictarse tanto en los países en desarrollo como en los países desarrollados, donde las instalaciones están disponibles y funcionan bien. En general, estos programas tratan sobre emergencias afrontadas por organizaciones poderosas bajo condiciones conocidas de antemano. En muchos países, las circunstancias son muy distintas, el equipamiento es diferente, el clima es adverso y las cosas son administradas en forma diferente.
- 6) Debería estar disponible todo el tiempo un sistema móvil de primeros auxilios, transportable por vía aérea.
- 7) Las organizaciones internacionales apropiadas deberían considerar la preparación de un registro del equipamiento radiológico disponible, listo para ser usado. Tales organizaciones deberían considerar también el tener a mano un conjunto de equipos radiológicos listos para ser embarcados. Las normas aduaneras deberían ser reformadas para facilitar la importación y reexportación de materiales y/o equipamiento. Debería considerarse el establecimiento en todos los continentes de centros regionales para la atención de emergencias.
- 8) La instrumentación debería poder ser adaptada para resistir condiciones ambientales inestables, tales como porcentajes de humedad y temperaturas elevados. El personal que utiliza los instrumentos debería ser entrenado para poder obtener una indicación clara de la respuesta a la tasa de dosis, para un amplio rango de dosis, y para conocer los equipos más adecuados y sus factores de calibración.
- 9) Se deberían mantener registros de los recursos de personal disponible de acuerdo a su especialidad. En cada área de acción, debería haber expertos preparados para que, en caso de una emergencia, fueran contactados para brindar apoyo a los equipos locales de protección radiológica, participar activamente en la toma de decisiones, aconsejar medidas de intervención, y colaborar en todo trabajo que deba realizarse. La experiencia del accidente de Goiânia indicó que los informes supuestamente “mejores” habían sido preparados, en realidad, por especialistas que no habían participado en la respuesta.
- 10) Se considera indispensable disponer de un lugar de depósito temporario de desechos radiactivos cercano al área afectada por un accidente radiológico. Un retraso —habitualmente de origen político— en la decisión sobre el emplazamiento de tal depósito podría dar lugar a una mayor dispersión de material radiactivo en el medio ambiente.
- 11) Debería estar disponible una infraestructura de personal en ingeniería civil para participar en el trabajo de descontaminación.
- 12) Las jerarquías para la toma de decisiones y la organización de los equipos de trabajo luego de un accidente radiológico deberían estar bien definidas. La asignación de responsabilidades en el proceso de decisión, desde la planificación a la acción y evaluación de las consecuencias, debería ser muy clara, y

cada grupo debería estar seguro de la función que cumple. De ser posible, los equipos deberían estar integrados por un líder que encabece el grupo en condiciones normales de trabajo.

- 13) En general, es muy importante elaborar un programa de inspección del equipamiento radiológico y de las instalaciones; sin embargo, éste es efectivo sólo si se complementa con algún sistema coercitivo, tal como la asignación de responsabilidades civiles o profesionales al licenciar las fuentes radiactivas.

Anexo I

EQUIPAMIENTO PARA EL RELEVAMIENTO RADIOLOGICO

En este anexo se detalla el equipamiento para el relevamiento radiológico y monitoreo utilizado luego del accidente de Goiânia, con una evaluación del grupo de instrumentación que supervisó su utilización y sus observaciones sobre el uso del equipamiento. El Cuadro IX proporciona una evaluación del comportamiento de los monitores de tasa de dosis. El Cuadro X presenta una evaluación similar para los monitores de contaminación.

Observaciones

A partir de su experiencia en el uso del equipamiento, el equipo de la CNEN hizo las siguientes observaciones:

- 1) Para proteger los monitores contra el medio ambiente que los rodeaba, particularmente de la contaminación radiactiva y del agua de lluvia, fue necesario colocarlos en bolsas plásticas. Esto, por sí, causó alguna dificultad para hacer las lecturas de las mediciones y en la manipulación general de los instrumentos.
- 2) Hubo constantemente problemas con los cables de los instrumentos que tenían sondas remotas. Frecuentemente podían ser reparados, pero para ello fue necesario adquirir un gran stock de cables de repuesto.
- 3) Las señales audibles resultaron muy útiles en el monitoreo de la contaminación, pero en presencia del público (tal como en el monitoreo de viviendas) fue necesario silenciar los monitores, dado que los sonidos provocaban alarma.
- 4) Los contadores proporcionales y las cámaras de ionización eran sensibles a los niveles elevados de humedad, por lo que resultaron de menor utilidad. Las cámaras de ionización eran también sensibles a las temperaturas elevadas.
- 5) El equipamiento con lectura digital era sensible a la temperatura y difícil de leer a la luz solar brillante, particularmente cuando los monitores se encontraban en bolsas plásticas.
- 6) El agua de lluvia (frecuentemente copiosa) se introducía dentro de las secciones telescópicas de los monitores Teletector, por lo que había que secarlos con un secador de cabello.
- 7) Se utilizó gas combustible de encendedor para operar los contadores proporcionales. Desafortunadamente, se encontró que la calidad de este gas en Brasil era inadecuada; los contadores se bloqueaban, produciéndose así una elevada tasa de errores.
- 8) Varios monitores tenían tiempos de respuesta lentos; esto resultó importante en las fases tardías de la respuesta al accidente, cuando prevalecieron las tasas de dosis y niveles de contaminación menores.
- 9) Seguidamente, se consiguieron monitores de tasa de dosis por centelleo. Estos estaban diseñados para el trabajo de prospección geológica. Podían medir fácilmente los niveles

CUADRO IX. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MONITORES DE TASA DE DOSIS

Tipo	Cantidad utilizada	Robustez	Capacidad de recuperación bajo condiciones adversas	Respuesta	Nº de fallas o reparaciones
Tubos GM	27	Muy buena	Muy buena	Muy buena	3
Contadores proporcionales	2	Muy buena	Aceptable	Excelente	1
Cámaras de ionización	16	Muy buena	Aceptable	Pobre a bajas tasas de dosis	1
Teledetectores (monitores telescópicos)	7	Muy buena	Aceptable	Excelente	1
Teledetectores (articulados)	3	Muy buena	Muy buena	Buena	0

CUADRO X. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MONITORES DE CONTAMINACION

Tipo	Cantidad utilizada	Robustez	Capacidad de recuperación bajo condiciones adversas	Respuesta	Nº de fallas o reparaciones
Tubos GM de ventana fina terminal (end window)	11	Muy buena	Muy buena	Excelente	3
Contadores proporcionales	7	Pobre	Buena	Excelente	5
Tubos GM con ventana lateral (side window)	2	Muy buena	Muy buena	Adecuada	0
Detectores centelleadores	3	Muy buena	Muy buena	Muy buena	0

de radiación de fondo y tenían un tiempo de respuesta muy rápido. Se encontró que eran muy útiles para identificar rápidamente pequeños focos puntuales de contaminación radiactiva. Como una muestra de la utilidad de su velocidad de respuesta, uno de estos monitores detectó un paquete de papel contaminado sobre un camión que se desplazaba a 60 km por hora. Su sensibilidad era tal que, bajo ciertas circunstancias, podían ser también utilizados para monitorear contaminación.

- 10) Aunque el personal del grupo de respuesta inicial estaba familiarizado con las técnicas de monitoreo, tuvo que usar equipamiento cuyas características y capacidad de prestación no conocía bien. Más aún, a medida que el trabajo progresaba, fue necesario contratar mucho personal especializado en protección radiológica que tenía poca experiencia práctica directa en el trabajo de monitoreo, por lo que se debió brindarle un entrenamiento básico. De todos modos, surgieron algunos problemas causados por la adopción de diferentes registros de medición.

Anexo II

PAUTAS SEGUIDAS PARA DAR DE ALTA A LOS PACIENTES

**Protocolo adoptado por las autoridades brasileñas
para dar de alta a pacientes con
contaminación interna debida a la incorporación de cesio 137
sobre la base de criterios relacionados solamente con la protección radiológica
de otras personas y del medio ambiente**

Límites recomendados

Se recomienda que se lleve a cabo el monitoreo en contadores de todo el cuerpo y la recolección de la orina de 24 horas en los individuos potencialmente contaminados internamente o en los pacientes hospitalizados con contaminación interna. Se recomienda además que sólo sean dadas de alta del hospital para reintegrarse a la comunidad aquellas personas cuyos niveles de actividad corporal de cesio 137 sean inferiores a los valores relevantes proporcionados en el Cuadro XI, y aquellas en cuya orina se detecte una actividad media inferior a $15 \text{ kBq} \cdot \text{L}^{-1}$ ($0,4 \mu\text{Ci} \cdot \text{L}^{-1}$).

Bases teóricas

El límite de descarga del cesio 137 en la red cloacal —de acuerdo con las normas brasileñas CNEN-ME-6.05, “Manejo de las Descargas Radiactivas en Instalaciones Radiológicas” (1985)— es de $15 \text{ kBq} \cdot \text{L}^{-1}$ ($0,4 \mu\text{Ci} \cdot \text{L}^{-1}$). De hecho, este límite indica la cantidad de cesio 137 que, diluida en el volumen diario promedio de residuos líquidos descargados por la instalación, resultará en una concentración media de $15 \text{ kBq} \cdot \text{L}^{-1}$ ($0,4 \mu\text{Ci} \cdot \text{L}^{-1}$).

Se sugiere que este límite de $15 \text{ kBq} \cdot \text{L}^{-1}$ sea aplicado a la actividad en la orina como criterio para dar de alta del hospital a los pacientes con contaminación interna. Este límite no tiene en cuenta la dilución de la orina en los artefactos sanitarios o cañerías de desagüe.

Se confirmó que el efecto mayor del Azul de Prusia (Radiogardase^R) es el de causar una tasa de excreción fecal de cesio más de tres veces mayor que la tasa de excreción de cesio en orina; esto es, a una tasa de eliminación de $15 \text{ kBq} \cdot \text{L}^{-1}$ en orina le podrían corresponder hasta $45 \text{ kBq} \cdot \text{L}^{-1}$ o más en heces. Sin embargo, en este último caso debería tenerse en cuenta la dilución en el sistema sanitario: el volumen de dilución alcanzaría aquí por lo menos 4 L. Por esta razón, la materia fecal con este nivel de actividad puede eliminarse por el sistema sanitario sin exceder el límite de descargas radiactivas.

Los límites individuales de actividad debida al cesio 137 en el cuerpo sugeridos son lo suficientemente bajos como para que su cumplimiento no implique riesgo alguno de exposición externa para otras personas.

El Cuadro XII proporciona las tasas de dosis en contacto y a 0,3 m de un cilindro con los niveles de actividad proporcionados en el Cuadro XI, distribuidos uniformemente; las dimensiones del cilindro han sido modeladas de acuerdo con los respectivos grupos de edad.

CUADRO XI. ACTIVIDADES MAXIMAS EN EL CUERPO SUGERIDAS PARA DAR DE ALTA A PACIENTES DEL HOSPITAL, CALCULADAS EN FUNCION DE LA EDAD Y DEL TIEMPO TRANSCURRIDO DESDE LA INCORPORACION DE CESIO 137

Tiempo después de la incorporación (días)	Máxima actividad en el cuerpo (μCi) ^a					
	Recién nacidos	Un año	Cinco años	Diez años	Quince años	Adultos
15	4,4	4,2	8,1	19,2	51,8	105,4
30	4,4	4,2	10,2	28,9	60,0	110,7
45	4,4	4,4	11,8	34,4	69,0	110,7
60	4,4	4,6	12,8	36,4	69,0	110,8
75	4,4	4,7	13,3	37,0	69,0	110,7
90	4,4	4,8	13,5	37,2	69,0	110,7
105	4,4	4,9	13,6	37,3	69,0	110,7
120	4,4	4,9	13,7	37,3	69,0	110,7
135	4,4	5,0	13,7	37,3	69,0	110,8
150	4,4	5,0	13,7	37,3	69,0	110,8
165	4,4	5,0	13,7	37,3	69,0	110,8
180	4,4	5,1	13,7	37,3	69,0	110,8
240	4,5	5,7	13,7	37,3	69,0	110,8
300	4,5	4,1	13,7	37,3	69,0	110,7
360	4,4	0,79	13,9	37,3	69,0	110,7

^a 1 μCi = 37 kBq.

CUADRO XII. TASAS DE EXPOSICION CORRESPONDIENTES A LAS MAXIMAS ACTIVIDADES CORPORALES PROPORCIONADAS EN EL CUADRO XI

Actividad corporal (μCi) ^a	Tasa de exposición ($\text{mR} \cdot \text{h}^{-1}$) ^b	
	En contacto	A 0,3 m
<i>Recién nacidos</i>		
4,4	0,13	0,008
<i>Un año</i>		
4,2	0,05	0,005
4,4	0,05	0,005
4,6	0,06	0,006
4,7	0,06	0,006
4,8	0,06	0,006
4,9	0,06	0,006
5,0	0,06	0,006
5,7	0,07	0,007
4,1	0,05	0,005
0,79	0,01	0,001
<i>Cinco años</i>		
8,1	0,04	0,007
10,2	0,05	0,008
11,8	0,06	0,010
12,8	0,07	0,011
13,3	0,07	0,011
13,5	0,07	0,011
13,6	0,07	0,011
13,7	0,07	0,011
<i>Diez años</i>		
19,2	0,06	0,011
28,9	0,09	0,017
34,4	0,10	0,020
36,4	0,11	0,021
37,0	0,11	0,021
37,2	0,11	0,021
37,3	0,11	0,021

CUADRO XII. (cont.)

<i>Quince años</i>		
51,8	0,09	0,021
60,0	0,10	0,024
69,0	0,12	0,028
<i>Adultos</i>		
105,4	0,13	0,034
110,7	0,14	0,036
110,8	0,14	0,036

^a 1 μCi = 37 kBq.

^b 1 mR = 0.258 $\mu\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Anexo III

PROTECCION RADIOLOGICA

Protección operacional en las instalaciones médicas

Casi todos los pacientes hospitalizados en el Hospital General de Goiânia y en el Hospital Naval Marcilio Dias tenían cantidades importantes de contaminación interna como resultado del accidente, especialmente los del segundo. Esto ocasionó tanto irradiación externa como importantes problemas de contaminación interna. Por ejemplo, las tasas de dosis gamma medidas cerca de los pacientes a su llegada al hospital variaban entre $10 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ y $15 \text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ (cerca de heridas contaminadas). Fue necesario entonces implementar un amplio programa de monitoreo y supervisión en protección radiológica, el que debió integrarse con los requerimientos médicos prioritarios. Debieron establecerse áreas controladas en los pabellones del hospital, con barreras y procedimientos de trabajo apropiados; también hubo que equipar una instalación separada para descontaminación.

El monitoreo biológico de las excretas resultó claramente necesario. Las muestras mismas, con niveles de actividad de hasta $30 \text{MBq}\cdot\text{L}^{-1}$ (orina) y $75 \text{MBq}\cdot\text{L}^{-1}$ (heces) plantearon problemas de contaminación, tanto en el hospital como en las instalaciones de monitoreo (véase la Sección 6.1). Sin embargo, desde el punto de vista de la protección radiológica, causó más dificultades el hecho de que el cesio 137 fuera eliminado con el sudor de los pacientes. Aunque los pacientes podían ser descontaminados periódicamente, se comportaban como fuentes móviles regenerables de contaminación.

Se realizaron mediciones rutinarias de la contaminación para determinar la necesidad de proceder a la descontaminación. Cuando era aceptable desde el punto de vista médico, los pacientes se descontaminaban ellos mismos duchándose. Se registraron los datos básicos sobre los niveles de contaminación radiactiva en las áreas controladas. Aunque las variaciones en los registros de medición dificultaron la interpretación de los resultados, se encontraron frecuentemente niveles de 10^5 - $10^6 \text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ en las áreas controladas. Dada la posibilidad de resuspensión del material contaminado, se monitoreó el aire en algunos pabellones del Hospital Naval Marcilio Dias; sin embargo, los niveles de actividad hallados resultaron bajos. También se monitorearon los efluentes líquidos y sólidos.

Para facilitar la descontaminación, se colocaron —donde era posible— láminas de plástico sobre el suelo y en las paredes. La experiencia adquirida durante la primera y segunda semana aproximadamente indicó la necesidad de modificar algunos de los procedimientos de trabajo. Se adoptaron procedimientos especiales para llevar a cabo las autopsias de las cuatro víctimas fatales.

Para brindar una atención en física radiosanitaria adecuada en el Hospital Naval, fueron necesarios dos turnos de 12 horas realizados por cuatro especialistas en los pabellones, para el control de acceso y para el monitoreo de personal y de los residuos. Otros cuatro fueron necesarios para hacerse cargo de la descontaminación de áreas y ropas, y para coordinar el transporte y movimiento de los pacientes.

El personal que ingresaba en las áreas controladas fue monitoreado con dosímetros de película y con dosímetros-lapicera, y donde hubiera habido contacto con los pacientes, con dosímetros termoluminiscentes (TLD) en los dedos. Durante el período de hospitalización de los pacientes, ninguna dosis profesional superó los 5 mSv.

Protección operacional en Goiânia

Las acciones correctoras realizadas en Goiânia implicaron una importante posibilidad de incurrir en exposición profesional, tanto externa como interna, por lo que debieron dedicarse recursos al control de la misma. Los principios básicos observados y los procedimientos adoptados fueron aquéllos comunes a la mayoría de los establecimientos relacionados con la radiación. Sin embargo, las circunstancias bajo las que estos procedimientos fueron puestos en práctica, en condiciones ambientales adversas y en instalaciones que no estaban diseñadas para usos radiológicos, fueron inusuales. Se requirió entonces un enfoque pragmático que combinara la amplitud de criterio con una profunda comprensión de la protección radiológica.

En los focos principales de contaminación había numerosos puntos donde las tasas de dosis eran del orden de decenas de milisieverts por hora; en algunos superaban $1,0 \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$. Durante la descontaminación hubo que planificar el trabajo en estas áreas; las dosis esperadas constituían a menudo un factor limitante. Para ayudar en esta planificación y en el control general de dosis, se fijaron límites autorizados de dosis para diversos períodos, a saber:

- 1,5 mSv por día;
- 5,0 mSv por semana;
- 15,0 mSv por mes; y
- 30,0 mSv por trimestre.

Las dosis profesionales fueron monitoreadas utilizando dosímetros de película, pero el control continuo de dosis se basó principalmente en las lecturas diarias tomadas de los dosímetros-lapicera. En total, se usaron 450 de estos instrumentos (75 de ellos provistos por el OIEA y 221 por Francia). La utilización de los dosímetros-lapicera se vio afectada por el nivel elevado de humedad en el medio ambiente, problema agravado por el hecho de ser usados entre dos conjuntos de ropas que provocaban su fácil descarga si no se tenía cuidado con los capuchones. Un punto importante que podría ser considerado por quienes planifican la respuesta a emergencias es la provisión de dosímetros de lectura directa a los que operan en el área de influencia de los accidentes.

El control de la contaminación, que requirió el uso de vestimentas protectoras apropiadas y la adopción de prácticas de trabajo adecuadas, representó una dificultad importante. Las condiciones ambientales de trabajo eran tales que los mamelucos descartables comunes eran inadecuados, por lo que se utilizaron en su lugar mamelucos de tela. Para lavarlos, debió instalarse una lavandería especial, aunque algo primitiva. Las prácticas de trabajo adecuadas fueron promovidas mediante la supervisión, el entrenamiento y el uso de procedimientos escritos. El entrenamiento fue particularmente relevante dado que, como suele suceder en todo accidente importante, el equipo de trabajo incluyó a numerosas personas que habían tenido poca o ninguna experiencia previa en el trabajo con radiaciones (en este caso, alrededor de

dos terceras partes de los trabajadores). Aun muchos miembros del personal profesional carecían de experiencia operacional directa y requirieron de algún entrenamiento.

Monitoreo del personal

Exposiciones debidas a dosis externas

En total, 755 trabajadores participaron de alguna forma en la respuesta al accidente de Goiânia. Ellos estuvieron trabajando en los depósitos de material de rezago I, II y III; en la Rua (calle) 57, donde la cápsula de la fuente fue rota; donde se hallaron los paquetes de papel contaminado; en el repositorio de desechos; en el Hospital de Enfermedades Tropicales; en otros hospitales en Goiânia; y en el Hospital Naval Marcilio Dias, en Río de Janeiro. Los diferentes grupos se desempeñaron en las áreas de instrumentación y dosimetría, administración, descontaminación, viviendas, en la detección de otros lugares contaminados y en la recepción de quejas del público.

De estos trabajadores, sólo 262 habían trabajado previamente o habían recibido algún entrenamiento en el trabajo de protección radiológica. Los otros habían trabajado con radiación ionizante sólo ocasionalmente; fueron convocados para desempeñarse en la respuesta al accidente debido a sus especialidades (por ejemplo, dosimetristas).

La dosimetría personal de todos los trabajadores se realizó utilizando dosímetros de película, los cuales se remplazaban transcurrido un mes o al final de cada período de trabajo. Los dosímetros eran enviados al Instituto de Protección Radiológica y Dosimetría (IRD), en Río de Janeiro, y los resultados eran devueltos a un sistema de control central en Goiânia.

Aunque el uso de dosímetros-lapicera (EFC) estaba inicialmente restringido a un grupo muy pequeño, en realidad los usaron unas 450 personas. El control dosimétrico de los mismos se hacía diariamente. Cada mañana, cada trabajador recogía su dosímetros-lapicera (0–200 mR y 0–5 R); al final del día se registraba la dosis en un legajo individual, en el que también se incluía el área de trabajo en la que desempeñaba el trabajador. Este legajo era procesado con un programa de computadora que compilaba los datos.

Los dosímetros de película fueron provistos por el IRD. Los dosímetros-lapicera fueron enviados desde diversos laboratorios; algunos fueron calibrados en las instituciones de donde provenían (más de la mitad fueron calibrados en el IRD). Para probar el funcionamiento de los dosímetros-lapicera, ocho de ellos eran elegidos al azar todos los días y se los exponía a fuentes de cesio 137 durante la noche. A la mañana siguiente se registraban sus lecturas, así como sus desviaciones del valor esperado. Todos los que mostraban un error superior al 20% eran descartados.

Los 583 valores acumulados de dosis, registrados para un total de 755 trabajadores en el período transcurrido desde el 30 de septiembre al 21 de diciembre de 1987, muestran que el 67,6% de los trabajadores recibió una dosis inferior a 1 mSv y el 100% recibió menos de 16 mSv. Este último valor es inferior a 30 mSv, el límite trimestral autorizado por la CNEN para este accidente. Se determinó la dosis media para cada grupo específico de trabajo. El valor mayor correspondió al grupo que trabajó en la descontaminación de los focos principales de contaminación: 4,7 mSv en tres meses.

Contaminación interna

Un total de 194 personas que participaron profesionalmente en la respuesta al accidente fueron monitoreadas en el contador de todo el cuerpo del IRD para detectar indicios de contaminación interna. De éstas, 38 personas tenían una cantidad de material radiactivo en el cuerpo que superaba el nivel mínimo detectable de actividad (74 Bq para un conteo de 30 min). El mayor nivel de actividad corporal fue de $2,0 \pm 0,3$ kBq, que corresponde a una dosis equivalente integrada de alrededor de 10 mSv.

Exposición del público

Los relevamientos radiométricos y las estimaciones de exposición externa indicaron que las dosis incurridas por el público en los lugares identificados como focos de contaminación, fueron las siguientes:

a) Cerca de los focos

- En la casa de la Rua (calle) 57, detrás del número 68, se estimaron dosis debidas a la radiación externa de 0,08 a 0,12 Sv (teniendo en cuenta el período transcurrido desde la ruptura de la fuente hasta el aislamiento del área). Cinco personas vivían en esta casa.
- En las otras viviendas adyacentes de la Rua (calle) 57, se estimaron dosis integradas debidas a la radiación externa de 0,8 mSv a 0,012 Sv.
- En las cercanías de los otros focos principales, se estimaron dosis integradas debidas a la radiación externa de 0,2 a 9 mSv.

b) Lugares lejanos

- En Anapolis, tres casas tenían exposiciones puntuales de hasta $250 \text{ mR} \cdot \text{h}^{-1}$ ($1 \text{ R} = 258 \mu\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$); en otras tres, situadas en Aparecida de Goiânia, había puntos con tasas de exposición de hasta $30 \text{ mR} \cdot \text{h}^{-1}$. Estas viviendas constituyeron casos excepcionales, dado que habían sido visitadas por personas que habían estado en contacto directo con cesio 137.

c) En las calles

- Las dosis integradas en las calles durante este período fueron estimadas entre 1,12 mSv y 1,73 mSv.

d) Transporte de los restos del portafuente

- Se realizó una reconstrucción del interior del ómnibus en el que los restos del portafuente fueron llevados por M.F.1 y G.S. desde el depósito de material de rezago III, ubicado en la Rua (calle) P-19, a la Vigilância Sanitária, situada en la Rua (calle) 16 A. Esto permitió hacer una estimación de la dosis máxima que un hipotético pasajero, ubicado en la posición más desventajosa respecto de la fuente, recibiría en 15 minutos, período máximo estimado del viaje. Se determinó que esta dosis no habría superado los 0,3 Sv en las piernas. A una distancia de 1,40 m de la fuente, este valor disminuiría a 0,04 Sv, sin tener en cuenta cualquier blindaje adicional del haz de radiación.

e) *Vigilância Sanitária*

- Se realizaron investigaciones para identificar a los trabajadores de la *Vigilância Sanitária* que podrían haber estado en contacto directo con la fuente, o que habrían estado en las cercanías del patio donde el 28 de septiembre se depositaron los restos de la fuente.

Sobre la base de esta información, se concluyó que muchas personas podrían haber estado potencialmente expuestas. Las determinaciones realizadas sobre estas personas permiten comprobar que sólo cuatro de ellas habrían recibido dosis medibles, estimadas por análisis citogenético; a saber: 0,2 Gy, 0,3 Gy, 0,5 Gy y 1,3 Gy. La única persona con un nivel detectable de contaminación interna incorporó 0,74 GBq. Estas personas están siendo controladas cuidadosamente —a través de una evaluación clínica y analítica regular— por especialistas en medicina radiosanitaria de la CNEN y por el plantel de médicos del Ministerio de Salud del Estado de Goiás.

Menos de 1000 personas incurrieron en dosis causadas por irradiación externa superiores a la dosis anual debida a la radiación natural de fondo. La reconstrucción preliminar de las condiciones, basada en el inventario de la fuente en estos lugares, permitió establecer que más del 97% de estas 1000 personas recibieron dosis entre 0,2 Sv y 0,01 Sv.

Desde el 30 de septiembre al 22 de diciembre, el centro de atención de la CNEN, ubicado en el Estadio Olímpico de Goiânia, monitoreó alrededor de 112 000 personas. En 249 de ellas se identificaron dosis externas o internas que indicaban contaminación; 129 presentaron signos de irradiación externa y de contaminación interna. Los análisis biológicos y los monitoreos realizados en el contador de todo el cuerpo instalado por la CNEN en Goiânia arrojaron los resultados que se muestran en el Cuadro XIII.

CUADRO XIII. DOSIS INCURRIDAS EN EL ACCIDENTE DE GOIANIA

Nº de personas	Dosis integrada durante 70 años (Sv)
45	< 0,005
42	0,005–0,05
33	0,05–1,0
4	1–2
2	2–3
1	3–4
1	5–6
1	7

De este último grupo fueron hospitalizadas 49 personas; de éstas, 20 víctimas requerían cuidados médicos intensivos. Diez de estos pacientes estuvieron en situación crítica, con complicaciones en la evolución clínica y radiodermatitis. Cuatro pacientes murieron y se amputó el antebrazo de otro. Los que sobrevivieron fueron dados de alta después de ser sometidos a tratamientos de descontaminación interna y externa; al momento de redacción de este informe se encuentran bajo control médico como pacientes externos.

Anexo IV

DESCONTAMINACION QUIMICA

(El siguiente es un resumen de las notas preparadas por los expertos brasileños sobre las técnicas de descontaminación utilizadas en el accidente de Goiânia.

Se asume que se publicará en la literatura especializada una descripción técnica más detallada de tales procedimientos.)

Contaminación con cesio en Goiânia: aspectos químicos

El mecanismo de la contaminación con cesio se analiza después de la discusión de los métodos de descontaminación. El cloruro de cesio 137 de la fuente original (mezclado con una matriz soporte) es lixiviado por el agua y las soluciones o sustratos acuosos. La energía de unión de los cristales de cloruro de cesio es baja y su solubilidad en agua es muy alta (aproximadamente 2 kg por kg de agua, a 30°C). Los iones $(\text{Cs}^+)_{\text{aq}}$ son algo más pequeños que los iones $(\text{K}^+)_{\text{aq}}$, y los sustituyen fácilmente en los compuestos de baja solubilidad, tales como silicatos e intercambiadores iónicos, minerales u orgánicos. Estos procesos implican un equilibrio termodinámico y, aunque los compuestos del Cs^+ con aniones grandes son menos solubles que los compuestos del K^+ y los iones Cs^+ sustituyen fácilmente a los iones alcalinos en los intercambiadores de iones, los iones Cs^+ pueden ser desplazados por los iones K^+ y aún por los iones Na^+ , debido a efectos de concentración.

Los principales afectados por el transporte del ion (Cs^+) y la contaminación fueron las personas y los animales, suelos (varios silicatos, principalmente la arcilla, un silicato doble con propiedades de intercambio iónico, especialmente para iones Cs^+), soluciones acuosas y cemento.

Al hidratarse el cloruro de cesio original se liberaban iones Cs^+ . Estos eran absorbidos por la piel de las personas, por los estratos acuosos de suelos y por las edificaciones. (Estas podrían denominarse "contaminaciones primarias".) En los suelos, los iones Cs^+ fueron retenidos por los silicatos arcillosos por intercambio iónico, así como por los silicatos del hormigón y del cemento.

Las personas se contaminaron seriamente por este proceso primario. De la piel, los iones Cs^+ fueron transferidos a los músculos y al torrente sanguíneo. En algunos casos, el cesio fue ingerido, llevando los iones Cs^+ directamente al estómago e intestinos, y al torrente sanguíneo.

Una serie de procesos secundarios se desarrollaron a partir del suelo contaminado: las personas, los animales y el agua de lluvia transfirieron la contaminación a las construcciones, causando la transferencia de iones Cs^+ por mecanismos competitivos. El suelo contaminado formó polvo, que transportó iones Cs^+ a la piel, a los edificios y techos, etc. Allí, con ayuda de soluciones acuosas o agua de lluvia, los mecanismos de equilibrio causaron nuevamente contaminación secundaria. Las personas inhalaban aire contaminado con polvo, dando lugar también a contaminación secundaria.

Un importante nivel de contaminación primaria y secundaria fue causado por las personas y los animales al transportar la fuente original y transfiriendo iones Cs^+ con el sudor, la orina, la saliva y las heces. Estos agentes de contaminación entregaban iones Cs^+ en una forma muy soluble, absorbida más intensamente que si fuese transportada por el suelo o el polvo. Esta contaminación interactuó en forma mucho más fuerte con el cemento, hormigón, pinturas, materiales orgánicos sintéticos y resinas fenólicas. Algunas pinturas al aceite contienen Azul de Prusia como pigmento. Se sabe que este pigmento retiene fuertemente los iones Cs^+ como resultado del intercambio iónico con los iones K^+ (o iones Fe^{3+} , en un proceso menos favorable).

Trabajo preparatorio de laboratorio

El Laboratorio de Análisis de Minerales del IRD realizó análisis químicos de apoyo y un estudio de la cinética de remoción de los iones Cs^+ por los iones ferrocianuro (Azul de Prusia), $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, en suspensión, con el fin de lavar a las personas contaminadas en el Hospital Naval Marcilio Dias. Una suspensión del 0,5% de Azul de Prusia demostró retener al 99,9% de los iones Cs^+ por intercambio con los iones K^+ . El producto (del Laboratorio Farmacéutico de Marinha, Río de Janeiro) resultó ser $\text{K} \cdot \text{Fe} \cdot \text{Fe}(\text{CN})_6$ (denominado PBK), con una solubilidad inferior a 10–12. En comparación, los ensayos con pigmentos comerciales de Azul de Prusia dieron sólo un 30% de retención. Se realizaron entonces estudios adicionales del Azul de Prusia, sobre sorción y desorción de cesio 137 en suelos muy arcillosos; sobre la descontaminación de orina y residuos líquidos; y sobre los reactivos para la descontaminación personal.

Sorción y desorción del suelo

Se hizo pasar la orina conteniendo cesio 137 a través de columnas de 1 L de capacidad, rellenas con suelo de características similares al de Goiânia. (Paralelamente, se realizaron extracciones discontinuas —“en batch”—). Se propuso la utilización de alumbre de potasio y cemento Portland, en suspensión, como fijadores de iones Cs^+ en suelos como el del patio de la vivienda de R.A., donde quedaban quizás 18 TBq (500 Ci) de cesio 137. Los ensayos demostraron que las soluciones de alumbre (conteniendo iones K^+ , Al^{3+} y SO_4^{2-}) desorbían los iones Cs^+ por intercambio con los iones K^+ y por coagulación de minerales arcillosos. La mejor retención fue obtenida por precipitación con PBK. (Se rechazó una propuesta de usar caolín (arcilla de China), dado que tales suspensiones son filtradas por los suelos, retardan la percolación y tienen una capacidad menor de captar cesio.)

Procesos de descontaminación para orina y desechos líquidos

En ensayos realizados sobre intercambiadores de iones, el cesio 137 fue extraído muy eficazmente por resinas catiónicas fuertemente ácidas y cargadas con PBK, aun en presencia de altas concentraciones de iones Na^+ , Ca^{2+} y Al^{3+} . Las resinas aniónicas de intercambio cargadas con PBK tuvieron menor eficacia. En los trabajos de descontaminación y en los hospitales de Goiânia, se usaron columnas de 1 L de capacidad (2 pulg \times 0,5 m) de cloruro de polivinilo (PVC).

Productos para la descontaminación externa de las personas

Se aplicaron en la piel cremas y geles que contenían intercambiadores de iones. Los iones Cs^+ , ubicados en la superficie de la piel y transferidos internamente por procesos de transporte y equilibrio químico, eran así remplazados por los iones Na^+ , H^+ o K^+ , dependiendo del material de intercambio: resina de intercambio catiónico con Na^+ (RNa, tipo poliestireno sulfonado); resinas de ión H^+ (RH); o resina de PBK (RAPK). La carboximetilcelulosa, la glicerina y el caolín producían cremas consistentes, que formaban fácilmente capas de 2–5 mm sobre la piel. La resina RNa —que intercambia iones Na^+ por iones Cs^+ — era más suave sobre la piel, pero la RH —que produce HCl sobre la piel— causaba irritación. La resina RAPK era la más activa. (Basándose en estos ensayos, el Hospital General de Goiânia usó RAPK para tratar a los pacientes contaminados).

El trabajo de descontaminación química

Con personal del IRD, IPEN, IEN, NUCLEBRAS, FURNAS y de la Universidad Federal de Río de Janeiro, se formó un grupo de veinte personas para llevar a cabo tareas de descontaminación química, en un laboratorio de campaña situado en la Rua (calle) 57, en Goiânia. El entrenamiento de campaña estaba dirigido a tratar la clase de problemas que el grupo de descontaminación química debería afrontar y la selección de los procesos más adecuados para cada situación.

De acuerdo a las circunstancias, en cada subgrupo de dos a cuatro personas se elegía habitualmente una para monitorear. Los detectores de contaminación superficial fueron los instrumentos más utilizados. Se procedía a la descontaminación química cuando se encontraba contaminación con tasas de exposición de hasta $15 \text{ R} \cdot \text{h}^{-1}$ ($1 \text{ R} = 258 \mu\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$).

El siguiente listado ilustra la variedad de elementos que debieron ser descontaminados químicamente:

- Vigilância Sanitária: pisos, paredes, mesas, máquinas de escribir, sillas, hormigón;
- Hospital General de Goiânia: cuartos, sala de descontaminación, baños, pisos, ventanas;
- Hospital de Enfermedades Tropicales: dormitorios, pisos de cerámica, baños;
- COOJ (instituto para niños y jóvenes): cuartos, sillas, paredes, puertas, restaurantes, baños, pileta de natación;
- Un bar: mesas metálicas, sillas, pisos de cemento;
- Construcción no demolida en el depósito de material de rezago I: piso de hormigón, paredes, techos, automotores, herramientas, máquinas, motores;
- Depósito de material de rezago II: los restos del montaje giratorio (excluyendo la cápsula de la fuente) que habían sido llevados desde la clínica IGR, pavimento asfáltico, paredes vecinas;
- Depósito de material de rezago III: camiones, bicicletas, neumáticos pesados;
- Jardín de la casa en el número 68 de la Rua (calle) 57: suelo (tratado con soluciones ácidas de alumbre —seguido de toallas de algodón impregnadas con PBK— usando rectángulos de espuma de poliuretano fijados y blindados con plomo. Durante el trabajo con las palas mecánicas la suspensión de PBK minimizó el drenaje de iones Cs^+ con el agua de lluvia. Las palas mecánicas, camiones, herramientas y la misma calle fueron descontaminadas mediante chorros de agua, que algunas veces incluía HCl-Al-PBK);

- Estadio Olímpico: baños, sistemas sanitarios, calles asfaltadas, automotores, prensa para tambores;
- Viviendas privadas: pisos, paredes, baños, cocinas, ventanas, jardines, artículos domésticos, heladeras, muebles;
- Rua (calle) 57, N^{os} 58 y 80: viviendas, muebles, techos (los techos fueron aspirados interiormente y lavados exteriormente con chorros de agua; alrededor del 50% de la actividad en la superficie fue eliminada por lavado; en el interior, el polvo era responsable de más del 90% de los niveles de actividad; las soluciones radiactivas fueron procesadas químicamente);
- Elementos personales o valiosos: alhajas y relojes, dinero, documentos y fotografías, ropas;
- Hospital Naval Marcilio Dias, en Río de Janeiro; y
- Excretas recolectadas de los pacientes hospitalizados.

Método de descontaminación química

Dada la gran variedad de materiales a descontaminar, se desarrollaron varios procesos de descontaminación para lograr los resultados más rápidos con un mínimo de destrucción y de desechos:

- Soluciones de alumbre de potasio, acidificadas con HCl (K-Al-HCl): para los pisos de cemento o arcilla, paredes, suelos o materiales contaminados por el suelo y techos (las soluciones residuales fueron luego recogidas y procesadas);
- Solventes orgánicos; luego K-Al-HCl: para cera o grasa sobre los pisos o mesas;
- Soluciones cáusticas (NaOH) con detergentes; luego K-Al-HCL: para pisos sintéticos, algunas máquinas, máquinas de escribir y objetos personales;
- Hexilen-glicol o propilen-glicol con HCl: para pisos de cemento engrasados, objetos personales y alhajas;
- Hidrocarburos halogenados; luego solventes: para aflojar y luego quitar la pintura;
- HCl más Azul de Prusia más alumbre de potasio (K-Alum) (PBK-HCl-Al): para suelos, hormigón, cemento, asfalto, papeles (fotografías, documentos, dinero) y ropas;
- Crema o geles con RAPK: para la piel y materiales delicados tales como muebles y pantallas de televisión;
- Acido fluorhídrico (HF) con HCl y APK: para superficies cerámicas vitrificadas (cocinas, baños), superficies esmaltadas (hornos, heladeras, máquinas de lavar), granito y otros materiales silíceos;
- Chorros de agua: para raspar superficies (pisos, techos, paredes, vehículos, palas mecánicas) y disolver las sustancias adheridas a las mismas;
- Acción mecánica y química (con K-Al-HCl y PBK-HCl-Al) con cepillos y máquinas industriales de pulir;
- Aspiradoras y esponjas de poliuretano: para recuperar los desechos líquidos de la contaminación;
- Procesado químico de soluciones y suspensiones con RAPK o APK (se producía cesio sobrenadante).

Procesado de las excretas en el laboratorio de la CNEN en Goiânia

Se instalaron dos sistemas para procesar orina contaminada en Goiânia. Consistían en un filtro de carbón activado y arena, un recipiente (20 L, PVC) y dos columnas de PVC de 1 L de capacidad y 0,5 m de longitud, en serie, rellenas con resina de intercambio catiónico cargada con PBK. La orina, diluída y acidificada, se hacía percolar a bajo caudal a través de las columnas, blindadas con láminas de plomo. La radiactividad y la tasa de dosis eran monitoreadas regularmente. Después de que hubieran percolado 50 L de orina (100 L de solución 1:1 ó 100 volúmenes de columna), la fracción de cesio no había alcanzado todavía el final de la columna. La distribución de actividad se midió con un detector Geiger-Müller con ventana de plomo. La actividad máxima, correspondiente a una tasa de exposición de $7 \text{ mR} \cdot \text{h}^{-1}$ se centró a 0,1 m del extremo superior de la columna. Cuando el flujo se dirigió a la segunda columna, se reemplazó la primera. Se obtuvo así orina libre de cesio con un nivel de radiactividad natural de fondo.

Toda la materia fecal recolectada en los hospitales y enviada para análisis fue procesada mediante extracciones discontinuas ("en batch"), en tambores de 60 L, por dilución y reacción con resina cargada con PBK para fijar los iones Cs^+ . Las resinas contaminadas se enviaron al lugar de depósito y el líquido flotante fue desechado con niveles de actividad de cesio 137 naturales. Se trataron todas las materiales fecales recogidas en hospitales y enviadas para análisis.

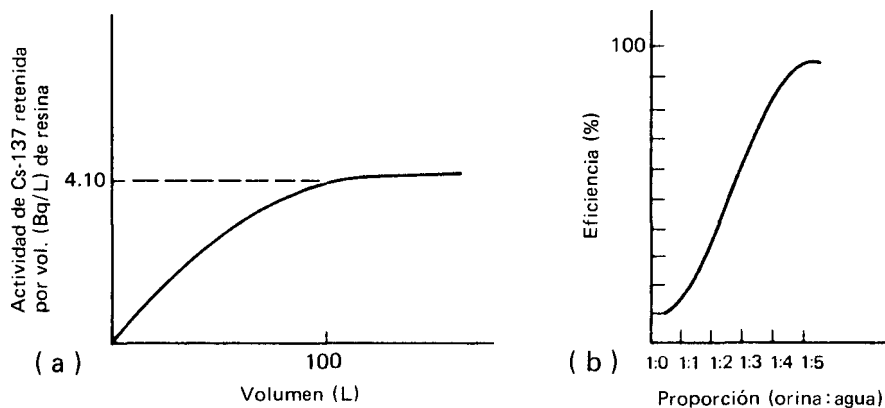


FIG. 25. a) Cantidad de cesio 137 retenida por un volumen de resina catiónica en función del volumen de orina diluída (una parte de orina a cuatro partes de agua). b) Variación de la eficacia de retención del cesio 137 en función de la dilución de orina (a un caudal de $6 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$).

Desechos radiactivos producidos en el Hospital Naval Marcilio Dias

Luego del accidente de Goiânia se produjeron desechos radiactivos de muchos tipos en el Hospital Naval Marcilio Dias. Estos desechos comprendieron los materiales del hospital usados para el tratamiento médico de los pacientes y las excretas de las personas contaminadas internamente.

Estos desechos fueron separados y tratados. El método usado para tratar las heces fue el de solidificarlas con cemento y cal viva; para la orina se usó una resina de intercambio iónico. Otros tipos de desechos radiactivos fueron compactados o simplemente acondicionados.

Los desechos —cerca de 3,5 toneladas de sólidos, 3 m³ de orina y 350 kg de heces— fueron almacenados en una pequeña instalación asignada para este propósito en la CNEN/IEN, en Río de Janeiro.

La actividad total del cesio 137 descargado a la red cloacal entre octubre de 1987 y mayo de 1988 fue aproximadamente de 2×10^8 Bq.

Se usó resina catiónica S100-Lewatit para descontaminar la orina. La eficacia máxima lograda con este proceso fue de alrededor del 90%, usando un flujo de $6 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ y una dilución de cuatro partes de agua por cada una de orina. La curva de saturación de la resina y la variación de su eficacia en función de la dilución se muestran en la Fig. 25.

Otros materiales fueron descontaminados, en la mayoría de los casos lavándolos sencillamente con agua y detergente. Los materiales enviados desde el Hospital Naval Marcilio Dias al IEN para su descontaminación durante el período octubre-diciembre de 1987, fueron: dos ambulancias; 1000 prendas (de protección y para usar en el Hospital); 150 instrumentos de cirugía; 50 elementos de equipamiento del Hospital; y 50 objetos de uso personal.

BIBLIOGRAFIA

Documentos brasileños y otros trabajos relacionados con el accidente de Goiânia

*Los documentos siguientes pueden solicitarse a la Comisión Nacional de
Energía Nuclear (CNEN), Río de Janeiro (Brasil)*

MEZHRAHI, A., XAVIER, A.M., Transporte y gestión de desechos radiactivos en Goiânia.

HEILBRON, P.F.L., Cálculo del inventario de las fuentes.

FILHO, A.T.,^a Diseño y construcción del repositorio temporal.

FERREIRA, M.C., Vigilancia radiológica con unidad móvil en Goiânia.

SILVA, C.J., DELGADO, J.V., LUIZ, M.T.B., BARROS, P.D.,^b DA CUNHA, P.G., Consideraciones relacionadas con la descontaminación de viviendas en Goiânia: limitaciones y repercusiones, II Congreso General de Energía Nuclear, Río de Janeiro, abril de 1988.

GODOY, J.M., GUIMARAES, J.R., GOUVEIA, V.A., ROCHEDO, E.R., Vigilancia del cesio 137 en el agua y el suelo cerca de Goiânia.

AMARAL, E.C.S., VIANNA, M.E.C., GODOY, J.M., ROCHEDO, E.R., CAMPOS, H.J., OLIVEIRA, J.P., REIS, W.G., PIRES DO RIO, M.A., PEREIRA, J.C.A., ROMEIRO, C.H., RAMOS JUNIOR, A.C., Consideraciones relacionadas con la descontaminación de los suelos en Goiânia: dosis a la población durante el primer año y a largo plazo, II Congreso General de Energía Nuclear, Río de Janeiro, abril de 1988.

LIPSZTEIN, J.L., BERTELLI, L.D., MELLO, D.R., AZEREDO, A.M.G.F., JULIAO, L., SANTOS, M.S., Contaminación interna.

NOGUEIRA, C.A., LOURENCO, M.C., DANTAS, B.M., LUCENA, E.A., Vigilancia radiológica de la actividad corporal.

RAMALHO, A.T., NASCIMENTO, A.C., Dosimetría citogenética.

BRANDAO MELO, C.E., Primeros pasos en la atención médica. Organización de la enfermería para pacientes irradiados en el Hospital General de Goiânia. Evaluación clínica y analítica de los pacientes.

FARINA, R., Medidas para acelerar la eliminación del cesio: experiencia adquirida.

OLIVEIRA, A.R.,^c Evaluación y tratamiento de la radiodermatitis. Vigilancia médica de los pacientes a mediano y largo plazo.

MASSINI, N.,^d PALHARES, F.,^d Aspectos medico-jurídicos del accidente de Goiânia.

- DA NOBREGA, A.W., Retención de cesio en espuma de poliuretano con azul de Prusia.
- MEDEIROS, J.A., DE MELO FERREIRA, A.C., DE PAULA MELO, L.T.D.V., CARVALHO, M.L.C.P., ZYLBERBERG, H., DA CUNHA, V., Cesio 137: descontaminación química en Goiânia.
- DE MELO FERREIRA, A.C., MEDEIROS, J.A., Cesio 137: descontaminación de desechos líquidos y sólidos.
- NEI, C., Vigilancia radiológica del aire durante las actividades de descontaminación del emplazamiento en Goiânia.
- ROZENTAL, J.J., Resumen cronológico: búsqueda de emplazamientos y viviendas contaminadas y víctimas, vigilancia radiológica del público.
- BIAGIO, R.M., TAUHATA, L., VARGAS RAMOS, E., Vigilancia radiológica de las personas expuestas en razón de su ocupación durante el accidente de Goiânia.
- SORDI, G.M.,^e Protección radiológica: procedimientos y límites.
- BECKER, P., Personal y equipo técnicos.
- BARRETO, P., DA FONSECA, E.S., Levantamiento aerorradiométrico de la ciudad de Goiânia después del accidente con cesio 137, II Congreso general de energía nuclear, Río de Janeiro, abril de 1988.
- JANSEN, J., Infraestructura, II Congreso general de energía nuclear, Río de Janeiro, abril 1988.
- PERES, S.S.,^f SILVA, J.J.G.,^f Gestión de desechos radiactivos provenientes de los hospitales tras el accidente de Goiânia.
- PERES, S.S.,^f SILVA, J.J.G.,^f Evaluación de los procesos utilizados para el tratamiento de desechos radiactivos que contienen cesio 137.
- SILVA, J.J.G.,^f Algunos aspectos de protección radiológica en la situación de emergencia en el distrito Ferroviario de Goiânia.
- FAJARDO, P.W.,^f Procedimientos de protección radiológica en el Hospital Naval Marcilio Dias durante el tratamiento de las víctimas del accidente radiológico de Goiânia.
- SILVA, L.H.C.,^f ROSA, R.,^f FAJARDO, P.W.,^f Protección radiológica en el Hospital Naval Marcilio Dias durante el tratamiento de las víctimas del accidente radiológico de Goiânia.
- NETO, L.B., LIPSZTEIN, J.L., Metodología para cálculos dosimétricos en relación con la incorporación del cesio en adultos.
- NETO, L.B., LIPSZTEIN, J.L., Metodología para cálculos dosimétricos en relación con la incorporación del cesio en niños.
- OLIVEIRA, C.A.N.,^g FARINA, R.,^g BERTELLI, L.,^g NATARAJAN, A.T.,^g Mediciones de la radiactividad debida al cesio 137 presente en la sangre de individuos internamente expuestos en el accidente de Goiânia: un informe preliminar (en preparación).

OLIVEIRA, A.R.,^c VALVERDE, N.J.,^d BRANDAO MELO, C.E., HUNT, J.,^h Aspectos generales médicos y conexos del accidente de Goiânia (en vías de publicación).

VALVERDE, N.J.,^d CORDEIRO, J.M., OLIVEIRA, A.R.,^c BRANDAO MELO, C.E., El síndrome de radiación agudo en el accidente con cesio 137 en el Brasil.

TAUHATA, L., Descripción general del accidente radiológico de Goiânia.

CLARKE BINNS, D.A., En busca de la radiación: Goiânia, Brasil, 1987.

GUIMARAES, J.R.D., GODOY, J.M., GOUVEA, V.A., ROCHEDO, E.R., Repercusión en el medio ambiente del accidente radiológico de Goiânia.

BRANDAO MELO, C.E., FARINA, R., OLIVEIRA, A.R.,^c El accidente radiológico de Goiânia: aspectos médicos, Informes preliminares.

LIPSZTEIN, J.L., OLIVEIRA, C.A.N., BERTELLI, L., AZEREDO, A.M., JULIAO, L., RABELLO, B., VILLALOBOS, J.P., SANTOS, M.S., Dosimetría interna y procedimientos de bioanálisis en relación con el accidente con cesio en Goiânia.

RAMALHO, A.T., NASCIMENTO, A.C., BRANDAO MELO, C.E., El accidente de Goiânia, Brasil: cálculos de dosis citogenéticas.

BERTELLI, L., LIPSZTEIN, J.L., Períodos biológicos dependientes de la edad del cesio 137 bajo los efectos de la administración de Azul de Prusia a las víctimas del accidente de Goiânia.

OLIVEIRA, C.A.N., LIPSZTEIN, J.L., LOURENCO, M.C., DANTAS, B.M., LUCENA, E.A., Una instalación de recuento de la actividad corporal para atender a las víctimas del accidente de Goiânia, Health Physics Society, Reunión Anual de 1988, julio de 1988, Health Phys. **54** Suppl. 1 (1988) S61/S63.

DELGADO, J.U., MENDEZ, L., Animales contaminados con cesio 137: una cuestión que requiere una decisión, Ciencia Hoje (mayo de 1988).

BRANDAO MELO, C.E., FARINA, R., OLIVEIRA, A.R.,^c Programas del seguimiento a mediano y corto plazo para las víctimas del accidente de Goiânia: una propuesta (en vías de publicación).

AMARAL, E.C.S., ROCHEDO, E.R., Determinación de límites derivados para el medio ambiente.

AMARAL, E.C.S., GODOY, J.M., CAMPOS, H.J., PIRES DO RIO, M.A., La dispersión del cesio 137 en los suelos de Goiânia: diferencias y repercusiones de su rehabilitación (en vías de publicación).

GODOY, J.M., AMARAL, E.C.S., VIANNA, M.E.C., PIRES DO RIO, M.A., CAMPOS, H.J., OLIVEIRA, J.P., Las características de los suelos de Goiânia y la migración de cesio 137 (en vías de publicación).

PALACIOS, E.,^j GIMENEZ, J.C.,^j El accidente de Goiânia, Boletín N° 10 de la Sociedad Argentina de Radioprotección (marzo de 1988).

ALMEIDA, C.E., ROZENTAL, J.J., NAZARE ALVES, R., El accidente radiológico de Goiânia: una visión panorámica (Cong. Int. Física Médica, San Antonio, Texas, 6-12 agosto de 1988).

MENDONCA, A.H., El accidente radiológico de Goiânia, Brasil: informe preliminar (4º Simp. Int. Radioecología de Cadarache sobre la repercusión de los accidentes de origen nuclear en el medio ambiente, marzo de 1988).

COMISION NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, El accidente radiológico de Goiânia: informe preliminar, CNEN, Río de Janeiro (1988).

NAZARE ALVES, R., El accidente radiológico de Goiânia: informe preliminar, presentado a la Junta de Gobernadores del OIEA (febrero de 1988).

ALMEIDA, C.E., El episodio de Goiânia: sus dimensiones y las medidas adoptadas (Reun. Acad. Nacion. Medic., 7 de diciembre de 1987).

*Trabajos publicados en un número especial de
la revista Ciencia Hoje, Vol. 7, N° 40 (1988)*

COMISION NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, Informe a la Sociedad Brasileña de Física: preguntas y respuestas (1988).

MOSCATI, G.,^k Desintegración radiactiva.

OKUNO, E.,^k Radiación ionizante.

PASCHOA, A.S.,^l Una fuente de cesio 137.

GOMES, R.A.,^m Efectos biológicos.

FERRARI, I.,ⁿ Cálculos de aberración cromosómica.

LIPSZTEIN, J.L., RAMALHO, A.T., La búsqueda del cesio 137.

FERRAZ, E.S.B.,^p La contaminación ambiental.

GUIMARAES, J.R., La vigilancia radiológica de la ciudad contaminada.

GOMES, R.A.,^m La radiación de fondo.

FRANCA, E.P.,^q Depósito de residuos radiactivos.

FIGUEIREDO, V.,^r DE QUADROS, M.P.S.,^r PEREIRA, E.B.,^r La pérdida de las responsabilidades.

FILHO, J.P.C., El derecho de acceso a la información.

PASCHOA, A.S.,^l Protección radiológica.

- a FURNAS, Río de Janeiro.
- b DEX III/CNEN, Río de Janeiro.
- c NUCLEBRAS, Río de Janeiro.
- d UNICAMP, San Pablo.
- e IPEN/CNEN, San Pablo.
- f IEN/CNEN, Río de Janeiro.
- g Departamento de Genética de la Radiación y Mutagénesis Química, Universidad Estatal de Leiden, Países Bajos.
- h NUCLEI, Río de Janeiro.
- j Comisión Nacional de Energía Atómica, Buenos Aires, Argentina.
- k Instituto de Física de la Universidad de San Pablo.
- l Departamento de Física, Universidad Católica, Río de Janeiro.
- m Instituto de Biología, Universidad Estatal de Río de Janeiro.
- n Facultad de Física Radiosanitaria, Universidad Nacional, Brasilia.
- p Centro para la Energía Nuclear en la Agricultura, Universidad de San Pablo.
- q Instituto de Biofísica, Universidad Federal de Río de Janeiro.
- r Departamento de Sociología, Universidad Nacional, Brasilia.

Nota: Otros autores pertenecen al Instituto de Protección Radiológica y Dosimetría (IRD) de la CNEN.

*Procedimientos de emergencia adoptados en el
accidente radiológico de Goiânia*

- Planes de protección radiológica para la gente y el medio ambiente en el área del repositorio temporario de desechos radiactivos.
- Procedimientos para el embalaje y la recogida de los desechos radiactivos producidos.
- Identificación y clasificación de las áreas contaminadas.
- Metodología para el embalaje de los desechos contaminados con cesio 137.
- Criterios para la clasificación de los desechos contaminados con cesio 137.
- Criterios para la eliminación de los desechos contaminados con cesio 137.
- Determinación de standards para cesio 137 en el agua potable.
- Establecimiento de un sistema de limitación de dosis y la determinación de las dosis del personal profesionalmente expuesto que participó en la respuesta a la emergencia.
- Criterios para la clasificación de áreas contaminadas y para volver a utilizarlas sin restricciones.
- Determinación de los métodos a utilizar para la clasificación de las áreas contaminadas.
- Determinación de los niveles aceptables de contaminación superficial para la clasificación de las áreas contaminadas y para volver a utilizarlas sin restricciones.
- Determinación de la eficiencia de conteo y calibración del monitor de radiación beta/gamma Eberline, modelo E520, provisto con la sonda modelo HP210 (Pancake).

Determinación de la eficiencia de conteo y calibración del monitor de radiación beta/gamma Eberline, modelo E120, provisto con la sonda modelo HP270, N^{os} de serie 20 y 23.

Procedimientos para la determinación de los niveles de radiactividad en suelos.

Procedimientos para la operación normal de la máquina de lavar SITEC, modelo SLEX-3.

Criterios para el uso de la máquina de lavar de propiedad de la FURNAS, con una capacidad de lavado de 30 kg de ropa.

Criterios para la selección de las ropas para ser lavadas o descontaminadas.

Criterios para el almacenamiento en los hospitales y la eliminación de las excretas de las víctimas del accidente radiológico de Goiânia.

Determinación del inventario radiactivo de la fuente.

Criterios para la entrega de las ropas del público no contaminadas con cesio 137.

Criterios para dar de alta de los hospitales a los pacientes contaminados con cesio 137.

Procedimientos para recoger los tambores de desechos radiactivos de las áreas seleccionadas.

Procedimientos para la gestión de los desechos radiactivos para el área de clasificación y transporte al lugar de almacenamiento de desechos.

Procedimiento para el transporte de los desechos radiactivos recogidos.

LISTA DE PARTICIPANTES

REUNION DE EXAMEN DEL ACCIDENTE RADIOLOGICO DE GOIÂNIA

Río de Janeiro
18 al 22 de julio de 1988

Estados Miembros

Alemania, República Federal de,
Drexler, G.

Argentina
Palacios, E.

Brasil
de Almeida, C.E.
Amaral, E.C.S.
Barretto, P.M.C.
Bertelli Neto, L.
Brandão, C.E.
da Cunha, P.G.
Girarde, H.A.
Godoy, J.M.
Gomes, J.J.
Lipsztein, J.L.
Medeiros, J.A.
Mendonça, A.H.
Oliveira, A.R.
Pélico, J.W.
Penna Franca, E.
Ramalho, A.T.
Rozental, J.J.
dos Santos, H.I.
da Silva Gomes, J.
Sordi, G.M.
Tahuata, L.
Tranjan Filho, A.
Valverde, N.

España
Saenz-Gancedo, R.

Estados Unidos de América
Lushbaugh, C.
Paperiello, C.
Ricks, R.

Francia
Gongora, R.
Nénot, J.-C.

Japón
Katagiri, H.
Matsuo, M.
Oyama, R.

México
Ortiz Magaña, R.

Países Bajos
Natarajan, A.T.

*Reino Unido de Gran Bretaña e
Irlanda del Norte*
Croft, J. (Consultor del OIEA)
Duncan, K.

Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas
Selidovkin, G.D.

Organismos internacionales

Comisión de las Comunidades Europeas

Oberhofer, M.

*Comisión Internacional de
Protección Radiológica*

Beninson, D.J.

(Presidente de la Reunión)

Organización Mundial de la Salud

Waight, P.J.

Organismo Internacional de Energía Atómica

González, A.J.

Kenneke, A.P.

Lederman, L.

Utting, R.

Misión preparatoria

Los documentos de base para la Reunión de Examen celebrada en julio de 1988 fueron recopilados en Río de Janeiro y Goiânia del 28 de abril al 7 de mayo de 1988. El Grupo preparatorio estuvo integrado por las siguientes personas:

Croft, J.

Kenneke, A.

Ricks, R.

Utting, R.

Wrenn, E.

Consultor

OIEA

Consultor

OIEA

Consultor

Otras personas además de las que figuran en la lista de participantes en la Reunión de Examen contribuyeron también a las actividades:

Instituto de Protección Radiológica y Dosimetría, Río de Janeiro.

Azeredo, A.M.G.F.

Becker, P.

Dantas, B.M.

Julião, L.M.Q.C.

Lourenço, M.C.

Melo, D.R.

Nascimento, A.C.H.

Oliveira, C.A.N.

Villalobos, J.P.

Instituto de Investigaciones Nucleares y Energéticas, San Pablo

Aoki, P.E
Bellintani, S.A.
Costa, C.A.R.
Dellamano, J.C.
Elorza, J.H.
Enokiraha, C.T.
Fukumori, D.T.
Fulfaro, R.
Hiromoto, G.
Lunkes, L.A.
Marques, F.M.F.

Marumo, J.T.
Miyamoto, H.
Rocca, H.C.C.
Rodrigues, D.L.
Rostelato, M.E.C.M.
Sánchez, M.P.
Suárez, A.A.
Todo, A.S.
Toyoda, E.Y.
Vicente, R.
Vinhas, L.A.

De Goiânia

Borges, W.
Curado, M.P.
Ferreira, W.M.

Girard, H.
Nieto, W.
Oliveira, C.A.N.

Editores: Delves, D.
Flitton, S.

PUBLICACIONES DEL OIEA: FORMA DE EFECTUAR LOS PEDIDOS

Se ha nombrado agente exclusivo de venta de las publicaciones del OIEA, al que deben dirigirse todos los pedidos y consultas en el siguiente país:

ESTADOS UNIDOS
DE AMERICA

UNIPUB, 4611-F Assembly Drive, Lanham, MD 20706-4391

En los países que se enumeran a continuación, las publicaciones del OIEA se pueden adquirir en las librerías o agentes de venta que se indican o por conducto de las principales librerías del país. El pago se puede efectuar en moneda nacional o con cupones de la UNESCO.

ARGENTINA	Comisión Nacional de Energía Atómica, Avenida del Libertador 8250, RA-1429 Buenos Aires
AUSTRALIA	Hunter Publications, 58 A Gipps Street, Collingwood, Victoria 3066
BELGICA	Service Courrier UNESCO, 202, Avenue du Roi, B-1060 Bruselas
CHECOSLOVAQUIA	S.N.T.L., Mikulandska 4, CS-116 86 Praga 1
CHILE	Alfa, Publishers, Hurbanovo námestie 6, CS-815 89 Bratislava
CHINA	Comisión Chilena de Energía Nuclear, Venta de Publicaciones Amunategui 95, Casilla 188-D, Santiago
CHINA	Publicaciones del OIEA en chino: China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Service P.O. Box 2103, Beijing
CHINA	Publicaciones del OIEA en otros idiomas: China National Publications Import & Export Corporation Deutsche Abteilung, P.O. Box 88, Beijing
ESPAÑA	Díaz de Santos, Lagasca 95, E-28006 Madrid
FRANCIA	Díaz de Santos, Balmes 417, E-08022 Barcelona
FRANCIA	Office International de Documentation et Librairie, 48, rue Gay-Lussac, F-75240 París Cedex 05
HUNGRIA	Kultura, Hungarian Foreign Trading Company, P.O. Box 149, H-1389 Budapest 62
INDIA	Oxford Book and Stationery Co., 17, Park Street, Calcuta-700 016
INDIA	Oxford Book and Stationery Co., Scindia House, Nueva Delhi-110 001
ISRAEL	Heiliger & Co. Ltd. 23 Keren Hayesod Street, Jerusalén 94188
ITALIA	Libreria Scientifica, Dott. Lucio de Biasio "aeiou", Via Meravigli 16, I-20123 Milán
JAPON	Maruzen Company, Ltd., P.O. Box 5050, 100-31 Tokyo International
PAKISTAN	Mirza Book Agency, 65, Shahrah Quaid-e-Azam, P.O. Box 729, Lahore-3
POLONIA	Ars Polona-Ruch, Centrala Handlu Zagranicznego, Krakowskie Przedmiescie 7, PL-00-068 Varsovia
REINO UNIDO	Her Majesty's Stationery Office, Publications Centre, Agency Section, 51 Nine Elms Lane, Londres SW8 5DR
RUMANIA	Ilexim, P.O. Box 136-137, Bucarest
SUDAFRICA	Van Schaik Bookstore (Pty) Ltd., P.O. Box 724, Pretoria 0001
SUECIA	AB Fritzes Kungl. Hovbokhandel, Fredsgatan 2, P.O. Box 16356, S-103 27 Estocolmo
UNION DE REPUBLICAS SOCIALISTAS SOVIETICAS	Mezhdunarodnaya Kniga, Smolenskaya-Sennaya 32-34, Moscú G-200
YUGOSLAVIA	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, POB. 36, YU-11001 Belgrado

En los países en los que aún no se han designado agentes de venta, los pedidos y consultas deben hacerse directamente a:



División de Publicaciones
Organismo Internacional de Energía Atómica
Wagramerstrasse 5, Apartado 100, A-1400 Viena (Austria)

FIG. 7. Plano de Goiânia con los principales lugares contaminados.

FIG. 8. Diagrama esquemático de la dispersión de cesio 137 en el accidente de Goiânia.

FIG. 9. Las personas más contaminadas en el accidente de Goiânia.



- | | |
|--|---------------------------------------|
| A: Clínica del IGR | G: Vivienda del físico W.F. |
| B: Lugar donde se produjo la primera irradiación | H: Estadio Olímpico |
| C: Depósito de material de rezago I | J: Hospital general |
| D: Depósito de material de rezago II | K, L: Otros lugares contaminados |
| E: Depósito de material de rezago III | M: Puesto de mando inicial de la CNEN |
| F: Vigilância Sanitária | N: Oficina actual de la CNEN |

FIG. 7. Plano de Goiânia con los principales lugares contaminados.

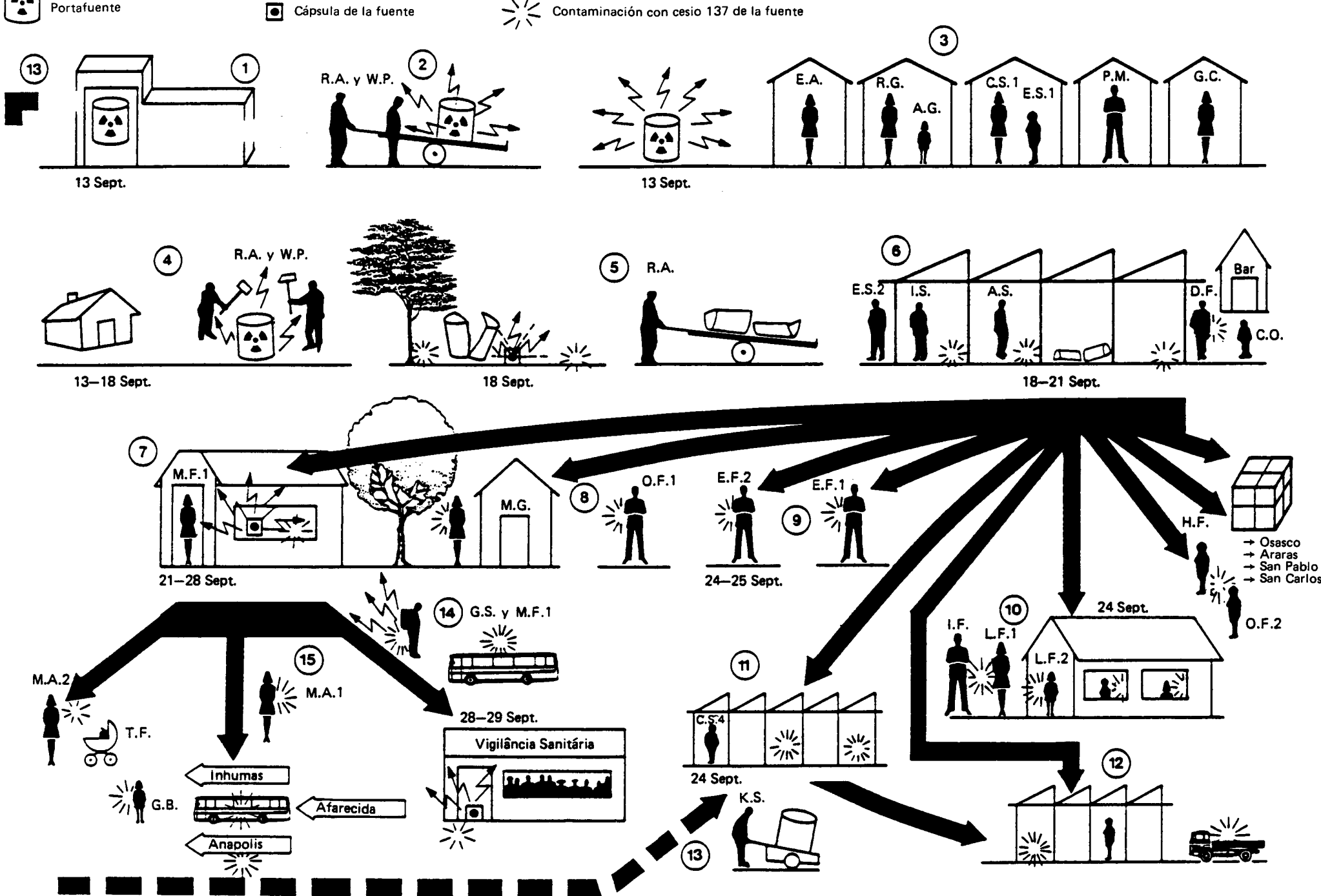


FIG. 8. Diagrama esquemático de la dispersión de cesio 137 en el accidente de Goiânia. El diagrama está basado en un dibujo hecho poco después del conocimiento del accidente, en un intento de reconstruir lo sucedido. Se reproduce tal como fuera dibujado originalmente aunque difiere en pequeños detalles de la que actualmente se considera la mejor descripción de los hechos (véase el texto del informe). Clave: 1) La clínica abandonada del IGR; 2) Remoción del portafuente giratorio de un equipo de teleterapia fuera de servicio llevada a cabo por R.A. y W.P.; 3) El portafuente es colocado en el patio de la casa de R.A., cerca de las viviendas alquiladas por E.A., madre de R.A.; 4) R.A. y W.P. rompen el disco portafuente y pinchan la cápsula de la fuente; 5) R.A. vende partes del portafuente en el depósito de material de resago I; 6) Depósito de material de resago I: el cloruro

de cesio radiactivo es dividido y dispersado por I.S. y A.S. en lugares públicos; 7) Vivienda de D.F.: el material contaminado es dispersado en mayor grado; 8) Visitantes y vecinos, p.ej. O.F.1, se contaminan; 9) E.F.1 y E.F.2 se contaminan; 10) Vivienda de I.F.; otras flechas indican dispersión de material contaminado por los visitantes y por papel de resago contaminado enviado a otras poblaciones; 11) La contaminación se extiende al depósito de material de resago II; 12) La contaminación se extiende al depósito de material de resago III; 13) K.S. regresa a la clínica del IGR para retirar el resto del equipo de teleterapia y llevarlo al depósito de material de resago II; 14) M.F.1 y G.S. llevan los restos de la fuente a la Vigilância Sanitária en ómnibus; 15) El material contaminado es llevado a otras poblaciones por M.A.1. (Por cortesía de la CNEN, Brasil.)

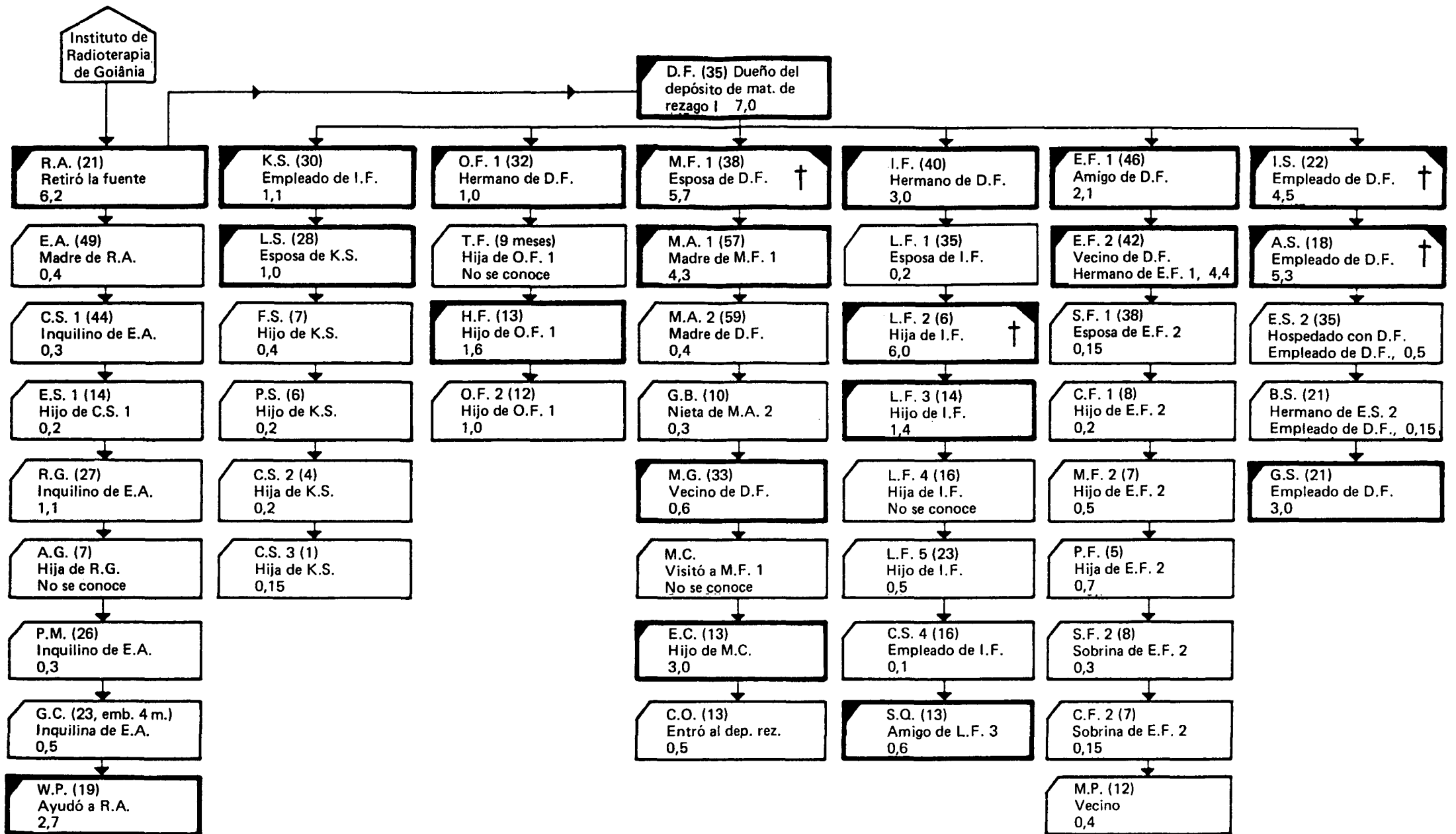


FIG. 9. Las personas más contaminadas en el accidente de Goiânia, ordenadas de acuerdo al lugar donde ocurrió la exposición a la radiación y a la relación familiar o personal entre ellas. Se presentan también las dosis recibidas por tales personas (en grays), estimadas en base a los datos citogenéticos, así como información sobre los admitidos en hospitales (borde grueso del recuadro) y sobre las cuatro víctimas fatales. Las personas no admitidas en hospitales fueron tratadas como pacientes externos.

ORGANISMO INTERNACIONAL
DE ENERGIA ATOMICA
VIENA, 1989