

07.60.04

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1958

REPUBLICA ARGENTINA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

CURSO DE APLICACION DE RADIOISOTOPOS

MANIPULACION SIN RIESGOS DE LOS
RADIOISOTOPOS

RI 22 n

MANIPULACION SIN RIESGOS DE LOS RADIOISOTOPOS

Publicado por el
Organismo Internacional de Energía Atómica
Kärntner Ring, Viena I, Austria
1958

El 1º de diciembre de 1958, el Organismo Internacional de Energía Atómica comprendía los siguientes Estados Miembros:

AFGANISTAN	LUXEMBURGO
ALBANIA	MARRUECOS
ARGENTINA	MEXICO
AUSTRALIA	MONACO
AUSTRIA	NICARAGUA
BELGICA	NORUEGA
BIRMANIA	NUEVA ZELANDIA
BRASIL	PAISES BAJOS
BULGARIA	PAKISTAN
CAMBOJA	PARAGUAY
CANADA	PERU
CEILAN	POLONIA
CIUDAD DEL VATICANO	PORTUGAL
CUBA	REINO UNIDO DE GRAN BRE-
CHECOESLOVAQUIA	TANA E IRLANDA DEL NORTE
CHINA	REPUBLICA ARABE UNIDA
DINAMARCA	REPUBLICA DE COREA
ECUADOR	REPUBLICA DOMINICANA
EL SALVADOR	REPUBLICA FEDERAL DE ALE-
ESPAÑA	MANIA
ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	REPUBLICA SOCIALISTA SOVIE-
ETIOPIA	TICA DE BIELORRUSIA
FILIPINAS	REPUBLICA SOCIALISTA SOVIE-
FINLANDIA	TICA DE UCRANIA
FRANCIA	RUMANIA
GRECIA	SUDAN
GUATEMALA	SUECIA
HAITI	SUIZA
HONDURAS	TAILANDIA
HUNGRIA	TUNEZ
INDIA	TURQUIA
INDONESIA	UNION DE REPUBLICAS SOCIA-
IRAN	LISTAS SOVIETICAS
ISLANDIA	UNION SUDAFRICANA
ISRAEL	VENEZUELA
ITALIA	VIET-NAM
JAPON	YUGOESLAVIA

El Estatuto del Organismo fue aprobado el 26 de octubre de 1956 en una conferencia internacional celebrada en la Sede de las Naciones Unidas. El Organismo quedó constituido al entrar en vigor el Estatuto, el 29 de julio de 1957. La primera reunión de la Conferencia General se celebró en octubre de 1957 en Viena (Austria), donde ha quedado establecida la Sede permanente del Organismo.

El Organismo tiene por principal objeto "acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero".

Uno de los medios para alcanzar ese objetivo es fomentar el intercambio de información científica y técnica sobre el empleo de la energía atómica con fines pacíficos.

Copyright by OIEA. To da licencia de reproducción o de traducción debe solicitarse por escrito al Organismo Internacional de Energía Atómica, Körntner Ring 11, Viena I.

OIEA

© 1958

El Organismo Internacional de Energía Atómica desea manifestar su agradecimiento a los expertos, cuyos nombres figuran a continuación; que formaron el grupo internacional encargado de estudiar la "Manipulación sin riesgos de los radioisótopos"

Presidente:

Sr. G. Randers
Institut for Atomenergi
Noruega

Miembros:

Prof. V. V. Bochkarev
Academia de Ciencias Médicas
de la Unión Soviética
Unión Soviética

Dr. H. J. Dunster
U. K. Atomic Energy Authority
Inglaterra

Dr. B. Gross
Instituto Nacional de Tecnologia
Brasil

Dr. A. Hedgran
Radiofysiska Institutionen
Suecia

Prof. F. Hercik
Instituto de Biofísica, Academia de
Ciencias de Checoslovaquia
Checoslovaquia

Dr. H. Jammet
Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay
Francia

Dr. P. N. Krishnamoorthy
Atomic Energy Establishment
India

Dr. A. S. Rao
Atomic Energy Establishment
India

Sr. A. H. K. Slater
U. K. Atomic Energy Authority
Inglaterra

Dr. F. Western
U. S. Atomic Energy Commission
Estados Unidos

Dr. F. Yamasaki
Instituto de Investigaciones
Científicas
Japón

Observadores:

Sr. G. J. Appleton
U. K. Atomic Energy Authority
Inglaterra

Sr. E. Diamond
U. S. Atomic Energy Commission
Estados Unidos

Dr. L. Dobson
Organización Mundial de la Salud
Suiza

Sr. E. Hellen
Organización Internacional del
Trabajo
Suiza

EXISTEN TAMBIEN EDICIONES DE ESTE
MANUAL EN FRANCES, INGLES Y RUSO

STI/PUBL. No. 1 — Dic. 1958

PREFACIO

1. En virtud de su Estatuto, el Organismo Internacional de Energía Atómica está facultado para adoptar las medidas que exija la aplicación de normas de protección radiológica tanto a sus propias actividades como a las actividades en las que preste su asistencia o en las que colabore directamente en cualquier otra forma. Con este objeto, se invita a las autoridades que reciban esa asistencia a observar las normas prescritas por el Organismo en la esfera de la seguridad y la protección de la salud.
2. Como medida inicial, se ha considerado que era una tarea urgente proporcionar a los usuarios de radioisótopos un Manual práctico para la manipulación sin riesgos de esas sustancias. El presente documento, que responde a esa necesidad, constituye el primero de una serie de manuales y reglamentaciones que el Organismo se propone publicar. Ha sido preparado, después de estudiar detenidamente las reglamentaciones nacionales e internacionales en materia de protección radiológica, por un grupo de expertos internacionales, en consulta con otros organismos de carácter internacional.
3. Se recomienda a los Estados Miembros del Organismo que consideren este Manual como un documento básico de referencia al preparar las reglamentaciones nacionales para la manipulación de radioisótopos.
4. El Organismo publica el presente Manual como documento provisional sujeto a revisión periódica. La Secretaría del Organismo Internacional de Energía Atómica acogerá con agrado las observaciones que se le dirijan al respecto.
5. Más adelante se proyecta ampliar el presente Manual con apéndices de carácter técnico y médico, a fin de dar a los usuarios indicaciones más completas sobre determinados temas especializados.

INDICE

1. INTRODUCCION

- 1.1. OBJETO
- 1.2. DEFINICIONES
- 1.3. NIVELES MAXIMOS ADMISIBLES DE EXPOSICION A LAS RADIACIONES EXTERNAS O A LA CONTAMINACION RADIATIVA
- 1.4. ORGANIZACION
 - 1.4.1. Principios
 - 1.4.2. Responsabilidad de la Dirección de la instalación
 - 1.4.3. Funciones de la persona encargada de la protección radiológica
 - 1.4.4. Obligaciones de los trabajadores
- 1.5. VIGILANCIA MEDICA DE LOS TRABAJADORES
 - 1.5.1. Consideraciones generales
 - 1.5.2. Exámenes médicos antes del empleo
 - 1.5.3. Exámenes médicos durante el empleo
 - 1.5.4. Servicio médico de urgencia
- 1.6. DETERMINACION DE LA EXPOSICION DEL PERSONAL A LAS RADIACIONES
 - 1.6.1. Consideraciones generales
 - 1.6.2. Determinación mediante monitoraje individual
 - 1.6.3. Determinación mediante monitoraje por zonas
- 1.7. MONITORAJE
 - 1.7.1. Monitoraje de la irradiación externa
 - 1.7.2. Monitoraje de la contaminación de las superficies de los locales y del equipo
 - 1.7.3. Monitoraje de la contaminación del aire
 - 1.7.4. Monitoraje de la contaminación del agua
 - 1.7.5. Monitoraje de la contaminación de la piel y de la ropa
- 1.8. REGISTROS
 - 1.8.1. Expedientes personales
 - 1.8.2. Resultados del monitoraje por zonas

2. FUENTES ENCERRADAS

- 2.1. ELECCION Y DISEÑO DE LAS FUENTES ENCERRADAS
- 2.2. METODOS DE EMPLEO DE LAS FUENTES
- 2.3. BLINDAJE PROTECTOR
- 2.4. USOS ESPECIALES DE LAS FUENTES ENCERRADAS
 - 2.4.1. Fuentes de elevada intensidad e instalaciones de teleterapia en los servicios médicos

- 2.4.2. Fuentes de pequeña intensidad para terapéutica intersticial y de contacto en los servicios médicos
- 2.4.3. Gammagrafía industrial
- 2.4.4. Medidores de espesor, eliminadores de electricidad estática y aparatos similares que emplean fuentes encerradas

3. FUENTES NO ENCERRADAS

- 3.1. CONDICIONES GENERALES DE EMPLEO DE LAS FUENTES NO ENCERRADAS
- 3.2. ELECCION DE LA SUSTANCIA RADIOACTIVA Y DE LOS PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO
- 3.3. ELECCION Y DISPOSICION DE LOS LUGARES DE TRABAJO
 - 3.3.1. Consideraciones generales
 - 3.3.2. Piso, muros y superficies de trabajo
 - 3.3.3. Lavabos
 - 3.3.4. Mobiliario
 - 3.3.5. Alumbrado
 - 3.3.6. Ventilación
- 3.4. ROPA DE PROTECCION
- 3.5. MEDIDAS DE PROTECCION INDIVIDUAL
- 3.6. CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE
- 3.7. USOS ESPECIALES DE LAS FUENTES NO ENCERRADAS
 - 3.7.1. Instalaciones para el bombeo de radón o torón
 - 3.7.2. Aplicación de compuestos luminiscentes a base de radio o de radioisótopos que presenten peligros análogos
 - 3.7.3. Utilización médica de las fuentes no encerradas
 - 3.7.4. Empleo de radioisótopos en experimentos realizados con animales

4. ALMACENAMIENTO DE LAS FUENTES

- 4.1. LUGAR DE ALMACENAMIENTO
- 4.2. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO
- 4.3. OPERACIONES DE ALMACENAMIENTO

5. TRANSPORTE DE SUSTANCIAS RADIOACTIVAS

- 5.1. TRANSPORTE EN EL INTERIOR DE LOS ESTABLECIMIENTOS
- 5.2. TRANSPORTE EN EL EXTERIOR DE LOS ESTABLECIMIENTOS

6. ACCIDENTES

- 6.1. DEFINICION DE LOS ACCIDENTES
- 6.2. MEDIDAS DE PRECAUCION
- 6.3. MEDIDAS QUE HAN DE ADOPTARSE SIEMPRE QUE SE PRODUZCAN ACCIDENTES
- 6.4. ACCIDENTES QUE PRODUCEN CONTAMINACION RADIOACTIVA

7. DESCONTAMINACION

7.1. DESCONTAMINACION DEL PERSONAL

- 7.1.1. Medidas que han de adoptarse en caso de contaminación interna del personal
- 7.1.2. Medidas que han de adoptarse en caso de contaminación externa del personal

7.2. DESCONTAMINACION DEL EQUIPO

- 7.2.1. Descontaminación del material de vidrio y de los instrumentos
- 7.2.2. Descontaminación de los lugares de trabajo, bancos, etc.
- 7.2.3. Descontaminación de los vestidos, de la ropa blanca de hospital y de artículos análogos

8. CONTROL Y EVACUACION DE LOS DESECHOS RADIATIVOS

8.1. RECOGIDA DE LOS DESECHOS

8.2. ALMACENAMIENTO DE LOS DESECHOS

8.3. EVACUACION DE LOS DESECHOS EN EL MEDIO AMBIENTE

- 8.3.1. Consideraciones generales
- 8.3.2. Evacuación en desagües y alcantarillas
- 8.3.3. Evacuación en la atmósfera
- 8.3.4. Inhumación de los desechos
- 8.3.5. Incineración de los desechos

APENDICE I

**NIVELES MAXIMOS ADMISIBLES DE IRRADIACION EXTERNA Y DE
CONTAMINACION RADIATIVA DEL AIRE Y DEL AGUA**

APENDICE II

**NIVELES MAXIMOS ADMISIBLES PARA LA CONTAMINACION DE
SUPERFICIES**

1. INTRODUCCION

1.1. OBJETO

- 1.1.1. El presente Manual tiene por objeto servir de guía para la manipulación sin riesgos de los radioisótopos. Se espera que pueda ser de utilidad, especialmente para los usuarios en pequeña escala que no puedan recurrir directamente a otras fuentes de información.
- 1.1.2. Las grandes empresas y los especialistas experimentados tal vez prefieran adoptar otros procedimientos conocidos que ofrecen una protección equivalente y aun superior. En ciertas esferas especializadas, puede ser conveniente seguir otras normas ya publicadas. Se supone que las personas que utilicen radioisótopos en el ejercicio de su profesión (radiólogos, etc.) complementarán las recomendaciones del presente Manual basándose en su experiencia y en sus conocimientos profesionales.
- 1.1.3. Este Manual no excluye la aplicación de otras instrucciones más rigurosas y amplias que puedan estar en vigor en algunos países.
- 1.1.4. En el Manual figura una serie de recomendaciones que han de interpretarse con criterio científico al aplicarlas a un problema determinado. Se ha procurado redactar el texto con toda precisión y antes de apartarse de una recomendación el usuario debe cerciorarse de su sentido exacto y alcance.
- 1.1.5. Puesto que casi todos los objetos contienen una cierta cantidad de sustancias radiactivas, es evidente que las disposiciones de este Manual no han de aplicarse cuando la radiactividad sea inferior a cierto valor umbral. Como límite inferior puede adoptarse una concentración de 0,002 microcuries por gramo de sustancia, o una actividad total inferior a 0,1 microcuries en la zona de trabajo. Ambos límites se han calculado sobre la base de los radioisótopos más peligrosos, de forma que pueden admitirse valores umbral algo más elevados cuando los isótopos de que se trate no sean los más peligrosos. En la columna 1 del Cuadro II y en las disposiciones de los párrafos 3.1.10.

y 3.1.11. se citan, a título de orientación, las cantidades de los isótopos menos tóxicos que pueden manipularse sin necesidad de adoptar precauciones especiales. En general, antes de disminuir la vigilancia es preciso evaluar los riesgos que ello puede suponer, teniendo en cuenta la naturaleza del producto, la índole de las operaciones y las características de la instalación.

- 1.1.6. No obstante, es conveniente partir de la base de que todos los radioisótopos son potencialmente peligrosos, lo que facilitará la instrucción en el manejo de sustancias radiactivas y evitará que se produzcan accidentes por errores de identificación.

1.2. DEFINICIONES

En general, los términos técnicos se utilizan con su significación científica aceptada.

A continuación se dan las definiciones de algunos de los términos más importantes:

- 1.2.1. “Radiación ionizante”: Radiación electromagnética o corpuscular capaz de producir directa o indirectamente iones al atravesar la materia (por ejemplo, rayos alfa, rayos beta, rayos gamma, rayos X, neutrones).
- 1.2.2. “Fuente encerrada”: Toda fuente de radiaciones ionizantes sólidamente revestida de material o encerrada en una envoltura de suficiente resistencia mecánica para impedir que se establezca contacto con el radioisótopo o que la sustancia radiactiva se disperse en las condiciones previsibles de utilización y desgaste.
- 1.2.3. “Fuente no encerrada”: Todas las demás fuentes radiactivas.
- 1.2.4. “Irradiación externa”: Irradiación del organismo por fuentes radiactivas exteriores al mismo.
- 1.2.5. “Irradiación interna”: Irradiación del organismo por fuentes radiactivas situadas dentro del mismo.
- 1.2.6. “Dosis”: Medida de la cantidad de radiación a que está sometido determinado cuerpo absorbente.

- 1.2.7. "Contaminación radiactiva": Presencia indeseable de sustancias radiactivas en el interior de cualquier material o en contacto con su superficie.
- 1.2.8. "Protección adecuada": Protección contra la irradiación externa y contra la absorción de sustancias radiactivas, merced a la cual la dosis de radiación recibida de fuentes externas o internas, o de ambas, no excederá del nivel máximo admisible de exposición a las radiaciones fijado por la autoridad competente.
- 1.2.9. "Instalación": Todo sitio o instalación en que se produzcan, traten, utilicen o almacenen sustancias radiactivas.
- 1.2.10. "Instalación cerrada": Instalación en la que la fuente de radiación y los objetos expuestos a ésta se encuentran en un recinto permanente:
- a) en el que nadie podrá entrar, o en el que nadie podrá permanecer durante la irradiación (salvo las personas que estén sometidas a tratamiento);
 - b) que en todas las condiciones normales de funcionamiento proporciona protección adecuada a todas las personas que se encuentran fuera de él.
- 1.2.11. "Instalación abierta": Instalación que, por necesidades de funcionamiento (empleo de equipo móvil, etc.), no reúne las condiciones de protección especificadas para la "instalación cerrada"
- 1.2.12. "Autoridad competente": La autoridad nacional o internacional cuya jurisdicción en la esfera de que se trate se aplica a la actividad de la instalación en cuestión.
- 1.2.13. "Zona vigilada": Zona en la que la exposición a las radiaciones puede sobrepasar los niveles máximos admisibles para las personas no sometidas a irradiación profesional y que, por tanto, debe hallarse bajo la inspección de una persona encargada de la protección radiológica.
- 1.2.14. Los términos "trabajadores" y "personal" designan a todas las personas que por sus actividades profesionales pueden verse expuestas a las radiaciones o al contacto de sustancias radiactivas.

1.3. NIVELES MAXIMOS ADMISIBLES DE EXPOSICION A LAS RADIACIONES EXTERNAS O A LA CONTAMINACION RADIATIVA

- 1.3.1. Hasta que el Organismo Internacional de Energía Atómica publique reglamentaciones sobre los niveles máximos admisibles de exposición a las radiaciones externas y a la contaminación radiactiva, el Organismo podrá aceptar en general que los trabajos realizados en instalaciones en que se utilicen isótopos radiactivos obtenidos por conducto del Organismo Internacional de Energía Atómica se ajusten a las normas sobre los niveles máximos admisibles fijados por la autoridad competente.
- 1.3.2. Como la mayor parte de los países han fijado los niveles máximos admisibles basándose en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, se recomienda que los países que no han establecido esos niveles adopten como base común las recomendaciones formuladas en 1954 por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, con las modificaciones introducidas en 1956 y en 1958, hasta que se publiquen las reglamentaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica.
- 1.3.3. A menudo no existe un nivel máximo admisible universalmente aceptado para ciertos problemas concretos, en especial el de la contaminación de superficies o la evacuación de desechos radiactivos. En las secciones pertinentes de este Manual se examina cada uno de esos problemas y se dan instrucciones prácticas.

1.4. ORGANIZACION

- 1.4.1. *Principios.* La eficaz protección contra las radiaciones exige una buena organización en materia de sanidad y de seguridad. La experiencia demuestra que no puede confiarse en que un trabajador, por muy competente que sea, tenga presentes todas las normas de seguridad y de protección de la salud cuando está concentrado en su labor. Para lograr la mayor seguridad, es preciso delimitar claramente las funciones y deberes de cada uno.

- 1.4.2. *Responsabilidad de la Dirección de la instalación.* Habitualmente, la Dirección de la instalación es responsable de la protección radiológica de los trabajadores y del público en general. Para cumplir las obligaciones que le incumben, ha de velar por que se adopten las siguientes medidas:
- 1.4.2.1. Se elaborarán normas de seguridad y de protección de la salud (ajustadas a las de este Manual) para las zonas en que se manipulen sustancias radiactivas.
 - 1.4.2.2. Se darán todas las instrucciones prácticas necesarias para la ejecución del trabajo.
 - 1.4.2.3. Se proporcionarán instalaciones y equipo adecuados.
 - 1.4.2.4. Se adoptarán las medidas oportunas para el necesario examen médico de los trabajadores; habrá un servicio médico de urgencia adecuado.
 - 1.4.2.5. Sólo se permitirá trabajar con sustancias radiactivas a las personas capacitadas tanto desde el punto de vista médico como técnico.
 - 1.4.2.6. Todos los trabajadores que durante su labor puedan quedar expuestos a las radiaciones ionizantes deberán estar al corriente de los peligros que esa labor entraña para su salud. Se instruirá adecuadamente a todo el personal en lo que se refiere a la seguridad y a la protección de la salud.
 - 1.4.2.7. Se obtendrán los servicios de una persona que posea la competencia técnica necesaria para asesorar sobre todas las cuestiones relacionadas con la protección radiológica. En el presente Manual, dicha persona se denominará "persona encargada de la protección radiológica", aunque pueda recibir otra denominación en el país de que se trate. La Dirección de la instalación consultará a esta persona sobre todas las cuestiones relativas a la protección radiológica. Se adoptarán las medidas oportunas para que todos los que puedan verse expuestos a los peligros de irradiación conozcan el nombre de esa persona y el modo de ponerse en contacto con ella. Se nombrará asimismo a los suplentes que sean necesarios.
- 1.4.3. *Funciones de la persona encargada de la protección radiológica.* Las funciones de la persona encargada de la pro-

tección radiológica variarán según la organización del grupo con el que trabaje y según los riesgos que entrañen sus actividades. En líneas generales, ayudará a la Dirección de la instalación a cumplir sus obligaciones en materia de protección radiológica. En el desempeño de sus funciones, la persona encargada de la protección radiológica recabará, siempre que sea preciso, el asesoramiento o la colaboración de personas profesionalmente competentes. Normalmente, su trabajo comprenderá las siguientes funciones:

- 1.4.3.1. Dar a todos los empleados cuyas actividades exijan la manipulación de sustancias radiactivas — así como a los demás empleados que no desempeñen habitualmente esa clase de funciones pero que en determinados casos puedan verse expuestos a las radiaciones y al contacto de sustancias radiactivas —, las necesarias instrucciones administrativas, técnicas y médicas sobre el peligro de irradiación, e indicarles los métodos de trabajo que aseguren su protección, habida cuenta de la naturaleza de la instalación y de la labor que se ha de desarrollar. Las instrucciones se darán por escrito, estarán redactadas con gran claridad, serán aplicables en la práctica y, siempre que sea posible, se colocarán en un lugar bien visible.
- 1.4.3.2. Dar instrucciones sobre la aplicación de las medidas y procedimientos de protección necesarios a todas las personas que trabajen con sustancias radiactivas, e informar a todos los visitantes de las precauciones que conviene adoptar. Facilitarles el equipo auxiliar necesario para su protección. La persona encargada de la protección radiológica velará por que todos los visitantes posean la debida autorización y recomendará que no se realicen visitas innecesarias.
- 1.4.3.3. Evitar que las sustancias radiactivas (comprendidas las que se encuentren en los cuerpos de pacientes o de animales y en el equipo) escapen al control de la Dirección de la instalación en circunstancias tales que otras personas puedan quedar expuestas a dosis de radiación superiores a los niveles fijados por la autoridad competente. La persona encargada de la protección radiológica velará por que se adopten medidas adecuadas para evacuar sin riesgos los desechos radiactivos.

- 1.4.3.4. Velar por que ninguna zona, situada dentro o fuera de la instalación, pueda quedar expuesta a una dosis de radiación o a una concentración de sustancias radiactivas superiores a los niveles máximos admisibles fijados para ese tipo de zonas por la autoridad competente.
- 1.4.3.5. Señalar a las autoridades competentes (por ejemplo, al servicio contra incendios) toda circunstancia que, aun cuando no entrañe normalmente un riesgo de irradiación, pueda presentar ese riesgo en condiciones especiales o anormales.
- 1.4.3.6. Adoptar las medidas necesarias para que en el equipo e instalaciones no se introduzca modificación alguna que pueda ser causa de riesgos de irradiación imprevistos, sin tomar previamente las medidas de seguridad necesarias.
- 1.4.3.7. Adoptar las disposiciones adecuadas a fin de evitar que las personas no autorizadas manipulen sustancias radiactivas en la instalación.
- 1.4.3.8. Designar a uno o más suplentes idóneos o recurrir a otros medios para conseguir que, en todo momento, se puedan dar las instrucciones necesarias en caso de accidente y se puedan adoptar las medidas concretas de seguridad que se requieran.
- 1.4.3.9. Establecer y llevar los libros de registro apropiados.
- 1.4.3.10. Ocuparse de que se ejecuten y coordinen debidamente las operaciones de monitoraje, inspección médica y protección necesarias.
- 1.4.4. *Obligaciones de los trabajadores*
 - 1.4.4.1. Conocer las instrucciones dadas para la ejecución del trabajo.
 - 1.4.4.2. Conocer y observar las normas de seguridad y protección de la salud que correspondan a su zona de trabajo.
 - 1.4.4.3. Utilizar como es debido el equipo de seguridad facilitado.
 - 1.4.4.4. Protegerse y proteger a los demás obrando y trabajando con prudencia.
 - 1.4.4.5. Dar cuenta de cualquier accidente, anormalidad o lesión personal, por leves que sean.
 - 1.4.4.6. Los trabajadores que corran riesgos de irradiación darán cuenta inmediatamente de cualquier síntoma importante

que hayan podido observar, así como de todo caso en que sospechen ha habido sobreexposición a la irradiación externa o introducción fortuita de productos radiactivos en su organismo.

1.5. VIGILANCIA MEDICA DE LOS TRABAJADORES

1.5.1. *Consideraciones generales*

- 1.5.1.1. La vigilancia médica de las personas empleadas en trabajos que impliquen riesgos de irradiación se basará en el principio, corroborado por la experiencia, de que en un laboratorio bien organizado en el que se trabaje con sustancias radiactivas, los accidentes causados por las radiaciones ocurren con menos frecuencia que los accidentes de trabajo corrientes. Por consiguiente, los exámenes médicos efectuados antes del empleo y los que más tarde se realicen periódicamente serán, en principio, análogos a los que exige toda buena medicina industrial; no obstante, habrá que completarlos teniendo en cuenta que al trabajar con sustancias radiactivas es preciso adoptar determinadas medidas de protección y vigilancia. La posibilidad de llegar a observar síntomas característicos de radiolesiones es muy remota, a no ser que las condiciones de trabajo sean muy malas. Puede darse el caso de que éstas sean bastante deficientes sin que se empiecen a notar los síntomas clínicos de radiolesiones.
- 1.5.1.2. Las personas jóvenes no deben exponerse profesionalmente a los riesgos de irradiación. En muchos países se fija una edad mínima de 18 años.
- 1.5.1.3. Se prestará especial atención a la protección de las mujeres en edad de procrear.
- 1.5.1.4. Cuando se efectúen exámenes radiográficos y radioscópicos, la exposición se reducirá al mínimo.
- 1.5.2. *Exámenes médicos antes del empleo*
- 1.5.2.1. No se empleará a ninguna persona en trabajos que impliquen riesgos de irradiación sin haberla sometido a un examen médico en los dos meses que preceden su primer empleo en dicho género de trabajo.

- 1.5.2.2. Se recomienda que el examen médico comprenda:
- 1.5.2.3. Un examen médico completo, similar al que se realiza normalmente antes del empleo, con un expediente personal que abarque los antecedentes familiares, médicos y profesionales, y con los análisis clínicos corrientes.
- 1.5.2.4. Exámenes especiales de los órganos y funciones que se consideran más radiosensibles de acuerdo con la clase de trabajo de que se trate, por ejemplo, mediante:

Análisis hematológicos,
Exámenes dermatológicos,
Exámenes oftalmológicos,
Exámenes pulmonares,
Exámenes ginecológicos,
Exámenes neurológicos, etc.

- 1.5.3. *Exámenes médicos durante el empleo*
- 1.5.3.1. Todas las personas empleadas en trabajos que entrañen riesgos de irradiación serán sometidas a exámenes médicos.
- 1.5.3.2. Los exámenes normales se harán cada 12 meses, o en los plazos que fije la autoridad competente, y comprenderán los exámenes generales practicados en la medicina industrial y también los exámenes especiales indicados en cada caso particular por los riesgos de irradiación externa y de contaminación. Los exámenes especiales indicados en el párrafo 1.5.2.4. se practicarán a intervalos adecuados. Si se sospecha que ha habido sobreexposición o contaminación interna, el médico prescribirá el programa de exámenes clínicos que corresponda.
- 1.5.3.3. Los exámenes radiotoxicológicos, basados en mediciones y análisis efectuados directamente en el organismo e indirectamente en las excreciones (orina, heces, aire exhalado) proporcionan indicaciones sobre la naturaleza y grado de la contaminación radiactiva interna. Además, en los casos de inhalación de aerosoles, polvo o gases radiactivos, el examen de los pulmones comprenderá la detección de los efectos mecánicos, químicos y radiactivos.
- 1.5.3.4. Si los trabajadores tienen que manipular fuentes radiactivas no encerradas, es útil realizar periódicamente pruebas para determinar la dosis total retenida por el organismo; en muchos casos, el monitoreo de las excre-

ciones (particularmente de la orina, o, en el caso del radio, del radón en el aire expirado) permitirá determinar dicha dosis. En ciertas circunstancias, puede efectuarse una prueba más completa para evaluar la dosis total retenida midiendo la radiación gamma (o radiación de frenado) emitida por el cuerpo. Una vez evaluada esa dosis, puede calcularse la dosis absorbida, la cual se anotará en el expediente personal para que el médico pueda tenerla en cuenta.

1.5.4. *Servicio médico de urgencia*

- 1.5.4.1. La organización del servicio médico de urgencia dependerá del personal médico disponible en el establecimiento.
- 1.5.4.2. En todas las zonas de trabajo debe disponerse inmediatamente de instrucciones y equipo de socorro. La naturaleza del tratamiento de urgencia se determinará según las instrucciones del médico.
- 1.5.4.3. Se establecerán y se darán a conocer con toda claridad las disposiciones adoptadas para que los servicios médicos puedan intervenir en el momento oportuno en caso de accidente o de contaminación del personal.

1.6. DETERMINACION DE LA EXPOSICION DEL PERSONAL A LAS RADIACIONES

1.6.1. *Consideraciones generales*

La finalidad esencial de la protección radiológica es evitar los daños debidos a las radiaciones ionizantes. Se funda en la observancia de las dosis máximas admisibles, pero exige también una vigilancia sistemática que permita descubrir la irradiación o sus efectos. Esta vigilancia comprenderá el control físico y el médico.

Actualmente sólo se pueden descubrir los síntomas producidos por la irradiación cuando resultan de dosis relativamente elevadas. Esta falta de sensibilidad de los exámenes clínicos se ve agravada por la falta de un carácter específicamente determinante en las lesiones que se observan, y por la duración del período que suele transcurrir entre la irradiación y la manifestación de sus

efectos. Esto no disminuye la necesidad de efectuar exámenes médicos sistemáticos para descubrir cualquier posible efecto de la irradiación; al contrario, exige que se lleve además un control riguroso de las dosis recibidas. Las técnicas actuales, tanto físicas como radioquímicas, permiten medir dosis de radiación y cantidades de radioelementos muy pequeñas. Esta gran sensibilidad resulta muy útil, pues permite descubrir irradiaciones mucho menos intensas que las que se consideran admisibles. Por consiguiente, es esencial aplicar metódicamente estos procedimientos, que pueden clasificarse de la siguiente manera:

1.6.1.1. *Monitoraje individual*

- a) *Monitoraje de la irradiación externa* mediante instrumentos de medición de las radiaciones, que el trabajador lleva consigo;
- b) *Monitoraje de la contaminación interna* mediante instrumentos adecuados o análisis de las excreciones, para determinar la presencia de sustancias radiactivas en el organismo y su cantidad.

1.6.1.2. *Monitoraje por zonas*

Determinación del nivel de irradiación y de contaminación del aire en la zona de trabajo.

- a) *Mediciones* efectuadas con instrumentos medidores de las radiaciones;
- b) *Cálculos* fundados en la cantidad de sustancia radiactiva presente, su forma y la clase de trabajos durante los cuales los trabajadores estarán expuestos.

1.6.2. *Determinación mediante monitoraje individual*

1.6.2.1. *Monitoraje de la irradiación externa mediante dosímetros individuales*

Método simple y conveniente, que se utilizará para medir la irradiación externa de todas las personas que trabajan en la zona vigilada.

El dosímetro de película, que permite medir la dosis total acumulada en un período dado, constituye el aparato más apropiado. La película permite también comprobar en todo momento la exactitud de los datos sobre las dosis de irradiación externa registrados en los expedientes personales, que deben llevarse al día.

En las manos, muñecas u otras extremidades que puedan estar expuestas a una irradiación más intensa que el resto del cuerpo, se utilizarán también dosímetros de película. Las cámaras de ionización de bolsillo, los detectores fosforescentes individuales y las cámaras-dedal son útiles como complemento de los dosímetros de película, especialmente cuando se trata de tareas en las que se requieren mediciones inmediatas y de gran sensibilidad.

Al utilizar los dosímetros de película y las cámaras de ionización para el monitoreo individual pueden cometerse errores importantes si no se siguen procedimientos normalizados.

1.6.2.2. *Monitoreo de la contaminación interna*

Presenta serias dificultades por lo complejo y especializado de las técnicas necesarias. Además, la interpretación de los resultados del análisis radioquímico de las excreciones presenta dificultades adicionales.

a) *Monitoreo mediante instrumentos*

Para determinar la presencia en el organismo de sustancias radiactivas y su cantidad, pueden utilizarse detectores de radiaciones para todo el cuerpo o espectrómetros gamma. Sin embargo, estos instrumentos son costosos y su manejo, así como la interpretación de los resultados obtenidos, requieren una gran competencia. Es poco probable que quienes hagan un uso limitado de los radioisótopos dispongan de esos instrumentos, aunque en ciertos casos especiales puedan utilizarlos por mediación de otras instituciones.

b) *Monitoreo mediante análisis de las excreciones*

Se establecerá un plan regular de análisis de orina para los trabajadores expuestos a un riesgo de contaminación interna importante. Para determinar la frecuencia con que deben tomarse las muestras de orina, es preciso tener en cuenta la naturaleza y cantidad de los isótopos manipulados y los riesgos que entrañan las operaciones que exige la tarea que se ejecute.

Si el trabajador presume haber sufrido una contaminación interna, se tomará y analizará una serie especial de muestras. El plan de toma de muestras se establecerá en función del tiempo de retención en el cuerpo y del período biológico.

Cuando sea necesario, además de los análisis de orina, se efectuarán análisis de las heces y de las mucosidades nasales, exámenes de los resultados de lavados gástricos y pruebas para detectar radón en el aire expirado.

1.6.3. *Determinación mediante monitoreaje por zonas*

1.6.3.1. *Monitoreaje mediante instrumentos*

Las cámaras de ionización, las cámaras de ionización de bolsillo y los dosímetros de película, expuestos en condiciones similares a las de los trabajadores, permiten determinar la dosis a la que cada persona ha estado expuesta durante un determinado período.

Para calcular la dosis probable absorbida por el organismo, se puede medir el grado de contaminación del aire o del agua potable. Sin embargo, pueden cometerse errores importantes, especialmente si las mediciones no son representativas debido a la presencia de partículas de elevada actividad específica.

1.6.3.2. *Monitoreaje mediante cálculos*

Conociendo la cantidad total de sustancia radiactiva, su naturaleza, las operaciones realizadas y las condiciones de trabajo en un laboratorio, se puede evaluar la posible exposición del personal. Sin embargo, para poder hacer esos cálculos, se necesita una gran experiencia y habilidad técnica.

1.7. MONITORAJE

Además del monitoreaje individual destinado a establecer la cantidad de radiación a que ha estado expuesta cada persona, se efectúa un monitoreaje general por zonas con miras a determinar si es necesario adoptar medidas de protección. El monitoreaje debe realizarse periódica o continuamente, teniendo en cuenta los riesgos de irradiación externa e interna, con el fin de determinar en qué medida las personas, lugares de trabajo y objetos están expuestos a las radiaciones.

1.7.1. *Monitoraje de la irradiación externa*

1.7.1.1. Todos los lugares situados en las proximidades de fuentes radiactivas que emitan radiaciones penetrantes, en los que las personas puedan estar expuestas a la irradiación, se someterán a monitoraje, sin omitir los locales contiguos a esos lugares ni los alrededores del edificio. La operación se efectuará antes de emprender un proyecto, después de toda modificación considerable de la instalación, así como periódicamente durante el trabajo.

1.7.1.2. Pueden emplearse cámaras de ionización portátiles, cámaras de ionización de bolsillo, contadores Geiger Müller, contadores de centelleo y también, en algunos casos, dosímetros de película. Es preciso calibrar y comprobar periódicamente todos los instrumentos utilizados en el monitoraje, para lo cual debe disponerse de un patrón de radiación. En algunos casos conviene emplear dos aparatos de cada clase.

1.7.2. *Monitoraje de la contaminación de las superficies de los locales y del equipo*

1.7.2.1. Todos los objetos y locales utilizados para trabajar con sustancias radiactivas pueden sufrir una contaminación generalizada. Esto se aplica a las superficies y a los lugares de trabajo, las paredes de las campanas o de las cajas de guantes, los pisos y muros de los locales de trabajo, la ropa, el equipo, etc.

La contaminación por sustancias radiactivas de las superficies de trabajo, de la ropa y del equipo puede constituir un peligro para la salud y entorpecer la buena marcha de la labor.

1.7.2.2. Aún no es posible recomendar niveles máximos admisibles bien definidos para la contaminación de las superficies, de la ropa o del equipo. No obstante, los usuarios poco experimentados pueden adoptar cualquiera de los grupos de valores aceptados provisionalmente en algunos países. En el apéndice II figuran algunos de los valores actualmente utilizados.

Si la contaminación está fijada de modo permanente, puede tomarse como base para el monitoraje la dosis admisible de irradiación externa.

1.7.2.3. Es preciso someter a un monitoraje sistemático todos los lugares y equipo que hayan estado en contacto con sus-

tancias radiactivas. El monitoraje se realizará a más tardar después de terminadas las tareas, y también, si es necesario, varias veces durante el trabajo.

- 1.7.2.4. El monitoraje se efectuará a la vez con instrumentos dosimétricos y por medio de exámenes de frotis. Los contadores Geiger Müller de ventana delgada son apropiados para examinar los frotis tomados; en presencia de emisores puros de partículas alfa, puede ser preferible un contador de centelleo alfa o un aparato análogo.
- 1.7.2.5. Cuando se utilicen emisores alfa o emisores beta blandos, las paredes de los vasos, frascos, pipetas, etc., pueden absorber la mayor parte de las radiaciones, de forma que posiblemente resulte insuficiente el monitoraje de la parte externa de dichos recipientes.
- 1.7.2.6. Además se someterán a monitoraje los animales de laboratorio, sus excreciones, y los locales, jaulas, etc., donde se guarden.
- 1.7.3. *Monitoraje de la contaminación del aire*
 - 1.7.3.1. Cuando se produzcan o se manipulen aerosoles, gases o polvos radiactivos, se controlará la contaminación del aire.
 - 1.7.3.2. Es necesario utilizar un sistema seguro de monitoraje del aire después de filtrarlo y antes de dejarlo salir a la atmósfera, cuando la actividad que así se libere pueda ser superior al nivel fijado para el exterior por la autoridad competente.
 - 1.7.3.3. Para controlar la actividad de los aerosoles, las partículas arrastradas se depositarán por precipitación electrostática, mediante impactores o por filtración.
 - 1.7.3.4. Algunos gases radiactivos sólo pueden someterse a monitoraje una vez recogidos por medios químicos o por otro procedimiento.
 - 1.7.3.5. A menudo convendrá identificar la contaminación radiactiva mediante análisis radioquímicos o utilizando procedimientos físicos.
- 1.7.4. *Monitoraje de la contaminación del agua*
 - 1.7.4.1. En muchos casos resultará inadecuado un método sencillo de monitoraje (el que, por ejemplo, consiste en sumergir un contador Geiger Müller o un contador de centelleo en el agua) y habrá que utilizar un procedimiento más perfeccionado.

- 1.7.4.2. Es preciso determinar con seguridad el grado de contaminación de las aguas que se evacúen en desagües o alcantarillas públicos, conforme a la sección 8.3.2. Tal vez resulte necesario tomar muestras, en cuyo caso es posible que sea preciso concentrar las sustancias radiactivas disueltas (por ejemplo, por intercambio iónico o por evaporación) antes de poder medir su actividad.
- 1.7.5. *Monitoraje de la contaminación de la piel y de la ropa*
- 1.7.5.1. Cuando se trabaje con fuentes no encerradas, se someterán siempre a monitoraje las manos, la ropa y especialmente el calzado. Ninguna persona podrá salir del lugar o recinto de trabajo sin comprobar si está o no contaminada.
- 1.7.5.2. El monitoraje de la contaminación de la piel y de la ropa se efectuará por medios adecuados. En muchos casos resulta suficiente un contador Geiger Müller de ventana delgada. Cuando pueda producirse una contaminación alfa independientemente de las radiaciones beta y gamma, se utilizará también un contador de centelleo alfa.
- 1.7.5.3. En el apéndice II se indican algunos valores actualmente utilizados para los niveles admisibles en materia de contaminación de la piel y de la ropa.

1.8. REGISTROS

1.8.1. *Expedientes personales*

- 1.8.1.1. Se establecerá y mantendrá al día, en la forma que apruebe la autoridad competente, un expediente sanitario de cada trabajador expuesto a las radiaciones ionizantes. Los expedientes contendrán datos e informaciones sobre:
- a) La naturaleza del trabajo que entrañe el empleo de radiaciones y el tipo de radiaciones de que se trate.
 - b) El grado en que la persona en cuestión ha estado o ha podido estar expuesta a las radiaciones, grado que se determinará por diferentes métodos de monitoraje individual o colectivo. En especial se registrará periódicamente la dosis acumulada de irradiación externa e interna recibida.
 - c) Los resultados de los exámenes médicos.

- 1.8.1.2. Los registros serán de tal forma que puedan utilizarse para la preparación de estadísticas internas, nacionales e internacionales.
- 1.8.2. *Resultados del monitoreo por zonas*
- 1.8.2.1. Se llevarán registros permanentes con los resultados del monitoreo por zonas y con todos los acontecimientos de importancia para la protección contra las radiaciones. Se recomienda que se lleve un libro de registro para cada zona de trabajo. Normalmente, los datos necesarios para las investigaciones que se hayan de realizar sólo se podrán obtener consultando esos registros.

2. FUENTES ENCERRADAS

2.1. ELECCION Y DISEÑO DE LAS FUENTES ENCERRADAS

- 2.1.1.** Las fuentes que se empleen para producir campos de radiación estarán encerradas en un recipiente adecuado o preparadas de forma que se obtenga una protección equivalente contra los deterioros mecánicos. Conviene que las fuentes reúnan las características siguientes, de un modo compatible con el trabajo que se desea realizar:
 - 2.1.1.1.** La actividad de la fuente empleada será mínima.
 - 2.1.1.2.** La energía o poder de penetración de las radiaciones emitidas no excederá de la necesaria para ejecutar el trabajo con una exposición total mínima.
 - 2.1.1.3.** Si es posible, las sustancias radiactivas contenidas en la fuente serán de baja toxicidad y sus propiedades químicas y físicas serán tales que se reduzcan al mínimo los riesgos de dispersión y de ingestión en caso de rotura del recipiente.
- 2.1.2.** Las fuentes encerradas llevarán una marca fija que permita identificarlas y que facilite la determinación de la naturaleza e intensidad de la radiactividad sin exposición innecesaria de los trabajadores.
- 2.1.3.** Las fuentes encerradas y los recipientes apropiados se examinarán periódicamente para descubrir posibles contaminaciones o fugas (pueden hacerse exámenes de frotis o recurrir a un procedimiento de recogida electrostática, o bien combinar ambos métodos). La frecuencia de los exámenes se determinará según la naturaleza de la fuente en cuestión.
- 2.1.4.** No se utilizarán las fuentes que hayan sufrido deterioro mecánico o corrosión. Conviene guardarlas inmediatamente en recipientes herméticos. Dichas fuentes sólo serán reparadas por personas técnicamente competentes y que dispongan de los medios apropiados.

2.2. METODOS DE EMPLEO DE LAS FUENTES

- 2.2.1. Las fuentes se manipularán de forma que sea posible localizarlas en todo momento. Se llevarán inventarios de su utilización.
- 2.2.2. Si alguien tiene razones para creer que se ha perdido o extraviado una fuente, avisará inmediatamente a la persona encargada de la protección radiológica.
Una vez confirmada, la pérdida se comunicará sin demora a la autoridad competente.
- 2.2.3. Las fuentes se manipularán de forma que la dosis de radiación recibida por el personal sea mínima; para ello se emplearán métodos como el blindaje, la manipulación a distancia y la limitación del tiempo de trabajo.
- 2.2.4. Las fuentes se manipularán de forma que se eviten riesgos a todo el personal, incluso al que no intervenga en las operaciones. Se prestará atención a la protección de las personas que estén en las salas contiguas y en las plantas superiores e inferiores. Se señalarán claramente las zonas en que el nivel de irradiación es elevado y, si es necesario, se delimitarán con cuerdas.
- 2.2.5. Se señalarán claramente los haces de radiaciones emitidas por una fuente parcialmente blindada y se tomarán medidas para que dichos haces queden detenidos por un material absorbente adecuado a la distancia mínima compatible con el trabajo. Los métodos de monitoraje se fijarán teniendo en cuenta la colimación de los campos de radiación que pueda haber.
- 2.2.6. Cuando sea posible, las fuentes encerradas se utilizarán en recintos en los que nadie pueda penetrar durante la irradiación.
- 2.2.7. Las fuentes no se tocarán con las manos. Se emplearán instrumentos apropiados, por ejemplo, pinzas ligeras de mango largo y de gran poder de sujeción. Si es preciso, se recurrirá a medios de protección más perfeccionados: manipuladores de brazos articulados, etc.
- 2.2.8. El trabajo con sustancias radiactivas debe prepararse de manera que la duración de la exposición sea mínima. La protección que se obtiene reduciendo el tiempo de trabajo se pierde fácilmente si durante las operaciones surgen dificultades imprevistas, por lo que siempre que sea posible se harán ensayos sin emplear sustancias activas.

- 2.2.9. El trabajo debe organizarse de modo que la duración de la exposición no sea peligrosa; ahora bien, cuando no se disponga de un blindaje protector suficiente y sea preciso controlar el tiempo de exposición, ese control se realizará de manera sistemática, preferentemente sin que el trabajador tenga que ocuparse del servicio de cronometraje y de vigilancia.

2.3. BLINDAJE PROTECTOR

- 2.3.1. Se empleará siempre un blindaje adecuado.
- 2.3.2. Si se trata de rayos beta, los ojos, el rostro y el cuerpo se pueden proteger con placas transparentes de poco espesor.
- 2.3.3. Si se trata de rayos gamma, la cabeza y el cuerpo se pueden proteger con pantallas que proporcionen protección adecuada contra las fuentes de que se trate.
- 2.3.4. Además del blindaje contra la irradiación directa, quizá haya que utilizar un blindaje que proteja adecuadamente contra las radiaciones retrodispersadas por el suelo y el techo. Se tomarán las medidas de precaución apropiadas contra la irradiación directa a través del soporte.
- 2.3.5. Los ladrillos utilizados para la construcción de pantallas protectoras irán imbricados para impedir que las radiaciones atraviesen las juntas.
- 2.3.6. El blindaje estará lo más cerca posible de la fuente.
- 2.3.7. Como es fácil cometer errores al calcular el blindaje, se comprobará siempre su eficacia efectuando mediciones directas.

2.4. USOS ESPECIALES DE LAS FUENTES ENCERRADAS

- 2.4.1. *Fuentes de elevada intensidad e instalaciones de teleterapia en los servicios médicos*
- 2.4.1.1. Siempre que sea factible, las radiaciones ionizantes de alta intensidad se emplearán sólo dentro de recintos exclusivamente destinados a dicho fin que proporcionen a todas las personas situadas fuera de los mismos una pro-

tección adecuada contra el haz útil, las radiaciones perdidas y las retrodispersadas en todas las condiciones de funcionamiento.

- 2.4.1.2. El blindaje protegerá adecuadamente a las personas que se encuentren en los locales contiguos y en las plantas superiores e inferiores. El blindaje no deberá perder su eficacia por procesos de deformación o combadura.
- 2.4.1.3. En las instalaciones de teleterapia, los cuadros de mando estarán en una sala separada o detrás de pantallas de protección fijas.
- 2.4.1.4. Se instalarán cerraduras de seguridad para impedir el acceso a las salas de teleterapia durante la irradiación.
- 2.4.1.5. Las salidas estarán situadas de manera que una persona que quede encerrada accidentalmente pueda abandonar el recinto sin pérdida de tiempo.
- 2.4.1.6. Los aparatos de teleterapia estarán contruídos según el principio de la "seguridad automática", de forma que el haz se interrumpa automáticamente en caso de incidente, por ejemplo, si se abren las puertas durante la irradiación. La fuente sólo podrá ponerse de nuevo en acción por medio del cuadro de mando.
- 2.4.1.7. En el interior y exterior de los recintos y en las cercanías de las instalaciones se recomienda instalar aparatos de alarma que emitan señales luminosas o acústicas, o de ambos géneros, antes de la irradiación y durante la misma.
- 2.4.1.8. En la sala de teleterapia se instalará un monitor de radiaciones que emita señales de alarma cuando la intensidad de radiación sea superior a un valor fijado con anticipación, para así tener la seguridad de que el aparato no se encuentre en funcionamiento.
- 2.4.2. *Fuentes de pequeña intensidad para terapéutica intersticial y de contacto en los servicios médicos*
- 2.4.2.1. Se reservará una sala especial para preparar las fuentes de radiación y los aplicadores; sólo podrán entrar en ella las personas autorizadas.
- 2.4.2.2. Las fuentes de radiación se manipularán en esa sala asegurándose de que las personas que se encuentren en los locales contiguos o en las plantas superiores o inferiores no corran ningún riesgo de irradiación.
- 2.4.2.3. Para preparar las fuentes y los aplicadores, se emplearán un blindaje y un equipo manipulador adecuados, a fin

- de reducir al mínimo la exposición del personal a las radiaciones.
- 2.4.2.4. Se harán inventarios periódicos y se llevarán registros apropiados, en especial un registro de las fuentes introducidas en cada aplicador y retiradas de él.
 - 2.4.2.5. Cuando se utilicen fuentes o aplicadores para tratar a un paciente, se adoptarán las medidas de protección necesarias a fin de reducir al mínimo los riesgos de irradiación para los demás pacientes y el personal que se encuentren en los locales contiguos y en las plantas superiores o inferiores. En estos casos se pueden utilizar pantallas móviles.
 - 2.4.2.6. Siempre que un paciente sea sometido a tratamiento con sustancias radiactivas, se indicará claramente a todas las personas interesadas, en la forma que apruebe la autoridad responsable, este hecho y las precauciones que deban adoptarse.
 - 2.4.2.7. Los desplazamientos del paciente en tratamiento se limitarán en función de las fuentes empleadas.
 - 2.4.2.8. Después del tratamiento, el paciente y el equipo serán sometidos a un monitoreo para determinar si ha habido contaminación accidental por el deterioro inadvertido de alguna de las fuentes o aplicadores utilizados.
- 2.4.3. *Gammagrafía industrial*
- 2.4.3.1. La zona vigilada estará marcada con señales fácilmente reconocibles, no pudiendo penetrar en ella el personal que carezca de autorización.
 - 2.4.3.2. Se instalarán aparatos de alarma que emitan señales luminosas o acústicas, o de ambos géneros, antes de la irradiación y durante la misma.
 - 2.4.3.3. La instalación del dispositivo radiográfico quedará terminada antes del comienzo de la irradiación.
 - 2.4.3.4. Si para una operación gammagráfica hubiera que retirar la fuente de radiación encerrada de su recipiente protector, se empleará una cápsula ficticia claramente identificable en todas las operaciones de ajuste preliminares.
 - 2.4.3.5. Si la fuente encerrada ha de manipularse fuera de su recipiente, la operación se hará automáticamente o con aparatos teledirigidos, de manera que quede adecuadamente protegido todo el personal que tome parte en la operación.

- 2.4.3.6. Se empleará un instrumento detector de radiaciones para comprobar si la fuente radiográfica ha quedado correctamente encerrada en su recipiente protector, una vez terminada la irradiación.
- 2.4.3.7. Cuando se emplee una fuente para gammagrafía industrial fuera de los locales donde se utilice normalmente, se prepararán avisos con representaciones gráficas o fotografías, o ambas cosas, en que se indiquen las dimensiones y características de la fuente y las medidas que ha de adoptar la persona que encuentre dicha fuente. Los avisos se fijarán en la zona en donde se utilice la fuente mientras ésta permanezca en ella.
- 2.4.4 *Medidores de espesor, eliminadores de electricidad estática y aparatos similares que emplean fuentes encerradas*
- 2.4.4.1. Las sustancias radiactivas empleadas en los medidores de espesor, eliminadores de electricidad estática y aparatos similares se presentarán en forma de fuentes encerradas y reunirán las condiciones generales relativas a esta clase de fuentes.
- 2.4.4.2. Siempre que sea posible, la parte normalmente sin blindar de la fuente encerrada estará protegida contra los deterioros mecánicos y llevará una tapa protectora, un obturador o un blindaje fácil de fijar para que en todo momento pueda interceptarse eficazmente el haz útil.
- 2.4.4.3. Si es factible, dichos aparatos estarán instalados o blindados de manera que las dosis de radiación recibidas por todas las personas — incluso las que proceden al montaje o al entretenimiento de la fuente encerrada o de cualquier aparato o instalación próximos a ella — no excedan de las admisibles para el público en general fijadas por la autoridad competente. De esta forma se evitará el tener que someter el personal a monitorajes individuales y a exámenes médicos especiales.
- 2.4.4.4. Los aparatos de que se trata en esta sección estarán marcados clara y permanentemente para advertir al personal de la presencia de sustancias radiactivas y evitar una irradiación innecesaria.
- 2.4.4.5. En caso de deterioro de la fuente de radiación, se informará inmediatamente a la persona encargada de la protección radiológica o a otra persona autorizada.

3. FUENTES NO ENCERRADAS

3.1. CONDICIONES GENERALES DE EMPLEO DE LAS FUENTES NO ENCERRADAS

- 3.1.1. Las disposiciones de las secciones 2.2. y 2.3., referentes a la protección contra la irradiación externa, se aplican también a las fuentes no encerradas. Los signos de identificación se colocarán en el recipiente asignado a la fuente no encerrada.
- 3.1.2. Las operaciones se organizarán de forma que se limite la dispersión de sustancias radiactivas. Para ello se evitarán todos los desplazamientos de personas y traslados de sustancias que no sean necesarios.
- 3.1.3. Se señalarán, marcarán y someterán a monitoraje las zonas en que se ejecuten trabajos con sustancias radiactivas. En los límites de esas zonas se establecerán puntos de monitoraje y de control si así lo aconsejan los niveles de actividad de que se trate. En las instalaciones de cierta importancia, estos puntos de control se establecerán no sólo entre las zonas que estén expuestas a la contaminación radiactiva y las que no lo estén, sino también entre las diferentes zonas activas que se utilicen para fines distintos. De esta forma, una fuga accidental de sustancia radiactiva quedará restringida a una zona delimitada y se podrá evitar el tener que proceder a una descontaminación difícil y costosa.
- 3.1.4. El equipo, el material de vidrio, los instrumentos y el equipo de limpieza utilizados en una zona activa determinada no se emplearán en zonas inactivas y estarán convenientemente marcados. En especial, se procurará evitar la contaminación de los aparatos más importantes cuyo traslado a una zona inactiva pueda ser necesario por razones de economía.
- 3.1.5. El material no será trasladado sin necesidad de una zona inactiva a otra activa. El material, etc., contaminado no se llevará para su reparación fuera de la zona vigilada en tanto la actividad no haya disminuído hasta alcanzar el

límite de seguridad fijado por la persona encargada de la protección radiológica.

- 3.1.6. El empleo de técnicas nuevas requerirá la previa aprobación de la persona responsable; antes de ponerlas en práctica, se harán ensayos con sustancias inactivas o de baja actividad.
- 3.1.7. Al organizar las actividades, se preverán los plazos suficientes para realizar las operaciones necesarias.
- 3.1.8. Las precauciones que han de tomarse para manipular fuentes no encerradas dependerán del grado de radiotoxicidad y de la cantidad de sustancia que se utilice. Además de los riesgos normales de irradiación que presentan las fuentes encerradas, deben tenerse en cuenta las posibilidades de contaminación tales como el riesgo de contaminación externa, de penetración cutánea, de ingestión o de inhalación. Se recomienda que la persona encargada de la protección radiológica dicte instrucciones para la manipulación teniendo en cuenta las condiciones de trabajo y los riesgos aceptables.
- 3.1.9. Según su radiotoxicidad por unidad de actividad, los radioisótopos pueden clasificarse en las cuatro categorías siguientes:
 - a) radiotoxicidad muy elevada
 - b) radiotoxicidad elevada
 - c) radiotoxicidad moderada
 - d) radiotoxicidad baja

Los peligros que entraña la manipulación de fuentes no encerradas dependen de factores tales como los tipos de compuestos en que se encuentran los isótopos, la actividad específica, la volatilidad, la complejidad de los procedimientos empleados y las dosis relativas de radiación que reciban los órganos y tejidos críticos, si ocurre un accidente a consecuencia del cual se produzca penetración cutánea, inhalación o ingestión de la sustancia radiactiva. Estos factores se han tenido en cuenta al preparar la clasificación general que figura en los Cuadros I y II.

- 3.1.10. En el cuadro siguiente se enumeran los principales isótopos clasificados en las cuatro categorías anteriormente mencionadas.

CUADRO I

CLASIFICACION DE LOS ISOTOPOS SEGUN SU RADIO- TOXICIDAD RELATIVA POR UNIDAD DE ACTIVIDAD

(En cada clase, los isótopos se enumeran según el orden creciente de su número atómico)

Clase 1

(toxicidad muy elevada) $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, $^{210}\text{Pb}^* + ^{210}\text{Bi}$ (Ra D+E), ^{210}Po , ^{211}At , $^{226}\text{Ra} + 55$ por ciento de elementos descendientes*, ^{227}Ac , $^{233}\text{U}^*$, ^{239}Pu , $^{241}\text{Am}^*$, ^{242}Cm .

Clase 2

(toxicidad elevada) ^{45}Ca , $^{59}\text{Fe}^*$, ^{89}Sr , ^{91}Y , $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}^*$, $^{131}\text{I}^*$, $^{140}\text{Ba}^* + ^{140}\text{La}$, $^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}^*$, ^{151}Sm , $^{154}\text{Eu}^*$, $^{170}\text{Tm}^*$, $^{234}\text{Th}^* + ^{234}\text{Pa}^*$, uranio natural*.

Clase 3

(toxicidad moderada) $^{22}\text{Na}^*$, $^{24}\text{Na}^*$, ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , $^{42}\text{K}^*$, $^{46}\text{Sc}^*$, ^{47}Sc , $^{48}\text{Sc}^*$, $^{48}\text{V}^*$, $^{52}\text{Mn}^*$, $^{54}\text{Mn}^*$, $^{56}\text{Mn}^*$, ^{55}Fe , $^{58}\text{Co}^*$, $^{60}\text{Co}^*$, ^{59}Ni , $^{64}\text{Cu}^*$, $^{65}\text{Zn}^*$, $^{72}\text{Ga}^*$, $^{74}\text{As}^*$, $^{76}\text{As}^*$, $^{82}\text{Br}^*$, $^{86}\text{Rb}^*$, $^{95}\text{Zr}^* + ^{95}\text{Nb}^*$, $^{95}\text{Nb}^*$, $^{99}\text{Mo}^*$, ^{98}Tc , $^{105}\text{Rh}^*$, $^{103}\text{Pd} + ^{103}\text{Rh}$, $^{105}\text{Ag}^*$, ^{111}Ag , $^{109}\text{Cd} + ^{109}\text{Ag}^*$, $^{113}\text{Sn}^*$, $^{127}\text{Te}^*$, $^{129}\text{Te}^*$, $^{132}\text{I}^*$, $^{137}\text{Cs} + ^{137}\text{Ba}^*$, $^{140}\text{La}^*$, ^{143}Pr , ^{147}Pm , $^{166}\text{Ho}^*$, $^{177}\text{Lu}^*$, $^{182}\text{Ta}^*$, $^{181}\text{W}^*$, $^{183}\text{Re}^*$, $^{190}\text{Ir}^*$, $^{192}\text{Ir}^*$, ^{191}Pt , $^{193}\text{Pt}^*$, $^{196}\text{Au}^*$, $^{198}\text{Au}^*$, $^{199}\text{Au}^*$, ^{200}Tl , ^{202}Tl , ^{204}Tl , $^{203}\text{Pb}^*$.

Clase 4

(toxicidad baja) ^3H , $^7\text{Be}^*$, ^{14}C , ^{18}F , $^{51}\text{Cr}^*$, ^{71}Ge , $^{201}\text{Tl}^*$.

* Emisores gamma.

3.1.11. En el cuadro siguiente se indican los diferentes tipos de laboratorios o lugares de trabajo necesarios:

CUADRO II

Radio- toxicidad del po	Cantidad signifi- cativa mínima	Tipo de laboratorio o de lugar de trabajo necesario		
		Tipo C Buen laboratorio químico	Tipo B Laboratorio de radio- isótopos	Tipo A Laboratorio de elevada actividad
Muy elevada	0,1 μ curies	10 μ curies o menos	de 10 μ curies a 10 mcuries	10 mcuries o más
Elevada	1,0 μ curie	100 μ curies o menos	de 100 μ curies a 100 mcuries	100 mcuries o más
Moderada	10 μ curies	1 mcurie o menos	de 1 mcurie a 1 curie	1 curie o más
Baja	100 μ curies	10 mcuries o menos	de 10 mcuries a 10 curies	10 curies o más

3.1.12. Se aplicarán factores de corrección a las cantidades citadas en las tres últimas columnas del Cuadro II, según la complejidad de las operaciones que se realicen. Se proponen los siguientes factores, pero deben tenerse en cuenta las circunstancias particulares de cada caso.

<i>Operación</i>	<i>Factor de corrección</i>
Almacenamiento (soluciones madres)	× 100
Operaciones muy sencillas por vía húmeda . .	× 10
Operaciones químicas normales	× 1
Operaciones complejas por vía húmeda en las que haya peligro de derrame	× 0,1
Operaciones sencillas por vía seca	× 0,1
Operaciones por vía seca con sustancias pulverulentas	× 0,01

3.1.13. Lo mismo que las fuentes encerradas, las fuentes no encerradas se manipularán con un equipo protector contra la irradiación externa.

3.1.14. Las manipulaciones se efectuarán encima de una bandeja de goteo apropiada, o dentro de un recipiente doble que reduzca al mínimo las consecuencias de las roturas y de

los derrames. Además, conviene cubrir la superficie de trabajo con un material que absorba los líquidos derramados accidentalmente. Este material absorbente se cambiará cuando resulte inadecuado para seguir trabajando con él y se tratará como un desecho radiactivo.

- 3.1.15. Los blindajes deberán estar situados lo más cerca posible del recipiente que contenga las sustancias radiactivas.
- 3.1.16. Los instrumentos y el equipo de manipulación se colocarán en bandejas y recipientes no porosos forrados con papel absorbente, que conviene cambiar con frecuencia. Las pipetas, los agitadores y demás instrumentos análogos no se pondrán nunca en contacto directo con el banco o la mesa.
- 3.1.17. Después de utilizados, todos los recipientes e instrumentos se colocarán aparte para lavarlos con especial cuidado.

3.2. ELECCION DE LA SUSTANCIA RADIATIVA Y DE LOS PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

- 3.2.1. Cuando pueda escogerse entre isótopos de distinta toxicidad, se utilizará uno que sea relativamente poco tóxico.
- 3.2.2. Si es posible, se emplearán sustancias de baja actividad específica.
- 3.2.3. Se estudiarán métodos de trabajo y se adoptarán procedimientos que permitan evitar, en lo posible, la dispersión de las sustancias radiactivas, especialmente por formación de aerosoles, gases, vapores o polvos.
- 3.2.4. Es preferible operar por vía húmeda y no por vía seca.
- 3.2.5. Se evitarán los traslados frecuentes de sustancias.
- 3.2.6. Para cada trabajo, se elegirá siempre la menor cantidad posible de sustancia radiactiva.

3.3. ELECCION Y DISPOSICION DE LOS LUGARES DE TRABAJO

3.3.1. *Consideraciones generales*

- 3.3.1.1. Se procurará emplear materiales de construcción incombustibles. Como norma general, los locales estarán situados donde no haya riesgo de inundación o de corrimiento de tierras.
- 3.3.1.2. Se recomienda reservar locales especiales para la manipulación de radioisótopos. Esta norma puede considerarse facultativa si se trabaja con las cantidades indicadas en la columna C del Cuadro II, pero debe considerarse imperativa si se trabaja con las cantidades indicadas en la columna B o en la columna A del Cuadro II.
- 3.3.1.3. En lo posible, las zonas activas se delimitarán y utilizarán de manera que los diferentes grados de actividad queden netamente separados.
- 3.3.1.4. Las zonas en que se trabaje con radioisótopos estarán debidamente marcadas.

3.3.2. *Pisos, muros y superficies de trabajo*

- 3.3.2.1. Los pisos, muros y superficies de trabajo deberán poderse conservar limpios sin dificultad.
- 3.3.2.2. Para los recintos de trabajo del tipo C, puede bastar, por ejemplo, con que el piso esté revestido de linóleo y las superficies de trabajo estén recubiertas de materiales no absorbentes y provistas de un revestimiento que se pueda cambiar. Las superficies de trabajo deberán poder soportar el peso de las pantallas necesarias para la protección contra las radiaciones gamma.
- 3.3.2.3. Los muros y techos de los recintos de trabajo del tipo B estarán recubiertos de una pintura lavable, impermeable y resistente; el piso estará revestido de materiales tales como linóleo, caucho duro, azulejos o plástico vinílico. Conviene redondear la juntura del suelo con los muros para facilitar la limpieza. Hay que evitar los ángulos, intersticios y asperezas. Cuando se trabaje con emisores gamma, el piso y las superficies de trabajo deberán poder soportar el peso de las pantallas protectoras.

- 3.3.2.4. Conviene que sea un experto quien organice los laboratorios del tipo A. En esos laboratorios, se utilizarán por regla general cajas de guantes u otros dispositivos herméticamente cerrados.
- 3.3.2.5. Los muros y pisos estarán libres de obstáculos superfluos, y todos los objetos inútiles se retirarán de las superficies de trabajo.
- 3.3.3. *Lavabos*
Se instalarán lavabos en las zonas de trabajo de los laboratorios del tipo B y C. En general, bastará con el modelo corriente de lavabo de superficie blanca, esmaltada y sin defectos. Es conveniente conectar los lavabos directamente con la tubería principal; se evitarán los desagües en canalizaciones abiertas y también los dispositivos innecesarios en donde pueda acumularse légamo. Los grifos se podrán accionar de preferencia con el pie, la rodilla o el codo. Para evacuar los desechos se instalarán los desagües y alcantarillas de acuerdo con las indicaciones de la sección 8.3.2.
- 3.3.4. *Mobiliario*
El mobiliario se reducirá al mínimo necesario y deberá poder lavarse sin dificultad. Habrá el menor número posible de objetos en donde pueda acumularse polvo: cajones, estantes, lámparas colgadas, etc.
- 3.3.5. *Alumbrado*
Los locales de trabajo estarán correctamente iluminados.
- 3.3.6. *Ventilación*
- 3.3.6.1. Al proyectar los locales se adoptarán medidas para que haya una ventilación adecuada.
- 3.3.6.2. La entrada y salida del aire de ventilación se efectuará sin obstáculos en todas las condiciones de trabajo: puertas y ventanas abiertas o cerradas, diferentes condiciones de empleo de las campanas, etc. En los laboratorios pequeños se podrá obtener una corriente de aire suficiente utilizando los sistemas extractores de las campanas, pero en tal caso será preciso conseguir que el aire exterior entre en el laboratorio independientemente de las condiciones de trabajo, practicando orificios de ventilación en las puertas de los locales.

- 3.3.6.3. Se tendrá en cuenta la posible necesidad de acondicionar o filtrar el aire procedente del exterior. En los climas fríos debe prestarse la debida atención a la necesidad de calentar el aire exterior introducido para un grupo grande de campanas, ya que ello puede plantear serios problemas.
- 3.3.6.4. Las entradas y salidas de aire estarán situadas de manera que el aire evacuado no pueda volver a entrar en el sistema de ventilación. La necesidad de filtrar el aire extraído de los lugares de trabajo y de las campanas dependerá de la naturaleza del trabajo, de la posición de la salida de aire con respecto a los alrededores del edificio y de los riesgos que puedan ocasionar las partículas que se depositen en sus proximidades.
- 3.3.6.5. Las campanas deberán provocar una corriente de aire uniforme y sin torbellinos. La velocidad de la corriente debe ser tal que el aire no pueda volver al laboratorio en condiciones de trabajo normales, pese a abrirse ventanas o puertas o a la aspiración producida por las otras campanas. Esto se comprobará haciendo ensayos con humo. Se recomienda que los ventiladores estén situados en el lado de evacuación de los filtros del sistema. Las llaves del gas y del agua y los conmutadores eléctricos se accionarán desde el exterior de las campanas y los conductos de salida se podrán limpiar lo más fácilmente posible.

3.4. ROPA DE PROTECCION

- 3.4.1. Toda persona que se halle en la zona vigilada, aunque sólo manipule pequeñas cantidades de sustancias radiactivas, llevará la ropa de protección que corresponda al riesgo de contaminación radiactiva.
- 3.4.2. En los recintos de trabajo del tipo C, el personal llevará ropa de protección corriente, tal como batas de laboratorio o cirugía. Las personas que trabajen en locales del tipo A y B emplearán ropa o medios protectores adaptados al tipo de labor que se desarrolle. Cuando se trabaje con animales de laboratorio, será conveniente utilizar ropa que proteja contra las mordeduras o arañazos y se protegerá el rostro contra las salpicaduras de sangre u otros humores.

- 3.4.3. En los recintos de trabajo del tipo A y B, la ropa de protección se podrá identificar con facilidad, por ejemplo, por ser de colores diferentes. De ningún modo podrá llevarse la ropa fuera de la zona vigilada.
- 3.4.4. La ropa de trabajo y la de calle se guardará en armarios o vestuarios separados. Al mudarse de ropa, se evitarán cuidadosamente los riesgos de contaminación.
- 3.4.5. Para manipular las sustancias radiactivas no encerradas, se usarán guantes de goma; esos guantes protegen contra la contaminación de la piel, pero no contra las radiaciones penetrantes.
- 3.4.6. A fin de no contaminar innecesariamente objetos como interruptores, grifos, picaportes, etc., se procurará evitar el manipularlos directamente con guantes protectores. En estos casos se quitarán los guantes o se intercalará un trozo de material no contaminado (papel), que luego se tirará con los residuos contaminados.
- 3.4.7. Los guantes contaminados se lavarán antes de quitarlos.
- 3.4.8. Se empleará un método que permita ponerse y quitarse los guantes de goma sin contaminar su interior. Se procederá de forma que la parte interior del guante no entre en contacto con la parte exterior, y se evitará todo contacto de la parte exterior con la piel desnuda. Es conveniente emplear guantes en los que el interior y el exterior puedan distinguirse fácilmente.

3.5. MEDIDAS DE PROTECCION INDIVIDUAL

- 3.5.1. No se tocarán con la mano desnuda las fuentes radiactivas no encerradas.
- 3.5.2. En los laboratorios de isótopos no se pipetará ninguna solución con la boca.
- 3.5.3. Conviene adoptar precauciones especiales para evitar los pinchazos y los cortes, especialmente cuando se manipulan los radioisótopos más peligrosos.
- 3.5.4. Nadie que tenga una herida abierta (vendada o no) por debajo de la muñeca trabajará con isótopos radiactivos sin consentimiento del médico.

- 3.5.5. Se evitará el empleo de recipientes, material de vidrio, etc., con bordes cortantes.
- 3.5.6. Cuando se trabaje con animales contaminados, se adoptarán medidas de protección para evitar los mordiscos o arañazos.
- 3.5.7. En los lugares en que se utilicen sustancias radiactivas no encerradas se evitará soplar vidrio con la boca. No se permitirá el soplado de vidrio ni ninguna clase de soldaduras, etc., de equipo contaminado con sustancias radiactivas, a menos que la operación se realice en instalaciones adecuadamente ventiladas y que se empleen técnicas especiales para evitar la inhalación de polvo y vapores radiactivos.
- 3.5.8. En las zonas vigiladas sólo se emplearán etiquetas autoadhesivas y se evitará el uso de las que haya que humedecer.
- 3.5.9. En los recintos de trabajo en que haya fuentes no encerradas, no se podrá introducir ni usar ninguno de los artículos siguientes:
- Alimentos y bebidas (si es necesario, se instalarán fuentes de agua potable en las cercanías).
 - Tabaco en todas sus formas, inclusive el rapé y los artículos para fumadores.
 - Bolsos, lápices de labios y otros cosméticos, y los objetos empleados para aplicarlos.
 - Pañuelos, salvo los que se mencionan más abajo.
 - Utensilios para comer y beber.
- 3.5.10. Se darán a los trabajadores toallas y pañuelos de papel que se tirarán después de usarlos; en los recintos de trabajo se instalarán recipientes especiales para arrojar esas toallas y pañuelos, que se tratarán como residuos radiactivos.
- 3.5.11. Antes de abandonar la zona vigilada, los trabajadores se lavarán las manos con cuidado (sobre todo las uñas, los espacios interdigitales y los bordes exteriores de las manos).
- 3.5.12. Asimismo los trabajadores tomarán duchas siempre que lo recomiende la persona encargada de la protección radiológica. Antes de abandonar la zona vigilada, puede ser necesario proceder al monitoraje de las manos, zapatos y ropa de calle, si ésta se llevaba durante el trabajo.

3.6. CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE

- 3.6.1. La contaminación radiactiva del aire de los recintos de trabajo se reducirá al mínimo. Todas las operaciones que puedan provocar la contaminación radiactiva del aire por la producción de aerosoles (en especial, el calentamiento de soluciones radiactivas), humo o vapores, se efectuarán en un recinto estanco cuya presión sea inferior a la atmosférica (caja de guantes), o debajo de una campana.
- 3.6.2. Se procurará mejorar la protección colectiva, evitando así tener que recurrir a medidas individuales de protección tales como el empleo de máscaras-filtro, máscaras de aire comprimido, escafandras, etc. Conviene prescindir de los sistemas que exigen un amplio uso de las máscaras-filtro.
- 3.6.3. Cuando el grado de contaminación no pueda mantenerse por debajo del máximo admisible fijado por la persona encargada de la protección radiológica, se suministrarán medios individuales de protección contra la contaminación a las personas que utilicen los recintos de trabajo.
- 3.6.4. Las máscaras-filtro serán de la forma que un laboratorio de ensayos acreditado haya aprobado para la clase de servicio que se necesite, y será preciso conocer y respetar los límites de seguridad en su utilización.
- 3.6.5. Las máscaras serán adecuadas para las condiciones de utilización y se inspeccionarán y probarán periódicamente.
- 3.6.6. Las máscaras se ajustarán individualmente y se comprobará su hermeticidad tratando de respirar con la toma de aire cerrada.
- 3.6.7. Las personas que empleen máscaras se acostumbrarán a observar la disciplina necesaria en su utilización, pues de lo contrario es probable que esos aparatos causen más daños que beneficios, por la contaminación que puede acumularse en su parte interior.
- 3.6.8. Los cascos con tubo de abastecimiento de aire son quizá la única protección segura en los casos difíciles en que las máscaras no representan una garantía adecuada (por ejemplo, cuando se trabaje con gases radiactivos). En dichos casos, debe procurarse que el aire sea puro y que se renueve adecuadamente.

3.7. USOS ESPECIALES DE LAS FUENTES NO ENCERRADAS

3.7.1. *Instalaciones para el bombeo de radón o torón*

3.7.1.1. La instalación estará en salas especiales o, si es posible, en un edificio separado. La solución de radio u otro elemento radiactivo utilizado como fuente de radón o de torón se colocará en un cofre provisto de un blindaje adecuado y situado en una sala separada; estará conectado por medio de tubos con el aparato de bombeo instalado en un local contiguo.

3.7.1.2. Los tubos capilares de vidrio y las perlas de oro se llenarán de radón antes de que se formen cantidades apreciables de productos de desintegración.

3.7.1.3. Todos los locales en los que se realicen trabajos con radón estarán eficazmente ventilados.

3.7.2. *Aplicación de compuestos luminiscentes a base de radio o de radioisótopos que presenten peligros análogos*

Las siguientes recomendaciones comprenden pasajes de las disposiciones pertinentes de la Organización Internacional del Trabajo relativas a las radiaciones ionizantes. Serán útiles para cualquier tipo de trabajo similar en el que se empleen los isótopos más peligrosos.

3.7.2.1. La aplicación de compuestos luminiscentes, ya sea a mano ya sea a máquina, sólo se realizará en recintos de trabajo cuyas características correspondan por lo menos a las del tipo B.

3.7.2.2. Las disposiciones relativas al revestimiento de paredes, suelos y superficies de trabajo, a los sistemas de ventilación, a la prohibición de comer, beber, fumar, tomar rapé y usar cosméticos, al almacenamiento de fuentes y al tratamiento de residuos radiactivos serán, no obstante, las indicadas para los recintos de trabajo del tipo A o para los del tipo B bien acondicionados.

3.7.2.3. Siempre que sea posible, se utilizarán cajas de guantes o dispositivos similares para la aplicación de compuestos luminiscentes.

3.7.2.4. Si no puede utilizarse el equipo mencionado en el párrafo anterior, se facilitará ropa protectora complementaria, incluídos mandiles y pecheras lavables de goma u otros materiales impermeables.

- 3.7.2.5. Esta ropa protectora complementaria se limpiará diariamente por un procedimiento húmedo.
- 3.7.2.6. Las operaciones con compuestos luminiscentes secos, como llenar o pesar tubos capilares de vidrio por ejemplo, sólo se realizarán en el interior de cajas de guantes o instalaciones análogas.
- 3.7.2.7. Las piezas recubiertas de compuestos luminiscentes que están secándose o ya están terminadas no se acumularán en los bancos de trabajo o en sus proximidades, sino que a intervalos frecuentes se depositarán en un lugar de almacenamiento que proporcione una protección adecuada (véase: Almacenamiento de fuentes).
- 3.7.2.8. Toda estufa o recipiente utilizado para el secado de compuestos luminiscentes deberá estar:
- a 3 metros o más de los lugares de trabajo;
 - encerrado, si es posible;
 - bien ventilado para expulsar al aire libre los gases o vapores de la estufa o recipiente, de forma que no se contamine la atmósfera de una zona de trabajo.
- 3.7.2.9. En ningún caso se pondrán en la boca o en contacto con la piel los instrumentos utilizados para la aplicación de compuestos luminiscentes.
- 3.7.2.10. No se emplearán pinceles para la aplicación de compuestos luminiscentes.
- 3.7.2.11. Se facilitarán recipientes apropiados para los compuestos luminiscentes a los trabajadores que los manipulen; dichos receptáculos estarán contruidos de forma que:
- limiten la irradiación beta y gamma;
 - eviten la contaminación de las manos.
- 3.7.2.12. Al menos una vez al mes, en todos los recintos de trabajo en los que haya personas empleadas en trabajos que obliguen a usar compuestos luminiscentes, se realizará una inspección con rayos ultravioleta o con un monitor de radiaciones apropiado, con el fin de detectar las zonas de contaminación radiactiva.
- 3.7.2.13. Todas estas zonas se limpiarán inmediatamente por un procedimiento húmedo.
- 3.7.2.14. Las máquinas destinadas a la aplicación de compuestos luminiscentes se construirán de forma que se obtenga una protección adecuada.

3.7.2.15. Sin emplear un método por vía húmeda o una caja de guantes, nadie debe:

- retirar de los aplicadores u otras herramientas residuos que contengan compuestos luminiscentes;
- retirar compuestos luminiscentes de la superficie de cualquier otro objeto o de los tubos de vidrio;
- limpiar partes contaminadas de las máquinas destinadas a la aplicación de compuestos luminiscentes.

3.7.2.16. Los residuos radiactivos que provengan de la aplicación de compuestos luminiscentes se evacuarán observando las recomendaciones relativas a la eliminación de desechos radiactivos.

3.7.3. *Utilización médica de las fuentes no encerradas*

La utilización médica de las fuentes de radiación no encerradas plantea dificultades especiales porque, además de ser necesario atenerse a las reglamentaciones clínicas normalmente en vigencia en los laboratorios, salas de operaciones y salas de hospital, es preciso adoptar medidas de protección contra las radiaciones. Asimismo, es menester proteger tanto a los enfermos como al personal del hospital. En cambio, el número de radioisótopos empleados en medicina suele ser pequeño y raras veces se utiliza en un solo tratamiento una actividad superior a 100 mcuries. Los problemas puramente médicos que plantea la utilización de los radioisótopos en el diagnóstico y la terapéutica no corresponden a los temas de que trata este Manual.

Las fuentes no encerradas sólo se emplearán cuando se cumplan todas las condiciones establecidas por las autoridades competentes para los locales, el personal y los instrumentos.

3.7.3.1. Los laboratorios del tipo C resultan suficientes en el caso de los radioisótopos utilizados exclusivamente para el diagnóstico y para trabajos con trazadores.

3.7.3.2. Para el empleo terapéutico de los isótopos, deberá disponerse de las siguientes instalaciones:

- 1) laboratorios del tipo B para preparar los isótopos destinados al tratamiento médico;

- 2) otras salas para el tratamiento propiamente dicho;
- 3) salas para los enfermos que hayan sido tratados con isótopos.

Para los casos especiales puede consultarse el Cuadro II del párrafo 3.1.11., al cual se han de aplicar los factores de corrección para las "Operaciones complejas por vía húmeda en las que haya peligro de derrame" (3.1.12.).

- 3.7.3.3. Se recomienda que estas salas sean contiguas y, si es posible, que estén aisladas del resto del hospital. Además, deben considerarse como "zonas vigiladas".
- 3.7.3.4. Todo enfermo tratado con radioisótopos será considerado como una fuente de radiaciones y de contaminación, contra la cual el personal del hospital y los otros enfermos podrían necesitar protección.
- 3.7.3.5. Es preciso dar a los enfermeros las instrucciones adecuadas y facilitarles protección suficiente, ya que su trabajo entraña riesgos particulares de contaminación e irradiación. Se evitará que los enfermeros permanezcan sin necesidad a la cabecera de los pacientes.
- 3.7.3.6. Se seguirán las recomendaciones que figuran en la sección 3.1. relativas al empleo general de las fuentes no encerradas. Puede ser necesario recurrir a técnicas especiales al utilizar ciertos instrumentos médicos, por ejemplo las jeringas.
- 3.7.3.7. La cantidad de sustancia radiactiva que haya en la sala de tratamiento se limitará, en lo posible, a la que será efectivamente administrada; de este modo, se podrá atenuar el rigor con que se aplican muchas de las medidas de seguridad.
- 3.7.3.8. Los instrumentos, recipientes y ropa blanca contaminados se descontaminarán ajustándose a las normas enunciadas en la sección 7.2.
- 3.7.3.9. Las excreciones de las pacientes tratados por vía interna se considerarán como desechos radiactivos.
- 3.7.3.10. Los traslados de los pacientes sometidos a tratamiento se limitarán en lo posible en función del peligro que puedan presentar.

- 3.7.4. *Empleo de radioisótopos en experimentos realizados con animales*
- 3.7.4.1. Se observarán las disposiciones generales de los capítulos anteriores relativos al trabajo con fuentes no encerradas.
- 3.7.4.2. No obstante, para evitar que los animales o sus excreciones diseminen la contaminación, es preciso diseñar adecuadamente las jaulas y los locales correspondientes.
- 3.7.4.3. Las excreciones, tejidos y órganos procedentes de biopsias y autopsias, así como los cadáveres de los animales, se considerarán como desechos radiactivos. La posibilidad de que la contaminación se extienda al ser favorecida por el proceso de descomposición, se evitará mediante la congelación, el empleo de desinfectantes, recipientes de material plástico herméticamente cerrados, etc.
- 3.7.4.4. Se adoptarán disposiciones especiales para recoger las excreciones y descontaminar las jaulas.
- 3.7.4.5. Los animales radiactivos o sus jaulas se marcarán con señales en las que se indique la naturaleza y la cantidad de radioisótopos empleados, así como la hora en que éstos fueron administrados.
- 3.7.4.6. Sin previo control no se autorizará ningún intercambio de instrumentos, jaulas, etc., entre los laboratorios activos y los inactivos.
- 3.7.4.7. Se tomarán precauciones para evitar que se produzcan heridas contaminadas al trabajar con animales y para protegerse contra la contaminación originada por los aerosoles radiactivos y por las salpicaduras producidas por los movimientos de los animales, su tos, etc.
- 3.7.4.8. Cuando se trabaje con animales contaminados se aplicará normalmente un factor de corrección de 0,1 a los valores que figuran en el Cuadro II.
- 3.7.4.9. Debe considerarse la presencia de parásitos como un posible vector de contaminación.

4. ALMACENAMIENTO DE LAS FUENTES

4.1. LUGAR DE ALMACENAMIENTO

Cuando no estén en uso, las fuentes radiactivas se guardarán en un depósito destinado exclusivamente a este fin.

- 4.1.1. El lugar de almacenamiento estará protegido con pantallas adecuadas.
- 4.1.2. Sólo el personal autorizado podrá introducir fuentes en el lugar de almacenamiento o retirarlas del mismo; dicho lugar estará protegido contra toda intrusión.
- 4.1.3. El lugar de almacenamiento se encontrará en un local provisto de una puerta de salida de emergencia, la cual podrá ser abierta desde el interior.
- 4.1.4. El lugar de almacenamiento se elegirá de modo que el riesgo de incendio sea mínimo.
- 4.1.5. Los edificios en los que estén almacenadas las fuentes de radiación serán inspeccionados a intervalos regulares para detectar su posible contaminación.

4.2. CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

- 4.2.1. Se marcarán claramente todas las fuentes de radiación, indicándose su actividad y naturaleza. Quizá sea conveniente incluir el nombre de la persona responsable de la fuente. Si normalmente se emplean varias fuentes debajo de una campana o en otra zona de trabajo, como sucede por ejemplo en los trabajos de química analítica, las marcas pueden ser de un tipo general y aplicarse a toda la zona de trabajo. Se marcará especialmente cualquier fuente que entrañe un peligro mayor que los indicados en la advertencia general.
- 4.2.2. Los recipientes de isótopos emisores de partículas beta tendrán paredes de suficiente espesor para que la intensidad de la radiación primaria no exceda del límite de

seguridad. Las fuentes de intensidad elevada pueden emitir una radiación de frenado considerable, por lo que se proveerán con un blindaje adicional si es necesario.

- 4.2.3. Las fuentes emisoras de rayos gamma se almacenarán de forma que se limite la exposición a la radiación de las otras fuentes cuando se manipula una de ellas.
- 4.2.4. Cuando las fuentes encerradas o no encerradas pueden liberar un gas radiactivo, el lugar de almacenamiento se ventilará eficazmente por medios mecánicos para expulsar dicho gas a la atmósfera antes de abrirlo.
- 4.2.5. Se facilitará equipo especial para almacenar las fuentes no encerradas, de forma que se evite no sólo el peligro de irradiación externa, sino también los riesgos de contaminación radiactiva.
- 4.2.6. En los recintos de trabajo del tipo C, las fuentes pueden guardarse en armarios especiales que proporcionen una protección adecuada.
- 4.2.7. En los recintos de trabajo del tipo B, es mejor utilizar un cofre provisto de un cierre de seguridad con el que se obtenga una protección adecuada y que pueda ventilarse en caso de necesidad.

4.3. OPERACIONES DE ALMACENAMIENTO

- 4.3.1. Se llevarán registros de todas las fuentes radiactivas almacenadas.
- 4.3.2. En los registros se indicará claramente el tipo de fuente, su actividad, la hora en que se retiró y se volvió a ingresar en el almacén, y el nombre de la persona responsable de la fuente cuando ésta se halle fuera del depósito.
- 4.3.3. Se harán inventarios periódicos.
- 4.3.4. Se verificará si se ha retirado una fuente del depósito y cuánto tiempo ha permanecido fuera de él para poder protegerse debidamente contra la correspondiente actividad.
- 4.3.5. Las soluciones térmicamente inestables que contengan sustancias radiactivas en ácido nítrico y las soluciones oxidantes con vestigios de compuestos orgánicos, así como

las soluciones estables cuya actividad alfa sea superior a 5 mcuries o cuya actividad beta sea superior a 50 mcuries se guardarán en recipientes provistos de orificios de aeración.

- 4.3.6. Se usarán frascos y recipientes que puedan abrirse fácilmente.
- 4.3.7. Las soluciones de elevada actividad alfa (superior a 1 mcurie/ml) no se guardarán en frascos de vidrio delgado, dado que la irradiación puede disminuir la resistencia del vidrio. Es preciso tener en cuenta que los recipientes de vidrio pueden quebrarse sin causa aparente.
- 4.3.8. Los frascos que contengan líquidos radiactivos se colocarán en recipientes lo bastante grandes para recoger todo su contenido si llegaran a romperse.
- 4.3.9. Es menester tomar precauciones especiales al abrir los recipientes que contienen líquidos radiactivos inflamables, explosivos o efervescentes.

5. TRANSPORTE DE SUSTANCIAS RADIATIVAS

5.1. TRANSPORTE EN EL INTERIOR DE LOS ESTABLECIMIENTOS

- 5.1.1.** La cantidad de sustancias radiactivas que hayan de transportarse no excederá de la necesaria.
- 5.1.2.** El transporte se hará en recipientes cerrados y convenientemente protegidos, contruídos de forma que no se derrame la sustancia radiactiva si llegaran a volcar.
- 5.1.3.** Si las sustancias radiactivas líquidas, gaseosas, en polvo (o en otra forma sólida dispersable) están envasadas en recipientes frágiles, éstos se colocarán en envases exteriores de material irrompible. En el caso de fuentes líquidas, se recomienda que el recipiente esté rodeado de un material absorbente que pueda retener todo el líquido en caso de rotura.
- 5.1.4.** Se dispondrá de los medios adecuados tanto para introducir la fuente en el recipiente de transporte apropiado como para retirarla del mismo.
- 5.1.5.** Los recipientes de transporte estarán claramente marcados con señales de peligro.
- 5.1.6.** Los recipientes en tránsito llevarán una etiqueta de transporte con todas las indicaciones necesarias para la seguridad, como por ejemplo:
 - la naturaleza del contenido;
 - su estado físico;
 - la actividad en curies;
 - la intensidad de radiación en la superficie exterior del recipiente;
 - la intensidad de radiación a una distancia determinada;
 - el tipo de embalaje (si procede).Si se trata de fuentes no encerradas, se hará constar además en la etiqueta de transporte que las partes exteriores del recipiente y el vehículo no están contaminados.

- 5.1.7. No conviene retirar la etiqueta de transporte hasta que la fuente esté a cargo y en posesión de una persona que conozca la naturaleza de la sustancia radiactiva y los riesgos de irradiación que supone.
- 5.1.8. Se dispondrán las medidas de urgencia que han de tomarse durante el transporte en caso de accidente que afecte a las sustancias radiactivas.
- 5.1.9. Se advertirá inmediatamente a la persona encargada de la protección radiológica de cualquier pérdida de sustancias radiactivas acaecida durante el transporte.
- 5.1.10. El transporte de cantidades peligrosas de sustancias radiactivas en el interior de un establecimiento estará a cargo de trabajadores expertos.

5.2. TRANSPORTE EN EL EXTERIOR DE LOS ESTABLECIMIENTOS

- 5.2.1. Se determinará la ruta y el medio de transporte con los detalles suficientes para que puedan cumplirse las normas y reglamentos establecidos por todas las autoridades a través de cuya zona de jurisdicción haya de pasar el envío. En caso de transbordo, no debe darse por supuesto que un envío que satisface las exigencias del primer transportista satisfará asimismo las de todos los demás.
- 5.2.2. Antes del envío se comunicarán al destinatario, con antelación suficiente, todos los detalles importantes relativos a aquél, para que pueda hacer los preparativos necesarios a fin de recibir dicho envío. Por lo menos, se le indicará el medio de transporte y la hora de llegada. La información contendrá todas las instrucciones especiales para el almacenamiento y todos los detalles sobre la manera de abrir sin riesgos los recipientes especiales de transporte.
- 5.2.3. De no disponerse lo contrario en las normas y reglamentos mencionados en el párrafo 5.2.1., se aplicarán las recomendaciones generales siguientes:
 - 5.2.3.1. Los embalajes deberán impedir que la intensidad de radiación en su exterior, habida cuenta del tiempo y condiciones de manipulación, transporte y almacenamiento,

entrañe para persona alguna una irradiación superior a la admisible para la irradiación no profesional. El número de embalajes que pueden depositarse en un vehículo o lugar de almacenamiento se limitará teniendo en cuenta idénticas consideraciones.

5.2.3.2. La superficie exterior de los embalajes no deberá estar contaminada de modo apreciable. Los recipientes que deban devolverse no estarán tampoco contaminados por la parte exterior.

5.2.3.3. El embalaje deberá impedir la pérdida de sustancias radiactivas en las condiciones normales de transporte o la dispersión de sustancias radiactivas en caso de accidentes que puedan ocurrir como consecuencia del procedimiento de transporte empleado. El embalaje será resistente a los golpes, al fuego y al agua. Además, se tendrán en cuenta los factores siguientes:

- la posible corrosión del recipiente;
- el efecto de las variaciones de la temperatura y presión exteriores;
- el grado de autocalentamiento de las fuentes de radiación de gran intensidad;
- la posibilidad de que se formen gases, con el consiguiente aumento de presión;
- la posibilidad de evacuar los gases que se formen y los probables efectos de la liberación de gases radiactivos;
- la posibilidad de que después de embalada la sustancia se formen elementos descendientes que aumenten la actividad.

5.2.3.4. El envío estará marcado claramente.

Las señales:

1. indicarán que existen riesgos de irradiación. Estas señales deben ser legibles aun en condiciones desfavorables;
2. indicarán la naturaleza y cantidad de sustancias radiactivas y la intensidad de radiación en la superficie del embalaje y a una distancia determinada;
3. indicarán que no se debe permanecer innecesariamente en las proximidades y que las películas fotográficas sin revelar deben mantenerse a una distancia mínima determinada;

4. serán adecuadas para evitar cualquier pérdida o extravío de la remesa si ésta sufre daños durante el transporte, y darán instrucciones para la evacuación sin riesgos si la entrega no puede efectuarse.
- 5.2.3.5. Las sustancias radiactivas no se transportarán junto con sustancias explosivas, inflamables, oxidantes o corrosivas.
- 5.2.3.6. Se comunicarán por escrito a la persona encargada del transporte todos los detalles enumerados en el párrafo 5.2.3.4. y todas las demás instrucciones que puedan resultar necesarias para el transporte, manipulación y almacenamiento del envío en las mejores condiciones de seguridad.

6. ACCIDENTES

6.1. DEFINICION DE LOS ACCIDENTES

- 6.1.1. A los efectos de este Manual, se considera como accidente todo acontecimiento imprevisto que pueda afectar a la seguridad radiológica.
- 6.1.2. El problema más importante y, con frecuencia, el más arduo consiste en comprobar si un accidente se ha producido.

6.2. MEDIDAS DE PRECAUCION

- 6.2.1. Los trabajos se realizarán con arreglo a un plan preconcebido. Toda modificación del plan irá seguida de una nueva evaluación de los riesgos de irradiación que entrañe.
- 6.2.2. Se prepararán unas instrucciones para caso de accidente, que se expondrán en lugares bien visibles. El personal deberá comprenderlas perfectamente.
- 6.2.3. Al formular dichas instrucciones no se limitarán demasiado rígidamente las condiciones de aplicación. Puede producirse una situación grave por causas muy diferentes, desde la simple dispersión de contaminación radiactiva hasta los siniestros naturales: incendios, inundaciones, terremotos, etc.
- 6.2.4. Al preparar las medidas que han de adoptarse en caso de accidente, se dará prioridad a la seguridad de los seres humanos, según las necesidades y la urgencia de cada caso. Se protegerá al público en primer término.
- 6.2.5. El personal deberá conocer perfectamente el emplazamiento y el modo de empleo del equipo de protección y de socorro en caso de urgencia. La instrucción práctica es de fundamental importancia. El equipo se inspeccionará con regularidad para cerciorarse de que está en buenas condiciones de funcionamiento.
- 6.2.6. Las autoridades de salud pública, los servicios contra incendios y los demás servicios y autoridades competentes (guardias, policía, etc.) deberán estar al corriente de los

peligros especiales de irradiación o de contaminación y de las medidas de protección radiológica que han de adoptarse.

- 6.2.7. Ninguna persona realizará trabajos peligrosos sin la presencia de un auxiliar que pueda socorrerle en caso de necesidad.
- 6.2.8. Se dispondrá de medios y personal de socorro cuando se realicen trabajos con fuentes no encerradas que exijan la utilización de recintos de trabajo del tipo A o B.
- 6.2.9. Se dictarán medidas para los primeros auxilios siguiendo el asesoramiento médico.

6.3. MEDIDAS QUE HAN DE ADOPTARSE SIEMPRE QUE SE PRODUZCAN ACCIDENTES

- 6.3.1. La responsabilidad de las medidas que se han de adoptar en caso de accidente incumbirá a una sola persona. Su nombre y el de sus reemplazantes figurarán claramente en las instrucciones para accidentes; dicha persona estará siempre a disposición de todos los interesados.
- 6.3.2. Se preparará un informe detallado sobre todos los accidentes. Este informe puede tener consecuencias importantes para la protección sanitaria del personal y para los problemas de responsabilidad civil, y puede ayudar a la persona encargada de la protección radiológica a efectuar un estudio detallado con miras a evitar la repetición de accidentes análogos.
- 6.3.3. Después de cada accidente, se efectuará una investigación y se adoptarán las medidas necesarias para evitar que se repita.

6.4. ACCIDENTES QUE PRODUCEN CONTAMINACION RADIATIVA

- 6.4.1. Puede producirse una pérdida de material radiactivo por derrame, por un fallo del equipo o por rotura de la envoltura de una fuente encerrada. Las circunstancias del caso determinarán las medidas que corresponda adoptar para

evitar una contaminación general y la exposición del personal, así como el orden en que deberán tomarse dichas medidas. Por ejemplo, si se derrama una pequeña cantidad de líquido, puede ser conveniente recogerlo y limpiar inmediatamente el lugar contaminado sin necesidad de entorpecer los trabajos corrientes que se ejecutan en el local en que se ha producido el derrame. En cambio, si se desprende una cantidad relativamente grande de polvo radiactivo o de aerosol en un local habrá que tomar medidas inmediatas para que la contaminación quede limitada a *dicho local* y será necesario que todo el personal lo abandone, procediendo luego a las operaciones de monitoreo y de descontaminación que sean necesarias. A continuación se enumeran las medidas que con frecuencia conviene aplicar en casos de liberación accidental de sustancias radiactivas. Se ha procurado enumerarlas en el orden en que suelen ser adoptadas, pero algunas de ellas sólo serán útiles en circunstancias especiales o cuando se liberen cantidades considerables de sustancias radiactivas.

- 6.4.2. Las personas que se encuentren en la proximidad del lugar en que se ha producido el derrame o escape y que puedan haber sufrido contaminación interna o externa como consecuencia del accidente deberán recibir inmediatamente las instrucciones necesarias.
- 6.4.3. Tendrá prioridad la protección del personal y el aislamiento del material radiactivo en el local en que el accidente haya ocurrido. Se tomarán medidas inmediatas para contener el derrame o limitar el escape si, a juicio de la persona que se ocupaba directamente del trabajo en el que se produjo el derrame o escape, conviniera hacerlo.
- 6.4.4. Las personas que hayan resultado directamente contaminadas por el derrame de un líquido deberán quitarse de inmediato la ropa mojada y se lavarán cuidadosamente las manos y las demás partes del cuerpo que se hayan contaminado.
- 6.4.5. Si se corre el peligro de inhalar sustancias radiactivas, todas las personas que no estén expresamente encargadas de poner en ejecución las medidas de seguridad establecidas abandonarán sin demora la zona contaminada.
- 6.4.6. La evacuación y demás medidas se ejecutarán reduciendo al mínimo los traslados de personas dentro del local.

Nadie deberá moverse antes de estar al corriente de la situación y poder determinar el objeto de su traslado. Se evitará el paso por lugares contaminados o que puedan estarlo.

- 6.4.7. La persona encargada de la protección radiológica o su representante en la zona afectada deberán recibir toda la información disponible sobre la naturaleza e importancia del accidente.
- 6.4.8. Si resulta necesario evacuar el local, es, en general, indicado detener todos los ventiladores mecánicos y cerrar todas las aberturas que comuniquen con el exterior. Sin embargo, puede ser necesario tomar en consideración las circunstancias particulares del caso. Por ejemplo, si la liberación accidental de sustancias radiactivas se produce en el interior de una campana o en su proximidad, no conviene adoptar medidas que puedan interrumpir la salida de aire por la campana.
- 6.4.9. Si se teme que se haya producido una considerable contaminación del aire, se procurará reducir al mínimo la inhalación de sustancias radiactivas conteniendo el aliento y protegiendo las vías respiratorias con los medios de que se disponga.
- 6.4.10. Cuando el local se haya evacuado totalmente, quizá sea conveniente sellar las puertas y demás aberturas con tiras adhesivas a fin de evitar que salga más sustancia radiactiva.
- 6.4.11. Las personas que puedan haber inhalado o ingerido cantidades importantes de sustancias radiactivas serán atendidas inmediatamente como se dispone en el capítulo 7.
- 6.4.12. Excepto en caso de lesiones o por otros motivos urgentes, las personas que hayan evacuado la zona contaminada permanecerán en sus proximidades inmediatas hasta que se haya verificado si están o no contaminadas y se hayan tomado todas las precauciones necesarias (por ejemplo, cambiar el calzado y la ropa exterior) para evitar que la contaminación se extienda.
- 6.4.13. Se determinará con exactitud la extensión de la zona contaminada, que se aislará colocando los avisos y puestos de custodia que sean necesarios.

- 6.4.14. La persona que tenga a su cargo las medidas para casos de accidentes, o su suplente, dispondrá lo necesario para la inmediata descontaminación del personal.
- 6.4.15. Para descontaminar la zona de trabajo y el equipo con eficacia, y en condiciones de seguridad, habrá que estudiar cuidadosamente la situación y evaluar todos los factores incidentes. En general se obrará en el siguiente orden:
- 1) Se localizará la contaminación y se evitará su extensión;
 - 2) Se evaluará el grado de contaminación y se organizarán las operaciones de limpieza;
 - 3) Se reducirá la contaminación por los métodos que sean apropiados, y
 - 4) Se evaluará el grado de contaminación residual y se repetirá el procedimiento tantas veces como sea necesario.
- 6.4.16. El personal encargado de la descontaminación recibirá las instrucciones y el equipo necesarios para su propia protección y para la del resto del personal.

7. DESCONTAMINACION

7.1. DESCONTAMINACION DEL PERSONAL

La persona encargada de la protección radiológica preparará instrucciones y medios (material y equipo) para la descontaminación corriente y para los primeros auxilios, de conformidad con lo dispuesto en el párrafo 1.5.4.2. El personal estará perfectamente familiarizado con esas instrucciones y medios.

7.1.1. *Medidas que han de adoptarse en caso de contaminación interna del personal*

7.1.1.1. La contaminación radiactiva interna puede producirse por ingestión, inhalación y penetración cutánea o por las heridas. Toda persona que tema una contaminación interna a raíz de un accidente profesional informará inmediatamente a la persona encargada de la protección radiológica.

7.1.1.2. La contaminación interna constituye fundamentalmente un problema de carácter médico, análogo en algunos aspectos al que plantea la absorción de toxinas químicas. Por tanto, los tratamientos especiales se combinarán con la terapéutica normal y se administrarán bajo vigilancia médica.

7.1.1.3. El objeto de esos tratamientos es:

En primer lugar, tratar de eliminar rápidamente la mayor cantidad posible de la sustancia contaminadora que todavía se encuentre en la boca, en el aparato gastrointestinal o en el aparato respiratorio, e impedir o disminuir su penetración en la corriente sanguínea y en los tejidos;

En segundo lugar, tratar de impedir que la sustancia contaminadora se fije en el organismo y favorecer su excreción.

7.1.1.4. Para alcanzar el primer fin, es a veces necesario que la persona contaminada u otra persona, incluso si no pertenece al cuerpo médico, adopte medidas inmediatas (en los primeros segundos o minutos) para favorecer, por ejemplo, la eliminación mecánica de la sustancia contaminadora por vómito o expectoración.

- 7.1.1.5. Cuando resulten contaminadas pequeñas heridas abiertas, cortes, punzadas, etc., la herida se lavará sin dilación y, si es necesario, se favorecerá la hemorragia y se enviará el herido al servicio médico.
- 7.1.1.6. Para alcanzar el segundo fin (véase el párrafo 7.1.1.3.), las demás medidas de descontaminación interna que requieran procedimientos químicos o fisicoquímicos más complicados exigirán un tratamiento médico que deberá emprenderse lo antes posible, pero únicamente bajo vigilancia médica.
- 7.1.2. *Medidas que han de adoptarse en caso de contaminación externa del personal*
- 7.1.2.1. La contaminación externa del cuerpo humano puede presentar los peligros siguientes:
- lesiones provocadas por la exposición local de la piel;
 - penetración de la sustancia contaminadora en la piel intacta (especialmente en presencia de ciertos disolventes orgánicos);
 - pasaje ulterior al interior del organismo por ingestión o inhalación.
- 7.1.2.2. La contaminación producida por partículas sueltas que terminan por penetrar en el organismo representa, con mucho, el mayor peligro, de manera que las medidas de descontaminación deben tratar principalmente de evitar ese riesgo.
- 7.1.2.3. Como norma general, todos los procedimientos moderados de descontaminación descritos en los párrafos 7.1.2.4. y 7.1.2.5. se aplicarán bajo la dirección de la persona encargada de la protección radiológica, excepto cuando se trate de descontaminar las manos o en los casos de urgencia que apruebe la persona encargada de la protección radiológica. Si las medidas moderadas no surten efecto, los demás métodos sólo se aplicarán bajo vigilancia médica.
- 7.1.2.4. El lavado inmediato con agua y jabón de las zonas contaminadas es el método más indicado para eliminar la contaminación debida a partículas sueltas, a reserva de ciertas precauciones elementales:
1. Se utilizará agua tibia, no demasiado caliente.
 2. El jabón no será abrasivo ni muy alcalino.
 3. Se facilitará el lavado si se frota con un cepillo blando, procurando evitar erosiones en la piel.

4. La piel se lavará durante algunos minutos cada vez, y después se secará y someterá a monitoraje.

Puede repetirse el lavado en caso de necesidad (según los resultados del monitoraje), siempre que la piel no presente señales de daño.

- 7.1.2.5. Si este procedimiento no surte efecto, sólo se emplearán detergentes suaves aprobados por la persona encargada de la protección radiológica, aunque la aplicación repetida de detergentes sobre la misma parte del cuerpo, en las manos, por ejemplo, puede dañar la piel y hacerla más permeable.
- 7.1.2.6. Se evitará el empleo de disolventes orgánicos o de soluciones ácidas o alcalinas.
- 7.1.2.7. Se procurará descontaminar con particular cuidado las arrugas y los pliegues de la piel, los pelos y cabellos, y las partes de las manos tales como las uñas, los espacios interdigitales y los bordes externos.
- 7.1.2.8. En lo posible, se impedirá que la contaminación se extienda a partes del cuerpo no contaminadas y que penetre en el interior del organismo. Si hay peligro de que se extienda, se procurará descontaminar en primer término el lugar afectado empleando un producto absorbente, y si es necesario, cubriendo las partes adyacentes de la piel con una sustancia adecuada. Deberán protegerse las heridas abiertas no contaminadas.
- 7.1.2.9. Después de cada operación de descontaminación, la parte tratada se secará con una toalla o cabezal de hilas, etc., nuevos y no contaminados, y, a continuación, se someterá a monitoraje. Las toallas, cabezales de hilas, etc., utilizados en la descontaminación se considerarán como material contaminado.
- 7.1.2.10. Al descontaminar la cara, se evitará cuidadosamente la contaminación de los ojos y de los labios.
- 7.1.2.11. La descontaminación de los ojos se efectuará inmediatamente. Es preciso tener en cuenta no sólo el isótopo radiactivo, sino también la composición química de la sustancia contaminadora y las complicaciones que puedan ser causadas por la presencia de cuerpos extraños o por una irritación mecánica o química.
Se evitará que los procedimientos de descontaminación acentúen la irritación de los ojos. Conviene irrigarlos in-

mediatamente con una cantidad abundante de agua o con soluciones cuyo uso haya sido aprobado por el médico. El botiquín de urgencia deberá contener esas soluciones y un recipiente apropiado para lavar los ojos. Después de aplicar las primeras medidas de auxilio, todos los casos de contaminación de los ojos serán sometidos a un médico para su tratamiento.

- 7.1.2.12. Cuando el lavado no dé resultado, las demás medidas de descontaminación se aplicarán sólo bajo vigilancia médica.

7.2. DESCONTAMINACION DEL EQUIPO

7.2.1. *Descontaminación del material de vidrio y de los instrumentos*

- 7.2.1.1. Antes de decidir que se descontamine el material, se comparará el valor del material con los gastos de descontaminación.
- 7.2.1.2. Cuando el período de semidesintegración del elemento contaminador sea corto, puede ser preferible guardar los instrumentos y el material de vidrio y esperar a que su actividad disminuya en lugar de descontaminarlos.
- 7.2.1.3. En general, se descontaminará el equipo lo más pronto posible después de su empleo. Así se impedirá en muchos casos que la contaminación se fije y que ulteriormente sea más difícil eliminarla. Las superficies que se han mantenido húmedas suelen ser más fáciles de limpiar.
- 7.2.1.4. La limpieza del material de vidrio y de los instrumentos será efectuada por personas expertas, debajo de una campana bien ventilada y reservada para este fin en el laboratorio o en zonas especiales de descontaminación.
- 7.2.1.5. Si es necesario desmontar un equipo antes de descontaminarlo, se controlará cuidadosamente la radiactividad durante la operación.
- 7.2.1.6. El material de vidrio puede limpiarse con los agentes químicos corrientes; las soluciones de ácido crómico son probablemente las más prácticas. También puede emplearse el ácido nítrico concentrado, el citrato amónico, el trifosfato pentasódico y el biftuoruro de amonio.

- 7.2.1.7. Los instrumentos metálicos y demás objetos similares se lavarán con un detergente, frotando después vigorosamente con un cepillo para eliminar las partículas contaminadoras retenidas. Cuando la contaminación resista a este tratamiento, el instrumento se lavará con agentes más energéticos, como, por ejemplo, una solución diluida de ácido nítrico o una solución al 10 por ciento de citrato sódico o de biftuoruro de amonio. Pueden elegirse otros agentes según el material empleado para la construcción del equipo y la composición química probable de la sustancia contaminadora. El acero inoxidable puede tratarse con ácido sulfúrico o, en última instancia, con ácido clorhídrico.
- 7.2.1.8. Si la descontaminación provoca una 'corrosión, aunque fuese ligera, del metal, será más difícil eliminar una contaminación ulterior; en tal caso es indicado aplicar una mano de pintura brillante sobre la superficie descontaminada. Conviene evitar la contaminación utilizando revestimientos que se puedan quitar fácilmente o envolturas de material plástico. Una mano de pintura puede proporcionar protección adecuada contra los emisores blandos que sean resistentes a la descontaminación.
- 7.2.1.9. La contaminación del material de vidrio puede reducirse mediante un tratamiento preliminar con el producto químico inactivo correspondiente.
- 7.2.1.10. En algunos casos, puede sumergirse el material en una solución del isótopo inactivo del elemento contaminador, pero este método es lento.
- 7.2.1.11. Las soluciones empleadas para la limpieza no se echarán de nuevo en los frascos en que se guarden las soluciones no utilizadas todavía.
- 7.2.1.12. Después de la descontaminación, se controlará la contaminación residual del material de laboratorio. Si el grado de contaminación residual resulta todavía superior al admisible, el material no se volverá a utilizar y será preciso considerarlo como desecho radiactivo.
- 7.2.2. *Descontaminación de los lugares de trabajo, bancos, etc.*
- 7.2.2.1. Tan pronto se haya producido o detectado la contaminación, la descontaminación de los lugares de trabajo, bancos, etc., será efectuada por personas competentes y dotadas del equipo adecuado.

- 7.2.2.2. En lo posible, todas las superficies se limpiarán por vía húmeda, ya que la limpieza con un paño seco puede originar riesgos por dispersión del polvo. La limpieza por vía húmeda de los materiales de construcción porosos suele ofrecer dificultades; puede ensayarse la limpieza con un aspirador, filtrando adecuadamente el aire expulsado; en todo caso, los métodos por vía seca sólo deberán aplicarse con precauciones especiales.
- 7.2.2.3. Los instrumentos de limpieza permanecerán siempre en la zona en que se realicen las operaciones y no se transportarán ni se utilizarán en otro lugar sin haber sido descontaminados con cuidado.
- 7.2.2.4. Las superficies pintadas pueden limpiarse con agua y jabón (o un detergente), y si no hay más remedio, la pintura se quitará con un disolvente. El linóleo encerado puede limpiarse con agua y jabón; si es necesario, la capa de cera puede quitarse luego con un disolvente.
- 7.2.2.5. Si la contaminación se debe a emisores alfa o emisores beta blandos, la intensidad de radiación puede disminuirse cubriendo la superficie contaminada con una capa de pintura. También puede ser útil aplicar dos capas de pintura, la inferior de color que contraste con el de la superior a fin de que pueda advertirse el desgaste del revestimiento protector. Este método de reducción de la contaminación se usará con precaución teniendo en cuenta el posible empleo de la instalación en el futuro.
- 7.2.2.6. Si no se tiene la seguridad de que la protección es suficiente después de las operaciones de descontaminación, los locales o edificios contaminados se abandonarán y los objetos contaminados que puedan transportarse se eliminarán de conformidad con las disposiciones de la autoridad competente. Las personas no autorizadas no tendrán acceso a las zonas abandonadas; dichas zonas se marcarán con señales apropiadas y fácilmente reconocibles.
- 7.2.3. *Descontaminación de los vestidos, de la ropa blanca de hospital y de artículos análogos*
- 7.2.3.1. Al manipular vestidos contaminados se tomarán precauciones para impedir o reducir la contaminación de la persona que los manipula y de las zonas circundantes por la formación de aerosoles. La clasificación de la ropa conta-

- minada, como se indica en el párrafo 7.2.3.4., tendrá que realizarse con frecuencia debajo de una campana. Se adoptarán las precauciones necesarias para impedir que los vestidos almacenados contaminen el aire.
- 7.2.3.2. Los vestidos y la ropa blanca contaminados no se enviarán a los lavaderos públicos sin la aprobación de la persona encargada de la protección radiológica.
 - 7.2.3.3. En caso de contaminación radiactiva por elementos de corto período de semidesintegración, es mejor guardar los artículos hasta que la actividad sea inferior al nivel considerado como seguro.
 - 7.2.3.4. Como norma general, es preferible lavar la ropa contaminada en instalaciones especialmente previstas al efecto; la zona en que se proceda a la descontaminación deberá someterse a monitoraje. El personal encargado de esas instalaciones estará provisto de prendas protectoras y de guantes adecuados.
 - 7.2.3.5. Con los vestidos contaminados se harán lotes de diferentes grados de actividad, para evitar la contaminación mutua.
 - 7.2.3.6. Los vestidos poco contaminados se lavarán en las condiciones recomendadas para los lavaderos comerciales. Sin embargo, puede ser conveniente utilizar un detergente corriente (por lo común, el más económico) en lugar de jabón, porque éste tiene tendencia a formar depósitos que pueden fijar la actividad en el tejido.
 - 7.2.3.7. Cuando se trate de vestidos que acusen una actividad elevada o en caso de contaminación resistente, se harán lavados de mayor duración y, sobre todo, enjuagues repetidos.
 - 7.2.3.8. Los guantes y otros artículos de caucho o material plástico suelen ser fáciles de descontaminar. Estos artículos se lavarán primero con un producto detergente corriente. Si no basta con esto, los artículos de caucho pueden lavarse con ácido nítrico diluido o con otros agentes seleccionados según el tipo de contaminación. Tras esta operación deberá efectuarse un lavado con polvo abrasivo y un enjuague perfecto al chorro.
 - 7.2.3.9. Si los vestidos, la ropa blanca, etc., no se pueden descontaminar adecuadamente, se considerarán como desechos radiactivos.

8. CONTROL Y EVACUACION DE LOS DESECHOS RADIACTIVOS

8.1. RECOGIDA DE LOS DESECHOS

- 8.1.1. Todos los lugares de trabajo en que puedan producirse desechos radiactivos estarán equipados con recipientes al efecto.
- 8.1.2. Los desechos sólidos se depositarán en recipientes provistos de tapas accionadas a pedal. Los recipientes estarán forrados con bolsas de papel para facilitar la eliminación de los desechos sin peligro de contaminación.
- 8.1.3. Si no se dispone de otros medios de evacuación, los desechos radiactivos líquidos se recogerán en botellas que se guardarán en palanganas o baldes que puedan retener todo su contenido en caso de rotura.
- 8.1.4. Todos los receptáculos para desechos radiactivos estarán marcados claramente. En general se recomienda clasificar los desechos radiactivos según los métodos de eliminación o de depósito, y disponer de recipientes distintos para los diferentes tipos de desechos. Según las necesidades de la instalación, convendrá clasificar los desechos siguiendo uno o varios de los siguientes criterios:
 - Nivel de irradiación gamma (alto, bajo);
 - Actividad total (elevada, intermedia, baja);
 - Período de semidesintegración (largo, corto);
 - Combustibilidad.Para identificar fácilmente los desechos quizá convenga a veces utilizar etiquetas de colores y rótulos que indiquen el tipo de desechos de que se trate.
- 8.1.5. Cuando sea necesario, se utilizarán recipientes blindados.
- 8.1.6. Suele ser aconsejable llevar un registro de la cantidad aproximada de desechos radiactivos evacuados en los desagües o alcantarillas, o inhumados. Esto puede ser de especial importancia en el caso de radioisótopos de largo período de semidesintegración. Para ello es conveniente, y a veces necesario, llevar un registro de las cantidades

de radiactividad que se calcula se han depositado en los diversos recipientes, especialmente en los destinados a contener actividades elevadas o isótopos de largo período de semidesintegración. Según el sistema de control utilizado en la instalación, convendrá marcar el recipiente o colocar una etiqueta indicando su contenido.

- 8.1.7. Los desechos radioactivos deberán ser recogidos en los laboratorios por empleados designados para esa función, que trabajen bajo la dirección de la persona encargada de la protección radiológica.

8.2. ALMACENAMIENTO DE LOS DESECHOS

- 8.2.1. Los desechos que no puedan evacuarse inmediatamente de conformidad con las disposiciones de la autoridad competente, se almacenarán en lugares adecuados.
- 8.2.2. El almacenamiento puede ser provisional o por tiempo indeterminado. El almacenamiento provisional se emplea para lograr una disminución de la radiactividad, para regular el ritmo de la evacuación, para permitir el monitoreo de sustancias cuyo grado de nocividad se desconozca, o para esperar hasta que se disponga de medios de transporte adecuados. Los desechos más peligrosos, para cuya evacuación definitiva el usuario carezca de medios, se guardarán por tiempo indeterminado en lugares de almacenamiento especiales.
- 8.2.3. Las condiciones de almacenamiento deberán ajustarse a las normas de seguridad establecidas para el almacenamiento de fuentes radiactivas (Capítulo 4).
- 8.2.4. Sólo podrán entrar en el lugar de almacenamiento las personas autorizadas. (Habrá que prestar la debida atención al problema de la entrada de animales.)
- 8.2.5. El método de almacenamiento deberá impedir las fugas accidentales de desechos.
- 8.2.6. Se llevarán registros adecuados de las sustancias almacenadas.

8.3. EVACUACION DE LOS DESECHOS EN EL MEDIO AMBIENTE

8.3.1. *Consideraciones generales*

- 8.3.1.1. La evacuación de los desechos radiactivos en el medio ambiente se efectuará en las condiciones fijadas por la persona encargada de la protección radiológica y por la autoridad competente.
- 8.3.1.2. Antes de poner en práctica determinado método de eliminación de desechos, se examinará minuciosamente en qué forma los materiales radiactivos pueden afectar al medio ambiente.
- 8.3.1.3. Para determinar la cantidad de desechos radiactivos que pueden evacuarse sin riesgo por una vía dada, es preciso tener en cuenta numerosos factores, muchos de los cuales dependen de las circunstancias locales. Partiendo de la hipótesis de que las condiciones son desfavorables desde todos los puntos de vista, se puede fijar para la eliminación de los desechos un límite admisible en todas las circunstancias previsibles. Con este procedimiento se obtiene, por lo general, un margen de seguridad muy amplio. La capacidad de evacuación por una vía dada sólo puede determinarse tras un minucioso estudio pericial.
- 8.3.1.4. Las personas que trabajen con pequeñas cantidades de isótopos deberán, como primera medida, tratar de no superar los límites restrictivos que se sabe son siempre seguros y que por lo general permiten resolver el problema de la evacuación de los desechos de una manera compatible con el trabajo. Estos límites restrictivos de seguridad se respetarán manteniendo el nivel de actividad en el lugar de evacuación al medio ambiente en un valor inferior a los niveles para el aire y el agua potable aplicable a las personas no expuestas a irradiación profesional; los niveles recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica para la actividad del agua potable o de la atmósfera se indican en el apéndice I*. No es necesario observar esta regla si la autoridad competente dispone otras medidas o si un estudio de las condiciones locales realizado por expertos justifica la elección de otros límites.

* A reserva de lo dispuesto en la sección 1.3.

8.3.2. *Evacuación en desagües y alcantarillas*

8.3.2.1. Por lo general, no es necesario considerar la evacuación de desechos en un desagüe como una evacuación directa en el medio ambiente. Por lo tanto, se respetarán habitualmente los límites restrictivos de seguridad si la concentración de desechos radiactivos calculada en función del aforo total en el alcantarillado y promediada durante un período relativamente breve (un día o un mes), no excede de los valores máximos admisibles para el agua potable recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica para las personas sometidas a irradiación por razones profesionales; estas dosis se indican en el apéndice I*. Esto proporcionará un considerable margen de seguridad, pues generalmente el agua de los desagües y alcantarillas no se considera potable. No obstante, cuando la contaminación pueda afectar al abastecimiento público de agua, las concentraciones finales en el agua destinada al consumo público no superarán los valores máximos fijados para las personas no expuestas a irradiación profesional. De los estudios últimamente realizados se deduce que si la contaminación afecta al agua de riego, las concentraciones finales deberán ser por lo menos diez veces inferiores a los niveles fijados para la irradiación profesional. Se vigilará cuidadosamente la posible acumulación de radiactividad en las tierras y productos vegetales de regadío.

Por último, antes de verter desechos radiactivos en desagües o alcantarillas públicas o en las corrientes de agua, se informará y consultará a las autoridades competentes a fin de evitar que otras sustancias radiactivas se evacúen en condiciones tales que el efecto acumulativo pueda ser peligroso.

8.3.2.2. Es preciso que los desechos radiactivos evacuados en desagües se disuelvan o dispersen fácilmente en el agua. Se tendrán en cuenta las modificaciones que la dilución puede provocar en el pH y otros fenómenos fisicoquímicos capaces de producir la precipitación o vaporización de las sustancias diluídas.

8.3.2.3. Por lo general, no es necesario adoptar medidas especiales para las excreciones de personas sometidas a tratamiento

* A reserva de lo dispuesto en la sección 1.3.

con radioisótopos. (Sin embargo, esta norma no se aplica a los residuos sin utilizar de las remesas de isótopos para tratamiento médico.)

- 8.3.2.4. Los desechos deben ser arrastrados por una abundante corriente de agua.
- 8.3.2.5. A veces conviene diluir una sustancia radiactiva sin portador empleando el isótopo inactivo correspondiente en la misma forma química.
- 8.3.2.6. Los trabajos de conservación de los desagües activos situados dentro de un establecimiento sólo se efectuarán con el conocimiento y bajo la dirección de la persona encargada de la protección radiológica. Se tendrá muy en cuenta la posibilidad de que en los lavabos caigan pequeñas fuentes que podrían quedar retenidas por los sifones o las cubetas colectoras.
- 8.3.2.7. La evacuación de desechos en las alcantarillas deberá efectuarse de forma que no sea necesario adoptar medidas de protección durante los trabajos de reparación o conservación de las alcantarillas situadas fuera del establecimiento, salvo acuerdo en contrario concluído con la autoridad responsable de estas alcantarillas. Las autoridades encargadas del alcantarillado situado fuera del establecimiento deberán ser informadas de la evacuación de desechos radiactivos en dicho sistema. Es conveniente que las personas interesadas examinen conjuntamente los problemas técnicos que plantea la evacuación de desechos a fin de garantizar la protección sin causar temores infundados.

8.3.3. *Evacuación en la atmósfera*

- 8.3.3.1. La liberación en la atmósfera de los desechos radiactivos que se presentan en forma de aerosoles o gases se efectuará de conformidad con las normas dictadas por la autoridad competente.
- 8.3.3.2. A reserva de lo dispuesto en el párrafo 8.3.3.1., las concentraciones de aerosoles o de gases radiactivos en los puntos de salida no deben exceder de las concentraciones máximas admisibles fijadas para las personas no expuestas a irradiación profesional, como se indica en el apéndice I*.

* A reserva de lo dispuesto en la sección 1.3.

Si son inevitables concentraciones más elevadas y si la protección se obtiene evacuando los desechos a través de una chimenea de cierta altura, esas concentraciones sólo se podrán fijar previo estudio pericial de las condiciones locales.

8.3.3.3. Aunque en el punto de evacuación la actividad de un aerosol no supere los valores admisibles, es posible que la precipitación de partículas de gran tamaño entrañe riesgos o cause daños. Por lo tanto, deberá determinarse si es necesario proceder a una filtración.

8.3.3.4. Los filtros usados se considerarán como desechos sólidos.

8.3.4. *Inhumación de los desechos*

8.3.4.1. La inhumación de los desechos representa a veces una protección mayor que su liberación directa en el medio ambiente. La posibilidad de inhumar los desechos sin riesgos deberá ser siempre estudiada por un experto.

8.3.4.2. Inhumando los desechos a una profundidad suficiente (un metro aproximadamente) se consigue una protección económica contra la irradiación externa procedente de los depósitos acumulados.

8.3.4.3. El lugar de inhumación permanecerá bajo el control absoluto del usuario, quien dispondrá las medidas adecuadas para impedir el acceso del público.

8.3.4.4. Se llevará un registro de las sustancias inhumadas.

8.3.5. *Incineración de los desechos*

8.3.5.1. Deberán adoptarse ciertas precauciones cuando se incineran desechos sólidos con el propósito de reducir su volumen.

8.3.5.2. La incineración de desechos radiactivos sólo se efectuará en instalaciones provistas de los aparatos de filtración y depuración necesarios para los niveles de actividad correspondientes.

8.3.5.3. Se impedirá que las cenizas residuales se conviertan en polvo peligroso (para ello se pueden humedecer con agua, por ejemplo); dichas cenizas serán tratadas como desechos radiactivos corrientes.

APENDICE I

NIVELES MAXIMOS ADMISIBLES DE IRRADIACION EXTERNA Y DE CONTAMINACION RADIATIVA DEL AIRE Y DEL AGUA

Los datos siguientes se han tomado de las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), publicadas en 1954 y en 1958. (Las modificaciones que en 1956 se introdujeron en las recomendaciones de 1954 se han incorporado, con o sin cambios, en las recomendaciones de 1958.)

I. NOCIONES FUNDAMENTALES

1. La protección radiológica tiene por finalidad prevenir o reducir al mínimo los daños somáticos y reducir al mínimo los daños genéticos de la población.

Organos y tejidos críticos

2. Como los órganos y tejidos del cuerpo presentan distintos grados de radiosensibilidad, es necesario, para la protección radiológica, tomar en consideración tanto su radiosensibilidad como las dosis que reciben. Ahora bien, algunos órganos y tejidos revisten mayor importancia que otros, según las condiciones en que son irradiados. Tales órganos y tejidos se denominan críticos.
3. Cuando *todo el cuerpo* es irradiado de manera sensiblemente uniforme, los tejidos críticos son aquellos que presentan mayor radiosensibilidad. En este Manual se considera como tales a los órganos hematopoyéticos, las gónadas y los cristalinos.
4. Cuando la irradiación se limita más bien a determinadas *partes del cuerpo*, los tejidos críticos son aquellos que resultan más vulnerables a causa de su radiosensibilidad intrínseca o debido a un concurso de factores: radiosensibilidad elevada, dosis localizada e importancia que la integridad del tejido presenta para el buen estado general del organismo.

* Con excepción de los párrafos III.1 y III.2.

Dosis admisible

5. Toda modificación del medio ambiente en que el hombre se ha desarrollado puede causar efectos perjudiciales. Por ello, se admite que una exposición prolongada a las radiaciones ionizantes, además de la que ya supone la radiactividad natural, entraña ciertos riesgos. Ninguna dosis de radiación superior a la dosis de origen natural puede considerarse “exenta de riesgos”. Sin embargo, como el hombre no puede prescindir por completo del empleo de las radiaciones ionizantes, el problema estriba, en la práctica, en fijar la dosis de radiación cuyo riesgo sea tolerable para los individuos y para el conjunto de la población. Esta dosis se denomina “dosis admisible”.

6. La dosis *individual* admisible se define como la dosis acumulada durante un largo período o recibida de una sola vez, que, en el estado actual de nuestros conocimientos, es muy poco probable que produzca daños somáticos o genéticos graves y cuyos efectos, si se producen, son por lo general tan benignos que resultan aceptables para el individuo que sufre la irradiación y para las autoridades médicas competentes.

7. Los daños somáticos graves (por ejemplo, la leucemia) que pueden resultar de la exposición individual a la dosis admisible, sólo afectarían a una fracción muy pequeña del grupo de personas expuestas; los efectos tales como la disminución de la longevidad que pueden presentarse con mayor frecuencia serían muy leves y probablemente pasarían desapercibidos a causa de las variaciones biológicas normales. Por estas razones, cabe suponer que los efectos de las dosis admisibles sólo se puedan descubrir aplicando métodos estadísticos a grandes grupos humanos.

8. La dosis admisible para el *conjunto de la población* debe fijarse teniendo en cuenta ante todo los efectos genéticos de las radiaciones.

9. Los valores máximos admisibles recomendados en el presente Manual no se aplican a las dosis individuales debidas a las exposiciones médicas.

10. Las recomendaciones se refieren a las categorías de exposiciones enumeradas a continuación. En principio, es preciso considerar a la vez la exposición individual y los valores medios relativos al *conjunto de la población*, aunque sólo se formulen recomendaciones acerca de la exposición individual para las categorías A) y B).

A) *Exposición profesional*

B) *Exposición de grupos especiales:*

- a) Trabajadores que por su profesión no están expuestos a las radiaciones, pero que trabajan en las proximidades de zonas vigiladas.
- b) Personas que en el desempeño de sus funciones entran ocasionalmente en zonas vigiladas sin que se les pueda considerar como trabajadores profesionalmente expuestos a las radiaciones.
- c) Personas que viven en las proximidades de zonas vigiladas.

C) *Exposición de la población en general*

D) *Exposición médica*

Exposición profesional

11. Se denomina exposición profesional a la exposición de una persona que trabaja habitualmente en una zona vigilada. En los párrafos 16 a 21 se fijan las dosis máximas admisibles para las personas que, por su profesión, están expuestas a las radiaciones; este grupo de personas constituye una pequeña parte de la población. En el párrafo 35 se estudia la aportación de ese grupo a la dosis genética del *conjunto de la población*.

Exposición de grupos especiales

12. Las personas que sólo entran ocasionalmente en una zona vigilada y las que trabajan o residen en las proximidades de una de esas zonas pueden quedar expuestas a radiaciones emitidas en ella. Estos grupos de personas pueden comprender niños, mujeres embarazadas y personas expuestas además a otros riesgos; globalmente, pueden representar una fracción importante del conjunto de la población. Por ese motivo, la dosis máxima *individual* admisible que se ha fijado para estas personas es inferior a la recomendada para las personas expuestas a irradiación profesional (párrafos 22 a 26). En el párrafo 35 se estudia la aportación de estos grupos a la dosis genética del *conjunto de la población*.

Exposición de la población en general

13. La población en general puede estar expuesta a radiaciones imposibles de relacionar con determinada zona vigilada, por ejemplo: contaminación ambiente y fuentes de radiación de uso tan difundido como los relojes pulseras de esfera luminosa o aparatos de televisión, y diferentes aplicaciones de sustancias radiactivas, que cabe esperar como resultado de los progresos futuros en materia de energía atómica. Como esa exposición no se puede controlar fácilmente, será imposible garantizar que en determinados casos no se rebase la dosis máxima admisible recomendada para la exposición individual. Cuando se trata de grandes grupos humanos, no es posible estudiar las costumbres de cada individuo. El procedimiento normal consistirá en estudiar como muestra del grupo en cuestión a varias personas y en fijar el nivel de radiación ambiente de manera que ninguna de ellas sufra una exposición excesiva. Subsistirá siempre la posibilidad de que alguien, cuyas costumbres sean muy diferentes de las de las personas estudiadas, reciba una dosis superior a la máxima fijada para dicho grupo.

14. A fin de facilitar el establecimiento de planes relativos al desarrollo previsible de las aplicaciones de la energía nuclear y de otras fuentes de radiación, conviene asignar desde ahora un límite máximo a la dosis genética admisible para la *población* (párrafo 33); este máximo permitirá fijar el valor medio más elevado aceptable para la exposición de las gónadas. Parte de la dosis genética máxima recomendada deberá atribuirse a la exposición de grupos tales como los incluidos en las categorías A) y B) y a la exposición médica. Para determinar correctamente la fracción atribuida a la exposición de la población en general, es preciso tener en cuenta tanto la irradiación interna como la externa (párrafos 34 y 35).

II. DOSIS MAXIMAS ADMISIBLES

Generalidades

15. Se recuerda con especial insistencia que las dosis máximas admisibles recomendadas en esta sección son valores *máximos*; la Comisión recomienda que las dosis sean lo más pequeñas posible y que se evite toda exposición innecesaria.

EXPOSICION INDIVIDUAL

Exposición profesional

16. La dosis individual *total* recibida por un órgano o tejido cualesquiera como consecuencia de la exposición profesional comprende la dosis aportada por las fuentes externas durante las horas de trabajo y la dosis aportada por las fuentes internas introducidas en el organismo durante las horas de trabajo. No comprende la exposición con fines médicos ni la exposición a la radiación natural.

Exposición de las gónadas, de los órganos hematopoyéticos y de los cristalinos

17. El valor máximo admisible para la dosis total que puede ser acumulada en las gónadas, los órganos hematopoyéticos y los cristalinos, a cualquier edad superior a los 18 años, se determinará con arreglo a la siguiente fórmula:

$$D = 5 (N - 18)$$

en la cual D es la dosis tisular, expresada en rems

N es la edad, expresada en años.

18. Para las personas profesionalmente expuestas a una cantidad de radiación constante desde la edad de 18 años, la fórmula anterior da una dosis máxima de 0,1 rems por semana. Se recomienda utilizar este valor al establecer los planes de trabajo y de construcción de las instalaciones.

Velocidad de acumulación de las dosis

19. Dentro de los límites permitidos por la fórmula, una persona expuesta por razones profesionales puede acumular la dosis máxima admisible a una velocidad no superior a 3 rems por cada período de 13 semanas consecutivas (es decir, la dosis no deberá nunca superar los 3 rems en el curso de 13 semanas consecutivas). Si es necesario, se podrá recibir esta dosis de una sola vez, pero como los conocimientos científicos que se poseen sobre los efectos biológicos de una exposición de esta naturaleza son escasos, deben evitarse, en lo posible, las dosis del orden de 3 rems aplicadas de una sola vez.

Aplicación a casos especiales

20. a) *Exposición anterior desconocida.* Cuando no se conozcan con certeza los antecedentes de una persona en materia de irradiación profesional, debe suponerse que ha acumulado ya la dosis máxima que la fórmula admite.

- b) *Personas expuestas teniendo en cuenta la antigua dosis máxima admisible por semana.* Si una persona ha estado expuesta con arreglo a la antigua dosis máxima admisible de 0,3 rems por semana y ha acumulado una dosis superior a la permitida por la fórmula, se supondrá que ha acumulado solamente la dosis permitida por la fórmula.
- c) *Personas que comiencen a trabajar a una edad inferior a 18 años.* Si una persona de menos de 18 años está expuesta por razones profesionales, la dosis no excederá de 5 rems por año hasta que esa persona haya cumplido los 18 años; la dosis acumulada hasta la edad de 30 años no será superior a 60 rems.
- d) *Exposiciones accidentales a dosis elevadas.* Si una sola vez en la vida se sufre una exposición accidental a una dosis elevada, pero no superior a 25 rems, ésta se sumará a la dosis acumulada hasta el momento del accidente. Si el total rebasa entonces el valor máximo permitido por la fórmula, no es necesario tener en cuenta el exceso para calcular en lo futuro la dosis acumulada por el interesado. Las exposiciones accidentales a dosis superiores a 25 rems deben considerarse potencialmente peligrosas y se pondrán en conocimiento de las autoridades médicas competentes, que prescribirán el tratamiento adecuado y formularán sus recomendaciones sobre la exposición profesional que el interesado podrá tolerar después del accidente.
- e) *Exposición en caso de urgencia previsto de antemano.* Los trabajos de urgencia que supongan una exposición a dosis elevadas se organizarán de manera que nadie reciba dosis superiores a la mitad de la dosis de 25 rems fijada anteriormente para irradiaciones accidentales, y esto con las mismas reservas que en el caso anterior. Las mujeres en edad de procrear no se someterán a exposiciones de este tipo.

Exposición de determinados órganos, con excepción de las gónadas, de los órganos hematopoyéticos y de los cristalinos

21. Cuando la exposición esté esencialmente limitada a determinadas partes u órganos del cuerpo, con excepción de las gónadas, de los órganos hematopoyéticos y de los cristalinos, se pueden admitir dosis superiores a la que se obtendría aplicando la fórmula $D = 5 (N - 18)$. Conviene seguir las siguientes recomendaciones:

- a) *Dosis máxima para la piel: 8 rems por cada período de 13 semanas* *. La dosis recibida por la piel durante cualquier período de 13 semanas consecutivas no será superior a 8 rems. En la actualidad, esta recomendación rige para la piel de todas las partes del cuerpo, salvo la de las manos, antebrazos, pies y tobillos. Como esta dosis supone un promedio semanal de 0,6 rems, la dosis anual por año de 50 semanas debe limitarse a 30 rems.
- b) *Dosis máxima para las manos, antebrazos, pies y tobillos: 20 rems por cada período de 13 semanas*. Esta recomendación es válida para todos los tejidos de las extremidades mencionadas. Como dicha dosis supone un promedio semanal de 1,5 rems, la dosis anual por año de 50 semanas debe limitarse a 75 rems.
- c) *Dosis máxima para la exposición limitada de órganos internos con excepción del tiroides, de las gónadas y de los órganos hematopoyéticos: 4 rems por cada período de 13 semanas*. Cuando se trata de órganos internos, la irradiación limitada se debe casi exclusivamente a los radioisótopos introducidos en el organismo. Como en las zonas vigiladas la liberación de isótopos radiactivos en el aire y en las aguas está prevista de forma tal que la irradiación profesional afecta más a grupos de trabajadores que a personas aisladas, no es posible, en general, aplicar a la irradiación interna una fórmula que corresponda a la que figura en el párrafo 17. En condiciones de equilibrio, cabe suponer que la dosis recibida por el órgano interesado se mantiene en un promedio de 0,3 rems por semana si la concentración del isótopo de que se trate en el aire o en el agua no supera los valores que figuran en los cuadros del informe de la Subcomisión II. En la práctica, el valor de la dosis experimentará variaciones que serán admisibles siempre que la dosis acumulada durante cualquier período de 13 semanas consecutivas no sea superior a 4 rems. Como esta dosis máxima supone un promedio semanal de 0,3 rems, la dosis anual por año de 50 semanas debe limitarse a 15 rems.

* Esta recomendación también es válida para el tiroides. Véase el informe de la Subcomisión II.

- d) *Exposición de todo el organismo debida a la absorción de varios radioisótopos.* Cuando los isótopos radiactivos contenidos en una mezcla se distribuyen entre diferentes órganos, la combinación de las exposiciones constituye en esencia una exposición de todo el organismo. En consecuencia, los niveles de exposición admisibles serán los aplicables a las gónadas, a los órganos hematopoyéticos y a los cristalinos.

Exposición de grupos especiales

22. El valor máximo admisible para la dosis individual total se obtendrá sumando las dosis procedentes de las fuentes externas y de las internas. No comprenderá la exposición con fines médicos ni la exposición a la radiación natural.

Dosis total anual recibida en las gónadas, los órganos hematopoyéticos y los cristalinos

23. Para todo individuo comprendido en los grupos a) y b) de la categoría B) (véase el párrafo 10), la dosis total anual — emitida por las fuentes externas y las internas — en las gónadas, los órganos hematopoyéticos y los cristalinos que se reciba en el curso de operaciones efectuadas en una zona vigilada no será superior a 1,5 rems; la contribución a la dosis total anual de una mezcla de isótopos cuyos efectos combinados equivalgan prácticamente a la exposición de todo el organismo no deberá ser tal que dicha dosis supere el valor de 1,5 rems. Esta consideración no es válida en el caso de la piel y del tiroides, para los que se admite un máximo anual de 3 rems.

24. El grupo c) de la categoría B) se diferencia de los grupos a) y b) por el hecho de incluir a los niños; se considera que para ellos debe aplicarse un valor inferior, a saber, 0,5 rems por año. Debido a la presencia de niños en el grupo c), se habrá de adoptar para ese grupo el valor de 0,5 rems por año al establecer los planes de trabajo y de construcción de las instalaciones.

Irradiación interna de órganos considerados por separado

25. La dosis *individual* máxima admisible no quedará rebasada como consecuencia de la irradiación interna de un solo órgano si el valor utilizado al planear la evacuación de sustancias radiactivas se

fija en un décimo (1/10) de la concentración máxima admisible (CMA) en el aire o en el agua recomendada para exposición continua en el informe de la Subcomisión II.

26. *Exposición de todo el organismo debida a la absorción de varios radioisótopos.* Cuando los isótopos radiactivos contenidos en una mezcla se distribuyen entre diferentes órganos, la combinación de las exposiciones constituye en esencia una exposición de todo el organismo. Por esta razón, en la mayoría de los casos, es necesario reducir las concentraciones máximas admisibles basadas en la exposición de los órganos considerados por separado (véase el informe de la Subcomisión II). Al efectuar esta reducción, deben tenerse en cuenta el número y la importancia de los órganos afectados, así como la dosis adicional que aportan a la exposición de todo el organismo las sustancias radiactivas contenidas en la sangre y en los órganos distintos de aquellos en donde se supone que dichas sustancias se concentran. En este caso, el cuerpo entero es el órgano crítico y los valores de la CMA para cada radioisótopo se reducen de forma que la CMA para la mezcla corresponda a una dosis media anual de 0,5 rems aplicada a todo el organismo. Para cierto número de mezclas de radioisótopos, esto equivale a aplicar al valor de la CMA un coeficiente de reducción de un tercio (1/3) por lo menos, además del coeficiente de un décimo (1/10) recomendado en el párrafo 25.

EXPOSICION DE LAS POBLACIONES

Generalidades

27. La preparación adecuada de programas relativos a la producción de energía nucleoelectrica y a otras utilizaciones de la energía atómica con fines pacíficos en gran escala exige que se limite la exposición de las poblaciones; para ello se han de limitar tanto las dosis individuales como el número de personas expuestas.

28. Esta limitación obliga a llegar a una fórmula de transacción entre los efectos perjudiciales de las radiaciones y los beneficios que puedan reportar a la sociedad. En una evaluación de esa índole, el estudio de los efectos genéticos ocupa un lugar de capital importancia. El problema se ha estudiado detenidamente durante los últimos años y diferentes organismos internacionales han formulado sugerencias al respecto. La Comisión reconoce el hecho de que aún no puede llegarse al equilibrio ideal entre los riesgos y los beneficios, ya que ello exige evaluar con más precisión de la que es alcanzable

en la actualidad los efectos nocivos eventuales y los probables beneficios. Además, hay que tener en cuenta que los factores de los que depende ese equilibrio entre los riesgos y los beneficios varían de un país a otro y que la decisión definitiva corresponde a las autoridades de cada país.

29. Dada la necesidad urgente de facilitar alguna orientación en este aspecto, la Comisión sugiere en las siguientes secciones que se fije un nivel máximo para la exposición del conjunto de la población. El nivel que se propone concuerda esencialmente con las sugerencias de otros grupos científicos que han estudiado el problema y tratado de evaluar los posibles efectos biológicos. La Comisión estima que este nivel deja un margen suficiente para el desarrollo de los programas de energía atómica en el futuro previsible. Debe destacarse que al fijar este límite no se propone, por las razones ya mencionadas, definir el correcto equilibrio entre los posibles efectos nocivos y los probables beneficios.

30. Suponiendo que los efectos genéticos sean directamente proporcionales a la dosis recibida en las gónadas y que no exista una dosis umbral, es posible definir una dosis media para la población que permita evaluar los daños genéticos sufridos por el conjunto de la población (párrafos 31 y 32). En el caso de los efectos somáticos, no es fácil definir una dosis de esa índole, pero tratándose de determinados tejidos o de todo el organismo, es posible que tenga sentido hablar de la dosis anual *per capita*, siempre que no haya una dosis umbral y que exista una proporcionalidad directa entre la dosis y el efecto.

Dosis genética

Evaluación de la dosis genética

31. La dosis genética correspondiente a una población es aquella que, si fuera recibida por cada persona durante el período reproductivo, entrañaría para el conjunto de la población una carga genética idéntica a la que producen las dosis realmente recibidas por los individuos. La dosis genética admisible es aquella que, si fuera recibida por cada persona durante el período reproductivo, significaría una carga genética aceptable para el conjunto de la población.

32. La dosis genética correspondiente a una población puede calcularse multiplicando la dosis anual genéticamente significativa por la edad media de procreación, que a los fines de las presentes

recomendaciones se fija en 30 años. La dosis anual genéticamente significativa recibida por una población es el promedio ponderado de las dosis individuales en las gónadas, estableciéndose el coeficiente de ponderación en función del número probable de hijos que serán concebidos después de la exposición a las radiaciones.

Dosis genética máxima admisible

33. La Comisión sugiere que para el conjunto de la población, la dosis genética (véase párrafo 32) proveniente de todas las fuentes distintas de la radiación ambiente no exceda de 5 rems más la dosis debida a exposición médica, que debe ser la mínima posible. Al fijar ese valor, no se tiene en cuenta la radiación ambiente, ya que la intensidad de ésta varía apreciablemente de un país a otro. La exposición médica se considera separadamente por esta misma razón y también porque se está estudiando la manera de limitar dicha exposición al valor mínimo compatible con las necesidades médicas.

Distribución de la dosis genética

34. La dosis genética máxima de 5 rems que se ha propuesto, más la dosis proveniente de la exposición médica y de la radiación ambiente, no debe ser alcanzada con un solo tipo de exposición. La distribución adecuada de la dosis total dependerá de las circunstancias, que pueden variar de un país a otro, por lo que incumbe a las autoridades nacionales adoptar una decisión al respecto.

35. En caso de irradiación interna, la dosis *individual* máxima admisible no quedará rebasada para ningún órgano si la concentración del isótopo de que se trate, en el aire o en el agua se mantiene en un décimo (1/10) de la concentración máxima admisible para una exposición continua recomendada en los cuadros del informe de la Subcomisión II. Sin embargo, el empleo del coeficiente 1/10 no garantiza que se respete la dosis genética fijada para el conjunto de la población. Al calcular esa dosis, es preciso tener también en cuenta la irradiación externa. Si las concentraciones medias en el aire y en el agua destinada al consumo público son 100 veces menores que las concentraciones profesionales, ello significa una dosis genética de 1,5 rems; si, además, se admite que el 25% del total se ha de reservar a la aportación de la irradiación externa, el total ascenderá a 2,0 rems.

La Comisión no desea formular recomendaciones explícitas sobre la distribución de la dosis genética de 5 rems pero, como orientación y a título de ejemplo, cita la distribución siguiente:

A) Exposición profesional	1,0 rem
B) Exposición de grupos especiales	0,5 rems
C) Exposición de la población en general	2,0 rems
Reserva	1,5 rems

Suponiendo que la relación entre la población total y la población en edad reproductiva sea la misma en todos los grupos, la mayor fracción (ξ) de la población que puede estar expuesta a una dosis media anual $\bar{D}_1^i$ viene determinada por la ecuación:

$$\xi \cdot 30 \cdot \bar{D}_1^i = D_{30}^i$$

en la que D_{30}^i es la parte de dosis genética atribuida al grupo expuesto i ; la dosis media anual dentro de este grupo puede expresarse como fracción de la dosis máxima admisible por persona y por año:

$$\bar{D}_1^i = F \cdot D_1^i$$

Exposición profesional. Si se asigna 1,0 rem a la exposición profesional, tenemos que el 0,7% del conjunto de la población podría haber acumulado a los 30 años la dosis gonádica máxima admisible para la irradiación profesional, o sea 60 rems. Es muy poco probable que en el futuro previsible se llegue a alcanzar un valor de este orden de magnitud. En la actualidad, el número de personas expuestas por razones profesionales en los países adelantados desde el punto de vista tecnológico representa aproximadamente de 0,1 a 0,2% de la población, y la mayoría de esas personas reciben dosis considerablemente inferiores a las máximas admisibles.

Exposición de grupos especiales. Como la aportación de los grupos especiales procede principalmente del grupo c) de la categoría B), si se asigna una dosis de 0,5 rems a los grupos especiales, ello significaría que aproximadamente el 3% podría exponerse a la dosis gonádica máxima admisible por persona y por año para estos grupos. La magnitud aceptable de estos grupos es inversamente proporcional a la dosis media dentro de los mismos, de forma que si se supone que esa dosis es solamente el 10% de la dosis individual máxima, los grupos pueden llegar a representar el 30% del conjunto de la población, proporción muy superior a la que es probable exista en la realidad.

Exposición de la población en general. A la exposición genética del conjunto de la población se asignan 2,0 rems (con una reserva de 1,5 rems a largo plazo destinada a prevenir eventualidades) con el propósito de facilitar la preparación de programas de desarrollo de la energía nuclear (con los problemas conexos de evacuación de desechos y de utilización más amplia de las fuentes de radiación).

Dosis somática

36. No se formulan recomendaciones precisas acerca de la dosis máxima admisible para la población desde el punto de vista somático. No obstante, se confía en que la limitación de las dosis individuales, recomendada en los párrafos 16 a 27, mantendrá la dosis media externa recibida en cualquier tejido a un nivel tal que el número de lesiones que pueda producirse en una población dada sea muy reducido.

37. No puede definirse una dosis-población para determinados órganos ni tampoco para todo el organismo, por lo que respecta a los efectos somáticos; sin embargo se considera que una concentración igual al centésimo ($1/100$) de las máximas admisibles en los casos de exposición continua por razones profesionales, aplicado a cualquier radioisótopo o mezcla de radioisótopos, constituye un valor que podría utilizarse sin riesgo en la preparación de los programas de energía atómica, hasta que se disponga de información más amplia. Cuando los órganos críticos no son las gónadas, el procedimiento equivalente consistirá en aplicar un coeficiente de $1/30$ a los valores de la CMA para la exposición continua por razones profesionales, que están basados en la dosis semanal de 0,3 rems para un solo órgano; este valor se reducirá al tercio cuando sea preciso tener en cuenta el hecho de que una mezcla de radioisótopos puede causar la irradiación de varios órganos o de todo el organismo.

III. CONCENTRACIONES ADMISIBLES DE RADIOISOTOPOS EN EL AIRE Y EN EL AGUA

III.1. *En las recomendaciones de 1954 se fija en 0,3 rems la dosis máxima admisible por semana para la exposición profesional; en principio, las concentraciones máximas admisibles indicadas en el cuadro que figura a continuación se han calculado suponiendo que, en el caso de una exposición continua a estas concentraciones, la dosis mencionada no será rebasada para el organismo en su conjunto ni para cualquier órgano crítico.*

III.2. *En las recomendaciones de 1958 se mantiene dicho cuadro como base de cálculo. No obstante, teniendo en cuenta las*

dosis máximas admisibles últimamente recomendadas para diferentes órganos y para distintas clases de exposición, las concentraciones máximas admisibles en diferentes condiciones deben calcularse siguiendo las indicaciones de los apartados c) y d) del párrafo 21 y de los párrafos 23, 25, 26, 35 y 37.

III.3. *Extractos del cuadro C.VIII de las recomendaciones formuladas por la CIPR en 1954.* El siguiente cuadro se ha tomado de las recomendaciones formuladas en 1954 por la Subcomisión II de la CIPR, que decía en su informe:

“El objeto de este informe es establecer, en lo que se refiere a los diferentes radioisótopos, la lista de valores recomendados para la cantidad máxima tolerable en el organismo y para la concentración máxima tolerable en el aire y en el agua, en el caso de exposición por razones profesionales. Los valores apropiados dependen del estado de salud del individuo expuesto, de las propiedades físicas y químicas de las sustancias radiactivas utilizadas y de la vía de introducción en el organismo: ingestión, inhalación, absorción al nivel de las heridas o absorción directa a través de la piel. Por esta razón, a fin de limitar el alcance de este informe internacional sobre la dosis interna, sólo se tienen en cuenta los valores generales para las concentraciones máximas admisibles de compuestos solubles o insolubles; las únicas modalidades de introducción en el organismo que se tienen en cuenta en los cuadros son la ingestión y la inhalación; todas las cifras se refieren al llamado ‘hombre standard’, cuyas características se consideran como representativas del hombre medio.” ...

Más adelante, se señalaba en el informe:

“Los valores del cuadro C.VIII se han calculado sobre la base de una exposición continua. Como muchas de las exposiciones profesionales sólo duran una fracción de semana (es decir, 8 horas diarias, tiempo durante el cual se admite que la inhalación de aire y la ingestión de agua corresponden a la mitad de las necesidades cotidianas, 5 días por semana y 50 semanas por año), las concentraciones máximas admisibles indicadas en el cuadro C.VIII podrían multiplicarse por 3 para los riesgos profesionales corrientes (en efecto, $2 \times \frac{7}{5} \times \frac{52}{50} = 3$).”

III.4. CONCENTRACIONES MAXIMAS ADMISIBLES EN EL AIRE Y EN EL AGUA PARA UNA EXPOSICION CONTINUA

Radioisótopo	Organo crítico	Concentraciones máximas admisibles	
		En el agua ($\mu\text{curies/cm}^3$)	En el aire ($\mu\text{curies/cm}^3$)
^3H	Organismo entero	0,2	10^{-5}
^7Be	Hueso	2×10^{-2}	3×10^{-6}
^{14}C	Tejido adiposo	3×10^{-3}	10^{-5}
^{18}F	Hueso	0,2	3×10^{-5}
^{24}Na	Organismo entero	8×10^{-3}	10^{-6}
^{32}P	Hueso	2×10^{-4}	10^{-7}
^{35}S	Piel	5×10^{-3}	10^{-6}
^{36}Cl	Organismo entero	4×10^{-3}	6×10^{-7}
^{41}A	Organismo entero	5×10^{-4}	5×10^{-7}
^{42}K	Tejido muscular	3×10^{-3}	6×10^{-7}
^{45}Ca	Hueso	10^{-4}	8×10^{-9}
^{46}Sc	Bazo Hígado	4×10^{-4}	5×10^{-8}

Radioisótopo	Organo crítico	Concentraciones máximas admisibles	
		En el agua ($\mu\text{curies/cm}^3$)	En el aire ($\mu\text{curies/cm}^3$)
^{47}Sc	Bazo Hígado	9×10^{-4}	2×10^{-7}
^{48}Sc	Bazo Hígado	4×10^{-4}	7×10^{-8}
^{48}V	Hueso	3×10^{-4}	5×10^{-8}
^{51}Cr	Riñones	2×10^{-2}	4×10^{-6}
^{56}Mn	Riñones Hígado	3×10^{-3}	5×10^{-7}
^{55}Fe	Sangre	5×10^{-3}	7×10^{-7}
^{59}Fe	Sangre	10^{-4}	2×10^{-8}
^{60}Co	Hígado	4×10^{-4}	8×10^{-8}
^{59}Ni	Hígado	4×10^{-3}	7×10^{-7}
^{64}Cu	Hígado	5×10^{-3}	9×10^{-7}
^{66}Zn	Hueso	2×10^{-3}	4×10^{-7}
^{72}Ga	Hueso	5×10^{-4}	10^{-7}
^{71}Ge	Riñones	2×10^{-2}	3×10^{-6}
^{76}As	Riñones	2×10^{-4}	4×10^{-8}
^{86}Rb	Tejido muscular	3×10^{-3}	4×10^{-7}

Radioisótopo	Organo crítico	Concentraciones máximas admisibles	
		En el agua (μ curies/cm ³)	En el aire (μ curies/cm ³)
⁸⁹ Sr	Hueso	7×10^{-5}	2×10^{-8}
⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	Hueso	8×10^{-7}	2×10^{-10}
⁹¹ Y	Hueso	3×10^{-4}	9×10^{-9}
⁹⁵ Zr + ⁹⁵ Nb	Hueso	6×10^{-4}	8×10^{-8}
⁹⁵ Nb	Hueso	2×10^{-3}	2×10^{-7}
⁹⁹ Mo	Hueso	3×10^{-3}	5×10^{-7}
⁹⁶ Tc	Riñones	10^{-3}	2×10^{-7}
¹⁰⁶ Ru + ¹⁰⁶ Rh	Riñones	10^{-4}	2×10^{-8}
¹⁰⁵ Rh	Riñones	10^{-3}	2×10^{-7}
¹⁰³ Pd + ¹⁰³ Rh	Riñones	5×10^{-3}	8×10^{-7}
¹⁰⁵ Ag	Hígado	4×10^{-4}	7×10^{-8}
¹¹¹ Ag	Hígado	5×10^{-4}	8×10^{-8}
¹⁰⁹ Cd + ¹⁰⁹ Ag	Hígado	7×10^{-2}	7×10^{-8}
¹¹³ Sn	Hueso	2×10^{-3}	3×10^{-7}
¹²⁷ Te	Riñones	7×10^{-4}	10^{-7}

Radioisótopo	Organo crítico	Concentraciones máximas admisibles	
		En el agua ($\mu\text{curies/cm}^3$)	En el aire ($\mu\text{curies/cm}^3$)
^{129}Te	Riñones	2×10^{-4}	4×10^{-8}
^{131}I	Tiroides	6×10^{-5}	6×10^{-9}
^{133}Xe	Organismo entero	4×10^{-3}	4×10^{-6}
^{135}Xe	Organismo entero	10^{-3}	2×10^{-6}
$^{137}\text{Cs} + ^{137}\text{Ba}$	Tejido muscular	2×10^{-3}	2×10^{-7}
$^{140}\text{Ba} + ^{140}\text{La}$	Hueso	3×10^{-4}	2×10^{-8}
^{140}La	Hueso	3×10^{-4}	5×10^{-8}
$^{144}\text{Ce} + ^{144}\text{Pr}$	Hueso	10^{-4}	2×10^{-9}
^{143}Pr	Hueso	5×10^{-4}	9×10^{-8}
^{147}Pm	Hueso	2×10^{-3}	4×10^{-8}
^{151}Sm	Hueso	8×10^{-3}	3×10^{-9}
^{154}Eu	Hueso	4×10^{-4}	2×10^{-9}
^{166}Ho	Hueso	5×10^{-4}	8×10^{-8}
^{170}Tm	Hueso	5×10^{-4}	10^{-8}
^{177}Lu	Hueso	10^{-3}	2×10^{-7}

Radioisótopo	Organo crítico	Concentraciones máximas admisibles	
		En el agua ($\mu\text{curies/cm}^3$)	En el aire ($\mu\text{curies/cm}^3$)
^{182}Ta	Hígado	5×10^{-4}	2×10^{-8}
^{181}W	Hueso	7×10^{-4}	10^{-7}
^{183}Re	Tiroides Piel	2×10^{-3}	4×10^{-7}
^{190}Ir	Riñones Bazo	3×10^{-3}	6×10^{-7}
^{192}Ir	Riñones Bazo	5×10^{-4}	3×10^{-8}
^{191}Pt	Riñones	7×10^{-4}	10^{-7}
^{193}Pt	Riñones	9×10^{-4}	2×10^{-7}
^{198}Au	Hígado Riñones	2×10^{-3}	2×10^{-7}
^{198}Au	Hígado Riñones	6×10^{-4}	10^{-7}
^{199}Au	Hígado Riñones	2×10^{-3}	3×10^{-7}
^{200}Tl	Tejido muscular	10^{-3}	2×10^{-7}
^{201}Tl	Tejido muscular	9×10^{-3}	2×10^{-6}
^{202}Tl	Tejido muscular	5×10^{-3}	9×10^{-7}
^{204}Tl	Tejido muscular	10^{-3}	2×10^{-7}
^{203}Pb	Hueso	2×10^{-3}	4×10^{-7}

Radioisótopo	Organo crítico	Concentraciones máximas admisibles	
		En el agua ($\mu\text{curies/cm}^3$)	En el aire ($\mu\text{curies/cm}^3$)
$^{210}\text{Pb} +$ elementos descendientes	Hueso	2×10^{-6}	8×10^{-11}
^{210}Po	(sol.) Bazo (insol.) Pulmones	3×10^{-6}	10^{-10}
^{211}At	Tiroides	3×10^{-6}	5×10^{-10}
$^{220}\text{Rn} +$ elementos descendientes	Pulmones		10^{-7}
$^{222}\text{Rn} +$ elementos descendientes	Pulmones		10^{-7}
$^{226}\text{Ra} +$ 55% de elementos descendientes	Hueso	4×10^{-8}	8×10^{-12}
$^{227}\text{Ac} +$ elementos descendientes	Hueso	3×10^{-6}	4×10^{-12}
Th natural	Hueso (insol.) Pulmones	5×10^{-7}	3×10^{-11}
$^{234}\text{Th} + ^{234}\text{Pa}$	Hueso	2×10^{-4}	10^{-8}
U natural	(sol.) Riñones (insol.) Pulmones	2×10^{-6}	3×10^{-11}
^{233}U	(sol.) Hueso (insol.) Pulmones	3×10^{-6}	3×10^{-11}
^{239}Pu	(sol.) Hueso (insol.) Pulmones	3×10^{-6}	2×10^{-12}
^{241}Am	Hueso	3×10^{-6}	4×10^{-11}
^{242}Cm	Hueso	2×10^{-6}	2×10^{-10}
Toda mezcla de productos de fisión emisora de rayos beta o gamma		10^{-7}	10^{-9}
Toda mezcla de emisores de rayos alfa		10^{-7}	5×10^{-12}

NOTAS: 1) *Radioisótopos no identificados*

Los dos últimos valores que figuran en el cuadro C. VIII se refieren a “toda mezcla de productos de fisión emisores de rayos beta o gamma” y a “toda mezcla de emisores de rayos alfa”. Es conveniente utilizar estos valores cuando la identidad del contaminante radiactivo no está determinada. Se pueden emplear sin riesgo alguno durante tiempos breves — algunos meses —, sea cual fuere el contaminador radiactivo. Si los recuentos aproximados de radiaciones beta, gamma y alfa en las muestras de aire y de agua no exceden de estos valores, su empleo puede hacer innecesarios los análisis radioquímicos, laboriosos y costosos. Estos valores pueden emplearse sin peligro durante un tiempo indeterminado, con las restricciones siguientes: 1) debe utilizarse el factor de seguridad igual a 10 antes mencionado cuando los valores se aplican a una población importante, y 2) para ciertos radioisótopos, conviene utilizar valores más pequeños, a saber:

- a) 10^{-7} μ curies por centímetro cúbico de agua es una concentración máxima que se puede emplear sin peligro para cualquier mezcla de emisores beta y gamma, y para todos los emisores alfa, salvo el ^{226}Ra .
- b) 10^{-9} μ curies por centímetro cúbico de aire es una concentración máxima que se puede emplear sin peligro para cualquier mezcla de emisores beta y gamma, salvo el ^{90}Sr .
- c) 5×10^{-12} μ curies por centímetro cúbico de aire es un valor que se puede emplear sin peligro para cualquier mezcla de emisores alfa, salvo el ^{239}Pu y el ^{227}Ac .

2) *Toxicidad*

Un radioelemento plantea un problema de toxicidad química más que un problema de riesgo de irradiación cuando los valores máximos admisibles, calculados teniendo en cuenta su toxicidad química, son inferiores

a los valores correspondientes basados en el riesgo de irradiación. Para todos los radioisótopos del cuadro C. VIII, con la posible excepción del uranio*, las actividades específicas son tan elevadas que el riesgo de irradiación es lo primero que debe considerarse.

IV. DEFINICIONES

(dadas por la CIPR en sus recomendaciones de 1954)

Curie: Unidad de radiactividad: es la cantidad de un núclido radiactivo cualquiera en la que el número de desintegraciones por segundo es de $3,700 \times 10^{10}$.

Microcurie: 1/1 000 000 de curie.

Milicurie: 1/1 000 de curie.

Dosis absorbida: (de una radiación ionizante cualquiera): Cantidad de energía transmitida por las partículas ionizantes a la unidad de masa de la sustancia irradiada, en el punto considerado; debe expresarse en rads. (Véanse las recomendaciones de la CIUMR, Copenhague, 1953.)

Eficacia biológica relativa (EBR):

Véase más adelante.

Rad: Unidad de dosis absorbida. Es igual a 100 ergios por gramo (véase "Dosis absorbida").

Milirad (mrad): 1/1000 de rad.

* Los valores primitivos estaban basados en la toxicidad química. Los valores actuales se basan en la exposición a las radiaciones y se considera que no entrañan ningún peligro desde el punto de vista de la toxicidad química.

Rem:

El rem es la dosis de radiación ionizante absorbida cuya eficacia biológica es la misma que la de un rad de rayos X, tomando como referencia rayos X que producen una ionización específica media de 100 pares iónicos por micrón de agua, expresada en su equivalente en aire, en la misma región. La dosis en rems es igual a la dosis en rads multiplicada por la EBR correspondiente.

Roentgen:

Unidad de dosis aplicable a los rayos X y gamma, pero no a las demás radiaciones ionizantes.

El roentgen es la cantidad de radiación X o gamma tal que la emisión corpuscular que le está asociada para 0,001293 g de aire produce, en el aire, un número de iones que transportan una unidad electrostática de electricidad de cada signo. A medida que la energía cuántica de los rayos X o gamma tiende a valores muy elevados, resulta cada vez más difícil medir la dosis en roentgens. No obstante, esta unidad puede utilizarse para la mayor parte de los problemas prácticos que se presentan hasta alcanzar energías cuánticas de 3 MeV. Véanse las recomendaciones de la CIUMR.

**Ampliación a
todas las
radiaciones
ionizantes:**

En el caso de exposición a una radiación ionizante cualquiera, las dosis respectivas admisibles por semana (o las dosis totales durante un cierto tiempo, según sea el caso) para los diferentes tejidos y órganos del cuerpo humano, expresadas en rems, son numéricamente iguales a las correspondientes dosis admisibles de rayos X, expresadas en rads.

CUADRO B. I

VALORES DEL COEFICIENTE EBR

Para la determinación en rads de las dosis tisulares admisibles recibidas de fuentes externas, se recomiendan los siguientes valores del coeficiente EBR para todos los órganos críticos, teniendo en cuenta el valor de la ionización específica media en el órgano crítico en que ésta sea mayor; se utilizará la relación:

$$\text{Dosis admisible en rads} = \frac{\text{Dosis admisible en rems}}{\text{EBR}}$$

La ionización específica se expresa como número de pares iónicos por micrón de agua, calculado en términos de su equivalente en aire.

El coeficiente EBR se expresa igualando a 1 el coeficiente de eficacia biológica correspondiente a los rayos X corrientes (ionización específica media de 100 pares iónicos por micrón de agua, o pérdida lineal de energía de 3,5 keV por micrón de agua).

1. Rayos X, electrones y positrones, sea cual fuere su ionización específica.

$$\text{EBR} = 1$$

2. Partículas ionizantes pesadas.

Ionización específica media (pares iónicos por micrón de agua)	EBR	Pérdida lineal media de energía en el agua (keV por micrón)
hasta 100	1	hasta 3,5
de 100 a 200	de 1 a 2	de 3,5 a 7,0
de 200 a 650	de 2 a 5	de 7,0 a 23
de 650 a 1500	de 5 a 10	de 23 a 53
de 1500 a 5000	de 10 a 20	de 53 a 175

En la práctica, se utilizará un coeficiente EBR igual a 10 para los neutrones rápidos y los protones hasta 10 MeV, y un coeficiente EBR igual a 20 para los núcleos de retroceso pesados cuando se trate de una irradiación de todo el organismo y de los órganos críticos más sensibles. (Véase el informe de las Subcomisiones IV y V.)

APENDICE II

NIVELES MAXIMOS ADMISIBLES PARA LA CONTAMINACION DE SUPERFICIES

Los datos siguientes se dan como ejemplos de niveles máximos admisibles adoptados por diversos países.

I

Referencia: Nota No. 172, de mayo de 1956, publicada por el "Commissariat à l'énergie atomique" de Francia.

Radio- toxicidad de los isótopos	Equipo y lugares de trabajo		Ropa	Piel
	En zonas "inactivas"	En zonas "activas"		
Muy elevada	emisores alfa: $10^{-5} \mu\text{c}/\text{cm}^2$	emisores alfa: $10^{-4} \mu\text{c}/\text{cm}^2$	emisores alfa: $10^{-5} \mu\text{c}/\text{cm}^2$	emisores alfa: $5 \cdot 10^{-6} \mu\text{c}/\text{cm}^2$
	emisores beta: $10^{-4} \mu\text{c}/\text{cm}^2$	emisores beta: $10^{-3} \mu\text{c}/\text{cm}^2$	emisores beta: $10^{-4} \mu\text{c}/\text{cm}^2$	emisores beta: $5 \cdot 10^{-5} \mu\text{c}/\text{cm}^2$
Elevada Mode- rada Baja	$10^{-4} \mu\text{c}/\text{cm}^2$	$10^{-3} \mu\text{c}/\text{cm}^2$	$10^{-4} \mu\text{c}/\text{cm}^2$	$5 \cdot 10^{-5} \mu\text{c}/\text{cm}^2$

Nota: La clasificación de la radiotoxicidad de los isótopos es análoga a la que se da en este Manual.

II

Referenci : Dziennik ustaw, No. 34, Warszawa, dnia 27 Czerwca 1957 r. (Diario Oficial No. 34, Varsovia 27 de junio de 1957.) Niveles máximos admisibles para la contaminación de superficies, bancos de trabajo, etc.

	Tipo de lugar de trabajo		
	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Contamina- ción alfa	$10^{-5}\mu\text{curies}/\text{cm}^2$		$10^{-4}\mu\text{curies}/\text{cm}^2$
Contamina- ción beta*	20 imp/min x cm^2	50 imp/min x cm^2	50 imp/min x cm^2

* (Medido con un contador Geiger Müller con ventana de 5 mg/cm^2 y a una distancia de 2 cm.)

Nota: Los tipos de lugares de trabajo mencionados anteriormente corresponden a los siguientes, de acuerdo con las cantidades de isótopos que hay que manipular.

Radiotoxicidad de los isótopos	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Muy elevada	< 0	$< 100\mu\text{curies}$	Cualquier cantidad
Elevada	$< 10\mu\text{curies}$	$< 500\mu\text{curies}$	
Moderada	$< 100\mu\text{curies}$	$< 5000\mu\text{curies}$	
Baja	$< 1000\mu\text{curies}$	$< 50000\mu\text{curies}$	

La clasificación de la radiotoxicidad de los isótopos es la siguiente:

Muy elevada: ^{90}Sr , Ra, Pu.

Elevada: ^{45}Ca , ^{55}Fe , ^{91}Y , ^{95}Zr , ^{144}Ce , ^{147}Pm , ^{210}Bi , Po.

Moderada: ^3H , ^{14}C , ^{22}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{127}Te , ^{129}Te , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{143}Pr , ^{147}Nd , ^{198}Au , ^{199}Au , ^{203}Hg , ^{205}Hg .

Baja: ^{24}Na , ^{42}K , ^{64}Cu , ^{52}Mn , ^{76}As , ^{77}As , ^{85}Kr , ^{197}Hg .

III

Referencia: Code of Practice for the Protection of Persons exposed to ionizing radiations (Normas para la protección de las personas expuestas a las radiaciones ionizantes); Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1957.

Radiotoxicidad de los isótopos	Partes del cuerpo; ropa personal; ropa de cama de hospitales; "zonas inactivas"	Ropa protectora; laboratorios "activos"; material de vidrio; herramientas
Muy elevada	emisores alfa: $10^{-5} \mu\text{curies/cm}^2$ emisores beta: $10^{-4} \mu\text{curies/cm}^2$	emisores alfa: $10^{-4} \mu\text{curies/cm}^2$ emisores beta: $10^{-3} \mu\text{curies/cm}^2$
Elevada Moderada Baja	$10^{-4} \mu\text{curies/cm}^2$	$10^{-3} \mu\text{curies/cm}^2$

Nota: La clasificación de la radiotoxicidad de los isótopos es idéntica a la que se da en este Manual.

IV

Referencia: Handbook 48, U. S. Department of Commerce, Nacional Bureau of Standards (Manual No. 48, Ministerio de Comercio de los EE.UU., Oficina Nacional del Fiel Contraste).

Radiotoxicidad de los isótopos	Piel, vestidos, ropa de cama, instrumentos de laboratorio, material de vidrio	Superficies de las paredes del laboratorio; suelos, bancos de trabajo, campanas, etc.
	Intensidad del mismo orden de magnitud que la radiación ambiente:	Intensidad del mismo orden de magnitud que la radiación ambiente:
Muy elevada } Elevada }	0,1 mrep/h } de radiación beta 100 imp/min* } o gamma	0,1 mrep/h } de radiación beta 100 imp/min* } o gamma
Moderada } Baja }	1 mrep/h } de radiación beta 1000 imp/min* } o gamma	1 mrep/h } de radiación beta 1000 imp/min** } o gamma

Nota: 1. La clasificación de la radiotoxicidad de los isótopos es análoga a la que se da en el párrafo II.

2. * Medida por contacto con un contador Geiger Müller de ventana delgada de 12,90 cm² de superficie.

3. ** No obstante, se indica que: "A fin de mantener la actividad ambiente en el lugar de trabajo lo bastante baja para permitir el funcionamiento satisfactorio de los instrumentos, se aconseja descontaminar las zonas extensas hasta un nivel de 0,1 mrep/h".

V

Referencia: "Medidas para proteger al personal que trabaja con sustancias radiactivas", Ministerio de Salud Pública de la Unión Soviética, Moscú, 1958, Niveles admisibles para la contaminación de objetos en las empresas que utilizan sustancias radiactivas.

	Número de partículas emitidas en un minuto por 150 cm ²			
	Contaminación alfa		Contaminación beta	
	Antes de la descontami- nación	Después * de la desconta- minación	Antes de la descontami- nación	Después * de la desconta- minación
Manos	75	Radiación ambiente	5000	Radiación ambiente
Ropa interior y toallas	75	Radiación ambiente	5000	Radiación ambiente
Monos de algodón	500	100	25000	5000
Ropa protectora de plástico	500	200	25000	10000
Parte exterior de los guantes	500	100	25000	5000
Parte exterior del calzado especial	500	200	25000	5000
Superficies de trabajo y equipo	500	200	25000	5000

* No se volverán a utilizar los objetos contaminados antes de que su grado de contaminación sea inferior a los valores indicados.