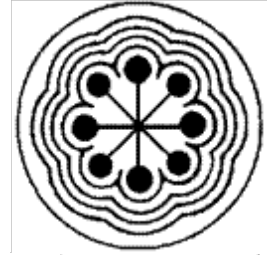




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIONES NUCLEARES



ININ

FACULTAD DE MEDICINA

METODOLOGÍA DE DESINCORPORACIÓN DE
RADIONÚCLIDOS EN PERSONAS RELACIONADAS
CON ACCIDENTES NUCLEARES Y RADIOLÓGICOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON
ESPECIALIDAD EN FÍSICA MÉDICA

PRESENTA

EDGAR ARMANDO JIMÉNEZ FIGUEROA

TUTORA ACADÉMICA:
DRA. LYDIA C. PAREDES GUTIÉRREZ



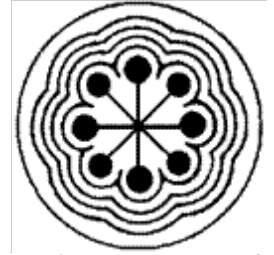
TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO

2014



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO

INSTITUTO NACIONAL DE
INVESTIGACIONES NUCLEARES



ININ

FACULTAD DE MEDICINA

METODOLOGÍA DE DESINCORPORACIÓN DE
RADIONÚCLIDOS EN PERSONAS RELACIONADAS
CON ACCIDENTES NUCLEARES Y RADIOLÓGICOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON
ESPECIALIDAD EN FÍSICA MÉDICA

PRESENTA

EDGAR ARMANDO JIMÉNEZ FIGUEROA

TUTORA ACADÉMICA: DRA. LYDIA C. PAREDES GUTIÉRREZ

REVISORES: DR. TEODORO RIVERA MONTALVO
DR. HÉCTOR RENÉ VEGA CARRILLO
M. EN C. GUSTAVO MOLINA
M. EN C. MARÍA DE LA SALUD LAURA GARCÍA SALINAS
M. EN C. ELENÍ MITSOURA
DR. ALBERTO ERNESTO HARDY PÉREZ



TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO

2014

Este trabajo se llevó a cabo en colaboración con el INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES (ININ), en la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO (UAEMex).

Agradecimientos

Quisiera expresar aquí mi más sincera gratitud a todos los profesores por su paciencia, apoyo y transmisión de conocimientos, que coadyuvaron a mi formación en Física Médica, de igual manera a mis compañeros de la Maestría en Física Médica por su amistad y apoyo.

La elaboración de esta tesis debe mucho a los recursos de la Universidad Autónoma del Estado de México a través de la beca Enlace y beca Escolaridad de estudios de posgrado, al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, por el apoyo, información y dirección de tesis.

Agradezco especialmente a la directora de esta tesis, Dra. Lydia Concepción Paredes Gutiérrez. Ha sido una grata experiencia el trabajar contigo, gracias por tu amistad, enseñanza y consejos.

Mis infinitas gracias a mi familia por su apoyo incondicional y paciencia para que pueda lograr una nueva etapa en mi vida profesional.

Resumen

Los accidentes son una situación no rutinaria que necesita de inmediata intervención para mitigar un peligro o consecuencias adversas para la salud humana, seguridad, calidad de vida, propiedad o para el ambiente.

El estudio y análisis de los tratamientos aplicados a personas contaminadas internamente en los accidentes radiológicos y nucleares que se han presentado a nivel mundial, y cuyos datos quedaron registrados en bases de datos especializadas y reconocidas. Estos proveen de información sobre la manera, riesgos y beneficios, de la administración de las técnicas de desincorporación. Cuanto mejor podamos manejar una situación de emergencia radiológica y nuclear, mejor podremos brindar un tratamiento más personalizado, eficiente y preciso a una persona contaminada.

En este trabajo se presenta una clasificación de los accidentes radiológicos y nucleares, describiendo cuáles son las actividades donde han ocurrido, su incidencia y las lecciones aprendidas en estos sucesos. Los accidentes radiológicos en los que intervienen materiales radiactivos pueden ocurrir en cualquier lugar y están relacionados con lo siguiente: fuentes peligrosas no controladas (abandonadas, perdidas, robadas o encontradas), uso indebido de fuentes industriales y médicas peligrosas, exposición y contaminación del público por origen desconocido, sobre exposiciones graves, amenazas y actos dolosos, emergencias durante el transporte.

Un individuo puede recibir una dosis de radiación de una fuente externa, por material radiactivo depositado sobre la piel o el equipo, o por la ingestión o la inhalación de partículas radiactivas. La ingestión o la inhalación de material radiactivo pueden causar dosis interna a todo el cuerpo o a un órgano en específico durante un periodo de tiempo. Por lo que, también se realiza una descripción de los procesos de incorporación, las etapas de incorporación y una descripción de los modelos biocinéticos para entender la ingesta, transferencia y excreción de los elementos radiactivos.

En el caso de la irradiación no hay material transferido. Esto significa que los pacientes irradiados no tienen material radiactivo en ellos y no son un riesgo radiológico para el Equipo de tratamiento. Cuando las personas tienen material radiactivo sobre o dentro de ellos se dice que han sido contaminadas. Nótese que las personas no pueden estar contaminadas con partículas alfa, sino con materiales tales como ^{241}Am que emite partículas alfa.

Se propone una organización administrativa de un hospital de referencia para la atención clínica de personas relacionadas con accidentes nucleares y radiológicos, incluyendo la definición de las responsabilidades del personal médico hospitalario involucrado en estos casos, como una primera medida para el control, manejo y posterior atención de las víctimas de accidentes radiológicos y nucleares.

Para poder brindar ayuda a una víctima de contaminación interna es muy importante el diagnóstico dosimétrico y médico. Las técnicas de diagnóstico dosimétrico más importantes son la dosimetría *in vivo* (citogenética y el conteo *in vivo* de cuerpo entero) y los bioensayos. Estas técnicas permiten obtener datos como son el radionúclido, el órgano blanco, la dosis absorbida, etc. Al mismo tiempo, el médico encargado debe estar muy atento a los síntomas y su tiempo de manifestación, ya que son un indicador primero de que la persona sufrió una irradiación y segundo de la estimación del rango de dosis de radiación recibida. Estos son los parámetros que sirven como criterios para decidir si una persona tiene que recibir algún tratamiento y seleccionar las metodologías que mejor resultado permitan obtener para una desincorporación de material radiactivo.

En este trabajo enfocamos nuestra atención en la identificación, clasificación y selección de las metodologías para acelerar la desincorporación de radionúclidos en personas relacionadas con accidentes nucleares y radiológicos, en función de la vía de incorporación al cuerpo humano, el radionúclido, la radiotoxicidad, el tipo de radiación y su energía, el compuesto químico, la vida media del radioisótopo, el órgano blanco, la estimación de dosis absorbida, las características del accidente, el estado clínico de la persona y el tiempo de haber ocurrido el accidente.

Se logró conjuntar las metodologías de tratamiento clínico para desincorporación radiactiva, que emplean compuestos quelantes específicos por radionúclido, y pueden ser empleadas para acelerar la desincorporación radiactiva de personas relacionadas en accidentes. Se elaboró una tabla para su fácil manejo, dónde los métodos y dosis clínica de los fármacos empleados podrán seleccionarse en función de las características fisicoquímicas del radionúclido, radiotoxicidad, la estimación de dosis absorbida, la vía de incorporación al cuerpo humano, el órgano blanco, etc., para ayudar a que el paciente pueda revertir los efectos de la radiación, y al facilitar la desincorporación, para no sufrir los efectos deterministas de los materiales radiactivos incorporados.

Además, en muchos de los accidentes estudiados donde ocurrió una contaminación interna se tiene al mismo tiempo una exposición aguda a la radiación debido a los radionúclidos incorporados. También ocurren con gran frecuencia accidentes donde se produce como resultado de la exposición externa a dosis de radiación mayores a un Gray (Gy) a cuerpo entero, o a una mayor dosis de radiación en un periodo de tiempo corto (tasa de dosis alta) y

el grado de homogeneidad de la exposición, el síndrome agudo de radiación (SAR) y el síndrome cutáneo de radiación (SCR).

Las metodologías para el SAR comprenden tratamientos enfocados principalmente en el apoyo y recuperación del sistema hematológico, la prevención y tratamiento de infecciones y hemorragias, y los esfuerzos para prevenir la neutropenia y sepsis. Entre los medicamentos empleados están el Filgrastim que es un granulocito con factor estimulante de colonias (G-CSF), el Sargramostim que es un granulocito macrófago con factor estimulante de colonias (GM-CSF), como estimuladores del sistema hematopoyético, además del empleo de antibióticos, etc.

Los tratamientos para el SCR van desde tratamientos de sedación, terapias analgésicas, antiinflamatorios, antiisquémicos, lavados con soluciones antisépticas, factores de crecimiento (KGF), hasta tratamientos quirúrgicos de acuerdo a la gravedad de las lesiones, etc.

Abstract

Accidents are not routine situations that need an immediate intervention to mitigate an adverse danger or consequence for human health, security, life quality, property or for environment.

The study and analysis of the applied treatments for internal contaminated people in the radiological and nuclear accidents that have been presented worldwide, and which data have been registered in specialized and recognized databases. They provide information about the way, the risks and the benefits of the administration of the disincorporation techniques. The better we can manage a radiological and nuclear emergency situation the best we can give a more personalized, efficient and precise treatment for a contaminated person.

In this paper a classification of the radiological and nuclear accidents is presented, describing which the activities are, where they have occurred, their incidence and the learned lessons in these successes. The radiological accidents in which radioactive materials intervene can occur anywhere, and they are related to no controlled dangerous sources (abandoned, lost, stolen, or found sources), improper use of dangerous industrial and medical sources, exposition and contamination of people in general by an unknown origin, serious over expositions, menaces and willful misconduct, emergencies during transportation of radioactive material.

A person can receive a dose of radiation from an external source, because of radioactive material placed on skin or on equipment, or because of ingestion or inhalation of radiological particles. The ingestion or the inhalation of radioactive material can cause an internal dose to the whole body or to a specific organ during a period of time. That is why a description of the processes of incorporation, the stages of incorporation and a description of the biokinetic models are also realized to understand the ingestion, transference and the excretion of the radioactive elements.

In case of irradiation, there is not transferred material. This means that irradiated patients do not have radioactive material in them, and they are not a radiological risk for the treatment staff. When people have radioactive material on or in them, it is said that they have been contaminated. Notice that people cannot be contaminated with alpha particles, but with materials such as ^{241}Am that emits alpha particles.

An administrative organization of a hospital of reference for the clinical attention of people related to nuclear and radiological accidents is proposed, including the definition of responsibilities of the involved medical staff of the hospital in these cases, as a first response for the control, the management, and the subsequent attention of the victims of radiological and nuclear accidents.

In order to offer help to a victim of internal contamination, the dosimetric and medical diagnosis is very important. The most important techniques of dosimetric diagnosis are the dosimetry *in vivo* (cytogenetics and the counting *in vivo* of the whole body) and the bioassays. These techniques allow obtain data such as the radionuclide, the target organ, the absorbed dose, etc. At the same time, the doctor in charge must be attentive to the patient's symptoms and their manifestation time, since they are an indicator, first, the patient suffered an irradiation, and second, of the range esteem of the received radiation dose. These are the parameters that are useful as criterion to decide if a person has to receive some treatment and select the methodologies that allow obtain a better result of the disincorporation of the radioactive material.

In this work, the attention is focused on the identification, classification and selection of the methodologies to accelerate the disincorporation of radionuclides in people related to nuclear a radiological accidents, depending on the way of incorporation to the human body, the radionuclide, the radiotoxicity, the kind of radiation and its energy, the chemical compound, the half-life of the radioisotope, the target organ, the esteem of the absorbed dose, the characteristic of the accident, the clinical state of the patient and how long ago the accident happened.

It was an achievement to join the clinical treatment methodologies for the radioactive disincorporation which use specific chelant compounds per radionuclide. And they can be used to accelerate the radioactive disincorporation of people involved in accidents. A table was elaborated for its easy management. Where the methods and the clinical dose of the used medicine can be selected according to the physicochemical characteristics of the radionuclide, the radiotoxicity, the esteem of the absorbed dose, the way of incorporation in the human body, the target organ, etc., in order to help the patient to revert the radiation effects, and facilitate the disincorporation to avoid the determinist effects of the incorporated radioactive materials.

Moreover, in many of the studied accidents where an internal contamination occurred, at the same time, we have an acute exposition to the radiation because of the incorporated radionuclides. Accidents also occur with a great frequency, where a dose of radiation is produced as a result of an external exposition to a radiation dose greater than one Gray (Gy) delivered to a whole body, or to a bigger radiation dose during a short period of time (high

dose rate), and the level of the exposition homogeneity, the acute radiation syndrome (ARS) and the cutaneous radiation syndrome (CRS).

The methodologies for the ARS include focused treatments mainly on the support, and hematological system recovery, the prevention and treatment of infections and hemorrhages, and on the efforts to prevent the neutropenia and sepsis. Among the used medicines are the Filgrastim that is a granulocyte with a colony stimulating factor (G-CSF), the Sargramostim that is a macrophage granulocyte with a colony stimulating factor (GM-CSF), as stimulants of the hematopoietic system, besides the use of antibiotics.

The treatments for the CRS go from sedation treatments, analgesic therapies, anti-inflammatory, anti-ischemic, washes with antiseptic solutions, growing factors (KGF) to surgical treatments according to the lesions gravity, etc.

Índice General

Agradecimientos	i
Resumen	iii
Abstract	vii
Índice de General	xi
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvii

ANTECEDENTES

1. Introducción	1
1.1. Accidentes Radiológicos y Lecciones Aprendidas	2
1.2. Accidentes Nucleares y Lecciones Aprendidas	6
1.3. Principios Generales de los Procedimientos de Desincorporación.....	9
1.4. Justificación.....	10
1.5. Delimitación del Problema.....	11
2. Hipótesis y Objetivos	13
2.1. Hipótesis	13
2.2. Objetivos.....	13
2.3. Metas.....	14
2.4. Metodología de Tesis	14

MARCO TEÓRICO

3. Procesos de Incorporación	17
3.1. Etapas de la Contaminación Radiactiva Interna.....	17
3.1.1. Deposición en la Puerta de Entrada	17
3.1.2. Transferencia.....	17
3.1.3. Deposición en el Órgano Blanco.....	17
3.1.4. Eliminación.....	18
3.2. Elementos Transferibles y no Transferibles.....	18
3.2.1. Elementos Transferibles	18
3.2.2. Elementos No Transferibles	18
3.3. Modelos para Representar la Ingesta, Transferencia y la Excreción de Material Radiactivo.....	19
3.3.1. Modelo del Tracto Respiratorio	21
3.3.2. Modelo para el Tracto Gastrointestinal.....	26

4. Métodos de Dosimetría Interna	29
4.1. Dosimetría <i>in vivo</i>	31
4.1.1. Dosimetría de Cuerpo Entero	31
4.1.2. Dosimetría de Cuerpo Fijo	32
4.1.3. Dosimetría <i>in vivo</i> (Citogenética)	33
4.2. Bioensayo	37
4.3. Estimación de Dosis para el Síndrome Agudo de Radiación.....	38
4.3.1. Distribución Tempo-espacial de la Dosis	47
4.4. Criterios de Intervención.....	48
4.4.1. Incorporación de Formas Transportables.....	49
4.4.2. Inhalación de Formas Pobremente Transportables	49
4.4.3. Contaminación de Heridas.....	49
4.4.4. Ingestión	50
4.5. Radionúclidos de Interés	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5. Metodologías de Desincorporación.....	53
5.1. Metodologías Según la Vía de Entrada al Organismo	54
5.1.1. Contaminación en Piel.....	55
5.1.2. Heridas y Quemaduras Contaminadas	55
5.1.3. Contaminación a Través del Aparato Digestivo	56
5.1.4. Contaminación del Aparato Respiratorio	56
5.2. Metodologías de Desincorporación	56
5.2.1. Procedimientos Destinados a Reducir el Pasaje del Radionúclido Desde el Sitio de Entrada	57
5.2.1.1. Piel Sana	57
5.2.1.2. Heridas	57
5.2.1.3. Tracto Respiratorio	58
5.2.1.4. Tracto Digestivo.....	58
5.2.2. Procedimientos Destinados a Aumentar la Excreción del Radionúclido Contaminante	59
5.2.2.1. Tratamiento Quelante	59
5.2.2.2. Dilución de Material Radioactivo	63
5.2.2.3. Bloqueo Metabólico	63
5.2.2.4. Agentes Movilizadores.....	63
5.2.2.5. Técnica de Eliminación Extracorpórea	63
5.3. Factores de Eficiencia	64
6. Diagnóstico y Tratamiento de Síndromes por Radiación.....	83
6.1. Síndrome Agudo de Radiación.....	83
6.1.1. Etiología	83
6.2. Síndrome Agudo de Radiación y Dosis Absorbida	83
6.2.1. Síndrome Hematopoyético	86

6.2.2. Síndrome Gastrointestinal	87
6.2.3. Síndromes SNC y SC	88
6.3. Manejo Clínico de SAR.....	88
6.3.1. Tratamiento del SAR. Fase Prodromal.....	89
6.3.2. Tratamiento del SAR. Fase de Manifestación	90
6.3.3. Prevención y Tratamientos de Infecciones	90
6.4. Síndrome Cutáneo de Radiación	92
6.5. Manejo Clínico del Síndrome Cutáneo de Radiación	95
6.5.1. Tratamiento Sistémico.....	95
6.5.2. Tratamiento Local.....	96
6.5.3. Tratamiento Quirúrgico Clásico.....	96
6.5.4. Tratamiento Quirúrgico para Ulceraciones Profundas y/o Dolorosas y para Lesiones Necróticas	96
6.5.5. Apoyo Psicológico Tanto en la Fase Aguda como a Largo Plazo	97
7. Guía de Respuesta Médica en Emergencias Radiológicas	99
7.1. Jerarquía de la Respuesta Médica de Emergencias Radiológicas	99
7.2. Organización de la Respuesta Médica en Emergencia Radiológica	101
7.3. Acciones en la Zona Previo Arribo del Grupo de Emergencia Médica	105
7.4. Hojas de Trabajo y Tarjetas Específicas	123
7.5. Respuesta Clínica Inicial	128
7.6. Tratamiento del Paciente Contaminado.....	134
Conclusiones.....	137
Referencias	139
Anexo I	
Información Básica para el Tratamiento de la Contaminación Radiactiva Interna.....	143
Anexo II	
Fármacos Utilizados para el Tratamiento de la Contaminación con Distintos Radionúclidos	159
Anexo III	
Dosis Recomendadas para las Modalidades de Medicamento o Tratamiento	171
Anexo IV	
Administración de Yodo Estable en Accidentes Nucleares	173
Anexo V	
Artículo Enviado y Comprobante de Envío.....	179

Índice de Tablas

Tabla 1. Código de clasificación de los accidentes radiológicos.....	3
Tabla 2. Código para cada accidente nuclear según la base de datos.....	6
Tabla 3. Accidentes nucleares en reactores de potencia y sus consecuencias.....	7
Tabla 4. Velocidades de absorción predeterminada para tipos de materiales F, M, y S.....	25
Tabla 5. Guía para la elección de los métodos de dosimetría.....	34
Tabla 6. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 0 a 0.75 Gy.....	39
Tabla 7. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 0.75 a 1.5 Gy.....	40
Tabla 8. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 1.5 a 3 Gy.....	41
Tabla 9. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 3 a 5.3 Gy.....	42
Tabla 10. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 8.3 a 11 Gy.....	43
Tabla 11. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 11 a 15 Gy.....	44
Tabla 12. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 15 a 30 Gy.....	45
Tabla 13. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 30 a 45 Gy.....	46
Tabla 14. Radionúclidos de interés.....	50
Tabla 15. Tratamiento para la desincorporación radiactiva en casos de accidentes.....	65
Tabla 16. Medidas para el tratamiento de la contaminación interna.....	75
Tabla 17. Efectos de la Radiación.....	84
Tabla 18. Estimación de dosis por cronología del vómito.....	85
Tabla 19. Estimación de dosis por cronología de la diarrea.....	85
Tabla 20. Factores de crecimiento en el SAR.....	89
Tabla 21. Tratamiento hematológico: infusión de plaquetas.....	89
Tabla 22. Síntomas y signos agudos de piel de acuerdo a las fases del SCR.....	93
Tabla 23. Dosis absorbida relacionada a la aparición de síntomas del SCR.....	94
Tabla 24. Manejo del paciente accidentado de acuerdo al nivel de asistencia.....	115
Tabla 25. Niveles operacionales de Intervención para contaminación en piel.....	122
Tabla 26. Lista de útiles para la descontaminación de las víctimas en el Departamento de Emergencia.	128



Índice de Figuras

Figura 1.1. Incidencia de accidentes radiológicos por década.	2
Figura 1.2. Incidencia de accidentes radiológicos por localización geográfica	3
Figura 1.3. Impacto de los accidentes radiológicos	4
Figura 1.4. Muertes inmediatas o posteriores por tipo de accidente radiológico	4
Figura 1.5. Impacto de los accidentes en personas	7
Figura 1.6. Muertes inmediatas o posteriores según el tipo de instalación, donde ocurrieron los accidentes	8
Figura 1.7. Incidencia de accidentes nucleares por localización geográfica	8
Figura 1.8. Incidencia de accidentes nucleares por década	9
Figura 3.1. Modelo que representa las vías de ingestión, la transferencia y excreción de materiales radiactivos.	20
Figura 3.2. Modelo del tracto respiratorio.	22
Figura 3.3. Rutas de eliminación del tracto respiratorio.	23
Figura 3.4. Modelo compartimental que representa el transporte de partículas dependiente del tiempo de cada región del tracto respiratorio. Se muestran las velocidades junto a las flechas en unidades de d^{-1} , donde d son los días.	24
Figura 3.5. El modelo compartimental que representa la dependencia del tiempo de la disolución en el tracto respiratorio seguido a la transferencia instantánea a la sangre (ICRP, 1994a).	25
Figura 3.6. El modelo matemático usado describe la cinética de los radionúclidos en el tracto gastrointestinal.	27
Figura 4.1. Detectores de exposición (mR/h): Rx, gamma y betas con altas energías. Solo realiza una medición cualitativa.	29
Figura 4.2. Detector de contaminación (cuentas/min): el detector es de (BF_3), detecta gammas, betas, neutrones.	30
Figura 4.3. Equipo de dosimetría de cuerpo entero ACCUSCAN II.	30
Figura 4.4. Equipo de dosimetría de cuerpo entero ACCUSCAN II, con detectores de germanio hiperpuro que realizan un barrido vertical de cuerpo entero.	32
Figura 4.5. Metafase con aberraciones cromosómicas de diferente tipo: 1. dicéntricos; 2. fragmentos acéntricos; 3. cromosomas en anillo; 4. translocación.	37
Figura 4.6. Construcción de curvas de isodosis.	47
Figura 4.7. Curvas isotermas.	47
Figura 4.8. Histología de la piel normal vs piel irradiada.	48

Figura 5.1. Combinación Metal-EDTA= Quelato.....	61
Figura 6.1. Médula ósea normal e irradiada.	87
Figura 6.2. Mucosa intestinal normal e irradiada.....	87
Figura 6.3. Infección viral.	91
Figura 6.4. Epitelitis seca.....	94
Figura 6.5. Epitelitis exudativa.	94
Figura 6.6. Lesión úlcronecrótica con edema y eritema perilesional.	95
Figura 7.1. Zona establecida por los elementos de respuesta inicial.	108
Figura 7.2. Respuesta médica en la zona de emergencia.	111
Figura 7.3. Técnica de monitoreo.....	118

Capítulo 1

Introducción

Desde el principio de la utilización de fuentes de radiación con fines benéficos, se observaron efectos nocivos para la salud. Con el aumento de la utilización de la radiación en medicina, ciencias e industria, se concluyó que las aplicaciones de la radiación se deben hacer bajo el principio de que cada incremento de dosis, no importa cuán pequeño sea, aumenta la probabilidad de un efecto adverso de forma proporcional al incremento de la radiación. Las bases para el control de la radiación es la limitación de las dosis de la radiación a un nivel que sea compatible con los beneficios que se derivan para la sociedad y los individuos de la utilización de la radiación.

Cualquier elemento, material o dispositivo que pueda causar exposición a la radiación ionizante, recibe el nombre de fuente. Una fuente es “peligrosa” cuando no está bajo control y puede originar exposiciones o incorporaciones suficientes para causar efectos deterministas graves para la salud [1,2].

Por lo tanto, el riesgo se deriva de la exposición externa a la radiación ionizante o a través de la incorporación (inhalación, ingestión o absorción por piel) del radionúclido al cuerpo humano; de esta manera, cuanto más tiempo y más cerca esté una persona de la fuente mayor es el riesgo [1,2].

Las emergencias radiológicas son aquellas en las que intervienen materiales radiactivos [2], que pueden ocurrir en cualquier lugar y están relacionadas con lo siguiente:

- Fuentes peligrosas no controladas (abandonadas, perdidas, robadas o encontradas)
- Uso indebido de fuentes industriales y médicas peligrosas
- Exposición y contaminación del público por origen desconocido
- Sobre exposiciones graves
- Amenazas y actos dolosos
- Emergencias durante el transporte

Cuando la radiactividad fue descubierta, hace poco más de un siglo, nadie se imaginaba las consecuencias tanto benéficas como perjudiciales que a la larga traería a la humanidad. La energía nuclear tuvo un inicio que ha impactado a las personas incluso en la actualidad; la fecha que marcó el principio de una nueva era en la tecnología nuclear fue en agosto de 1945 en Japón cuando quedó demostrada la capacidad destructiva de las armas nucleares, con esto surgió el grave problema de tratar de usar a la energía nuclear exclusivamente para usos pacíficos y benéficos para las personas. En el periodo de posguerra ya estaban en desarrollo aplicaciones en medicina, agricultura, industria y para producción de electricidad. Sin embargo, el *dilema nuclear* que hasta la fecha perdura es seguir fomentando estas aplicaciones impidiendo al mismo tiempo propagar el uso de la tecnología para la fabricación de armas. Esto ocasionó que el presidente de E.U. Eisenhower propusiera la creación de un organismo internacional que se encargara de resolver ese dilema, surgiendo así el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y posteriormente también se firmó el Tratado sobre la No Proliferación de Armas Nucleares (TNP), el cual dice básicamente que los países pueden tener acceso a la tecnología nuclear para fines pacíficos siempre y cuando renuncien a la fabricación de armas nucleares [3].

1.1 Accidentes radiológicos y lecciones aprendidas

Accidentes radiológicos

En la Figura 1.1 se presenta la incidencia de accidentes radiológicos por década, ilustrándose como la incidencia creció a partir de 1966 a 2012 y el pico máximo está en la década de 1976-1985 [2, 4-16]. Los accidentes radiológicos se clasificaron como se muestra en la Tabla 1.

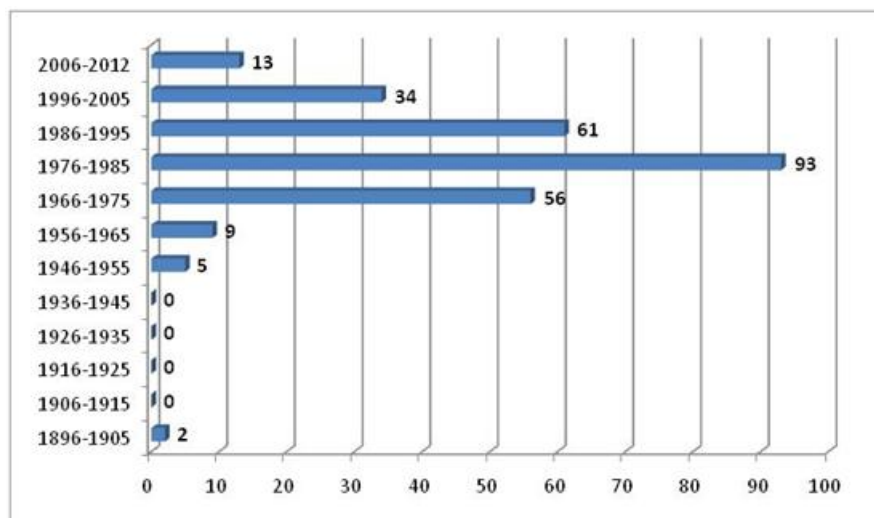


Figura 1.1. Incidencia de accidentes radiológicos por década. (Periodo 1896-2012: 273 accidentes radiológicos) [2].

Tabla 1. Código de clasificación de los accidentes radiológicos [2].

Descripción del Accidente	Tipo Accidente
En acelerador	A-a
Ingestión de radioisótopos	A-i
Irradiador industrial	A-ir
Medicina / Radioterapia	A-mr
Medicina / rayos X	A-mx
Fuentes abandonadas o perdidas	A-os
Dispersión material radiactivo/fuente abandonada o perdida	A-osd
Radiografía industrial	A-rg
Exposición / fuente radiactiva	A-s
Industria / Rayos X	A-x

En la Figura 1.2 se ilustra la ocurrencia de accidentes radiológicos de acuerdo a su localización en los continentes, mostrando que Europa ha tenido experiencias con la mayoría de los accidentes, seguida de América, la que se distingue principalmente por haber tenido accidentes que implicaron pérdida de fuentes. En tercer lugar está Asia, posteriormente África con accidentes en radiografía industrial y fuentes perdidas, por último se encuentra Oceanía, ésta sólo con un accidente con rayos-X [2, 4-16].

De acuerdo a la Figura 1.3 y Figura 1.4, se concluye que las 950 personas que fueron expuestas a dosis altas de radiación ionizante debido a un accidente radiológico, ninguna recibió una dosis letal que le ocasionara una muerte inmediata, sin embargo, esa dosis recibida si causó una muerte posterior al accidente a una parte de ellos [2, 4-16].

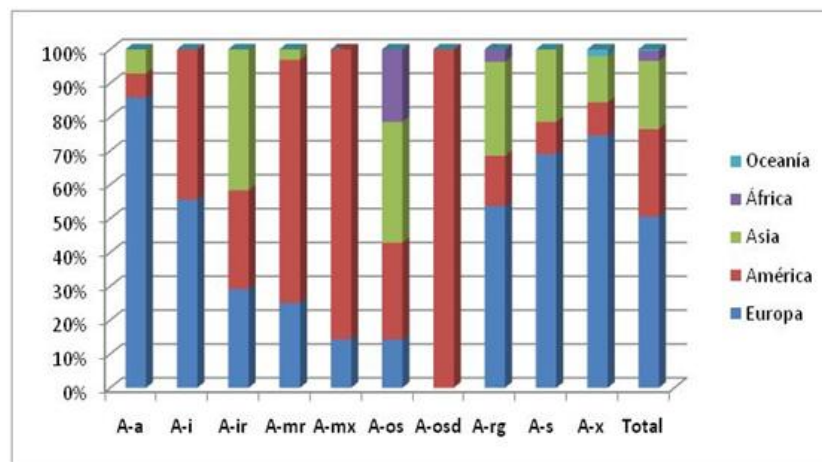


Figura 1.2. Incidencia de accidentes radiológicos por localización geográfica [2].

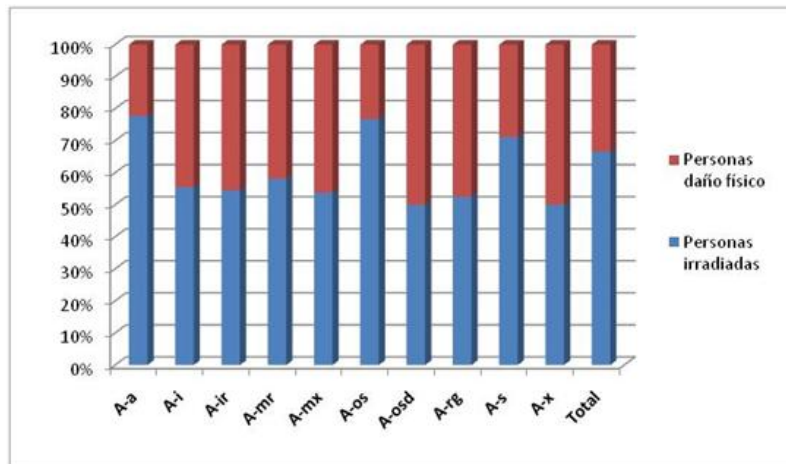


Figura 1.3. Impacto de los accidentes radiológicos [2].

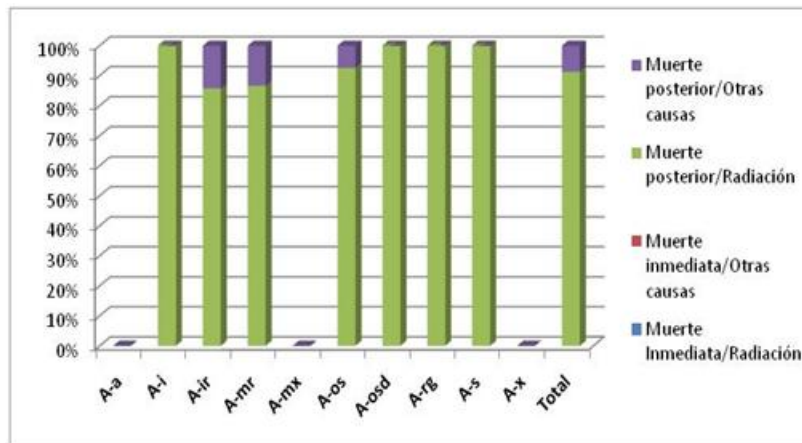


Figura 1.4. Muertes inmediatas o posteriores por tipo de accidente radiológico [2].

Lecciones aprendidas

Todos los accidentes mencionados han dejado un impacto importante en los lugares en los que sucedieron (véase Figura 1.3). No se puede decir que unos tienen más importancia que otros, ya que las personas que han sido agraviadas con ellos, han sufrido las consecuencias, sólo que en unos accidentes ha habido mayor número de personas expuestas y con daños que en otros, sin embargo, el que haya menos personas involucradas no quiere decir que el accidente fue de menor grado, ya que quizás esas pocas personas murieron o recibieron un fuerte daño físico [2, 4-16].

Es importante analizar todos los casos de accidentes radiológicos que se han presentado a nivel mundial, y cuyos datos quedaron registrados en bases de datos especializadas y reconocidas, con el objeto de extraer las lecciones aprendidas de cada caso y tratar de que no se vuelvan a repetir estos errores [2, 4-16].

Estas lecciones son un material muy útil para la formación de los profesionales que trabajan con material radiactivo y fuentes de radiación ionizante en aplicaciones de medicina, industria e investigación, con el objeto de analizar los errores humanos y técnicos, las tendencias de los accidentes por décadas y en qué aplicaciones se tienen mayor problema. Debe considerarse que en la mayoría de los accidentes el factor humano (falta de capacitación), fue la razón principal de los mismos, el cual generó riesgos importantes para los trabajadores ocupacionalmente expuestos y en algunos casos al público [2, 4-16].

De los 273 accidentes radiológicos reportados en el período 1896-2012, se encontraron 950 personas irradiadas y en 58 de ellas se presentó defunción posterior al accidente, debido a que estuvieron expuestas a dosis absorbidas de radiación altas y a los efectos biológicos presentados [2, 4-16].

Se identificó que no todos los países tienen la cultura de reportar todos los accidentes radiológicos [2-4] que ocurren y en otros casos la información encontrada es incompleta y escasa. Por consiguiente, **el número real de accidentes radiológicos se estima que es mayor en un 40%**, pero no se pudieron incluir por falta de datos completos y/o confiables. En México se tienen los mismos problemas, por lo que se debe trabajar para mejorar la cultura de reportar a la autoridad correspondiente la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) los accidentes y sus implicaciones. La CNSNS tiene reportados del orden de 15 accidentes radiológicos entre los que se tienen: la varilla y chatarra contaminada por la fundición de una fuente de Co-60 para radioterapia en Ciudad Juárez, Chihuahua, las pérdidas de fuentes radiactivas para radiografía industrial de Ir-141 en varios estados, los polvos y escoria contaminada con Cs-137 por fundición en Veracruz, Ver., la contaminación radiactiva de un laboratorio, un cubículo y contaminación interna de un trabajador con Pu-240 en el Estado de México, la exposición accidental a la radiación ionizante en un acelerador de partículas en el Estado de México, la contaminación externa e interna accidental de trabajadores en planta de producción de radiofármacos en el Estado de México, la contaminación de instalaciones y contaminación interna de personal en hospital público con I-131 en Ciudad de México, etc.

Finalmente del estudio de información disponible [2], se concluye que la capacitación es la mejor herramienta para la prevención de accidentes radiológicos, considerando que las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear tiene beneficios importantes a nivel mundial, como son diagnósticos médicos más precisos y personalizados, tratamientos para cáncer y otras enfermedades importantes, mejora de la calidad de vida de las personas, desbacterización de alimentos y cosméticos, tratamientos fitosanitarios de frutas y legumbres, apoyo al cuidado del ambiente y medición de parámetros en la industria en general. Cabe resaltar que en el campo de la investigación, las técnicas nucleares ofrecen metodologías indispensables actualmente para la generación de nuevos conocimientos [2].

1.2 Accidentes nucleares y lecciones aprendidas

Accidentes Nucleares

Asimismo, se presentan una lista de los accidentes nucleares en la Tabla 2. Se identificaron los 3 accidentes más representativos de la industria nuclear en el mundo [3, 17-21], todos relacionados con la producción de energía eléctrica, acontecidos en diferentes épocas y con causas totalmente distintas, los cuales se resumen en la Tabla 3.

Chernobyl, Fukushima y Three Miles Island son los accidentes que más han impactado a la población mundial; en la Tabla 3 se presenta un resumen de las consecuencias más importantes donde el accidente de Chernobyl (ocurrido en 1986) fue el de mayor impacto debido a las emisiones radiactivas arrojadas al aire, al número de muertos y a los afectados en Europa, de igual forma, se encontró que el origen del accidente se debió a la falta de cultura de seguridad por el fuerte régimen que se tenía en ese tiempo ya que, por órdenes militares, los sistemas de seguridad fueron desconectados para llevar a cabo una prueba desatando el accidente unas horas después de haber iniciado el experimento. En el caso de Three Mile Island (ocurrido en 1979), la causa fue un error humano y no tuvo consecuencias de emisiones radiactivas al exterior, ni afectación a la población; respecto al accidente de Fukushima (ocurrido en 2011), se tuvieron emisiones radiactivas al ambiente, se actuó con rapidez en la evacuación de la población y su impacto radiológico está bajo control [3, 17-21].

Tabla 2. Código para cada accidente nuclear según la base de datos [3].

Tipo de Accidente	Descripción del Accidente
A	Exposición a radiación en instalación nuclear
A-PC	Accidentes en plantas de fabricación de combustible
A-RN	Accidentes en reactores navales
A-RP	Accidentes en reactores de potencia
A-RI	Accidentes en reactores de investigación
A-R	Accidentes en el sitio del reactor (Ensamble subcrítico)
A-LI	Accidentes en laboratorios de investigación/material nuclear
A-dMR	Accidentes con dispersión de material radiactivo
BNp	Pruebas de armas nucleares
BNc	Combates usando armas nucleares
T	Armas o material nuclear con fines de terrorismo

Tabla 3. Accidentes nucleares en reactores de potencia y sus consecuencias [3].

<u>Three Mile Island, EUA</u>	<u>Chernobyl, antigua URSS</u>	<u>Fukushima, Japón</u>
Marzo de 1979. Reactor PWR, 792 MWe (Agua ligera a presión).	Abril de 1986. Reactor RBMK, 1000 MWe (grafito-agua ligera).	Marzo de 2011 3 Reactores BWR, uno de 448 MWe y dos de 760 MWe
<ul style="list-style-type: none"> Reactor inoperable, pérdida económica No consecuencias para la población 	<ul style="list-style-type: none"> Reactor inoperable, pérdida económica, emisión de radiación al medio ambiente 28 muertes inmediatas y 19 posteriores de consecuencia directa a la radiación 20,000 casos de cáncer de tiroides a 20 años del accidente (90% curables, OMS). 	<ul style="list-style-type: none"> Ninguna muerte debida a radiación 3 Reactores Inoperables Pérdida Económica Revisión de las condiciones de operación de sus reactores Análisis geológicos de sitio de sus reactores Revisión de su programa nuclear Ninguna decisión hasta el día de hoy.
Causa.- <u>Factor humano</u> Nueva estrategia de cómo manejar el accidente	Causa.- <u>Cultura de la seguridad</u> Nueva estrategia de cómo garantizar la seguridad en las organizaciones.	Causa.- <u>Fenómeno natural mayor de lo previsto</u> Nueva estrategia: posiblemente de cómo manejar accidentes no previstos y superiores a las bases de diseño.

En la Figura 1.5 se puede observar cuál fue el impacto que tuvieron estos accidentes sobre el público en general; pese a que en todos ellos hubo exposición a la radiación, no todos sufrieron un daño físico y eso se ve reflejado en el total obtenido, donde aproximadamente un 40% sufrió alguna lesión seria mientras que el resto tuvo una exposición involuntaria a las radiaciones, pero sin tener consecuencias graves [3, 17-21].

En la Figura 1.6 se aprecian las muertes registradas en los diferentes tipos de instalaciones nucleares; como se ve la mayoría de las muertes ocurridas fueron posteriores a los accidentes mientras que aquellas que fueron de forma inmediata a causa de la radiación son las mínimas con alrededor del 15% de todos los accidentes registrados [3, 17-21]. Como también se puede ver, en los accidentes que tienen que ver con ensamble crítico (A-R) y con dispersión de material radiactivo (A-dMR) no se registró muerte alguna [3, 17-21].

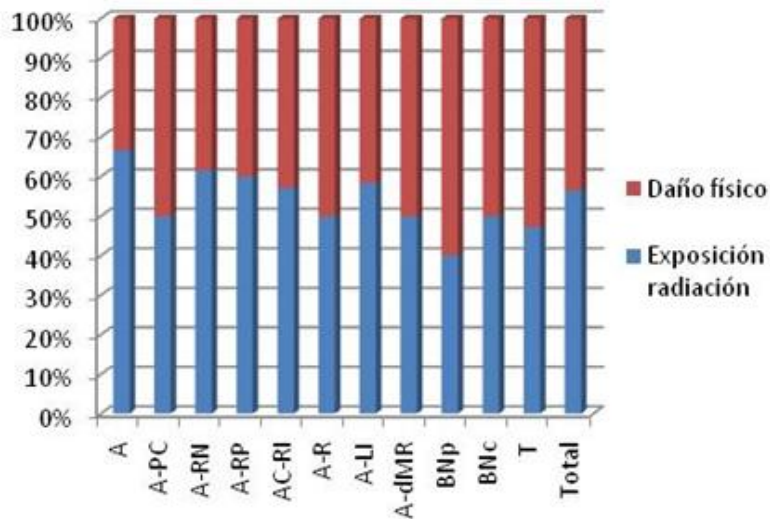


Figura 1.5. Impacto de los accidentes en personas [3].

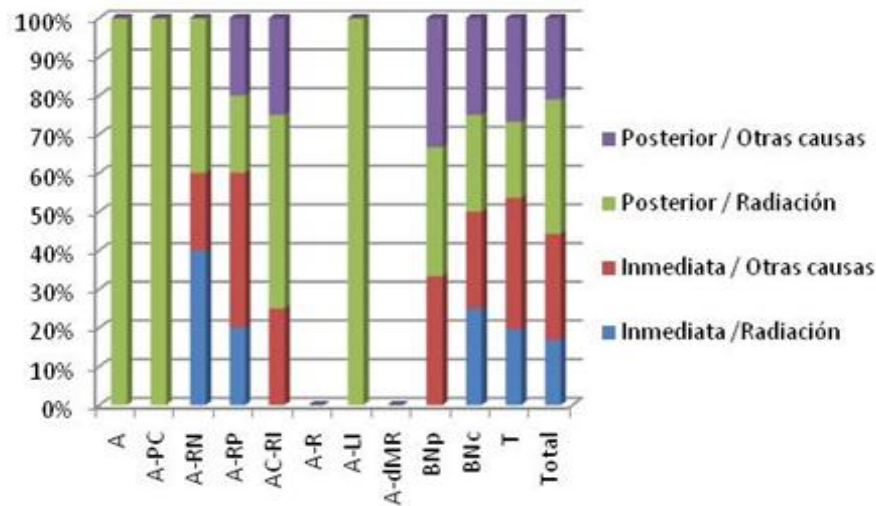


Figura 1.6. Muertes inmediatas o posteriores según el tipo de instalación, donde ocurrieron los accidentes [3].

En la Figura 1.7 se puede apreciar en que continente se tuvieron más accidentes nucleares dependiendo del tipo de instalación. La mayoría de desastres ocurridos fueron en Europa alcanzando en total un 60%, América se ubica en segundo lugar con el 20%, Asia con 19% y África con 1%. Cabe resaltar que de las 11 categorías registradas, 3 de ellas tuvieron accidentes en 3 de los 5 continentes (Europa, América y Asia) [3, 17-21].

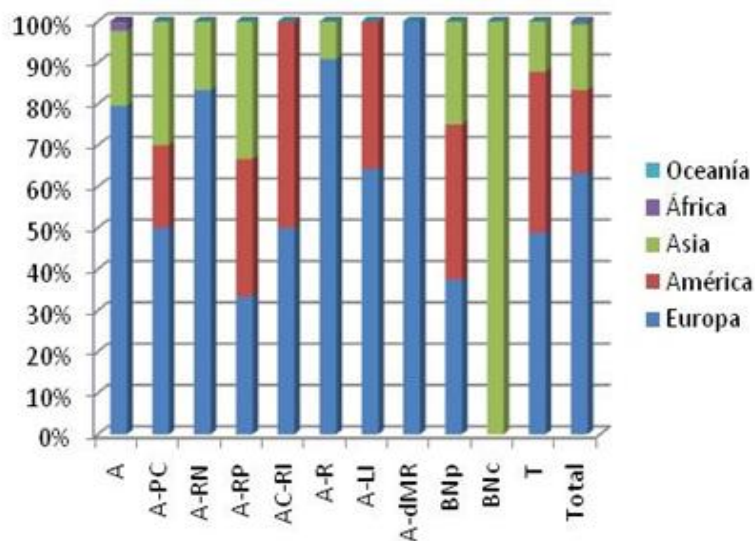


Figura 1.7. Incidencia de accidentes nucleares por localización geográfica [3].

La Figura 1.8 muestra la cantidad de accidentes nucleares que ocurrieron en distintas décadas desde 1945 hasta la fecha. La mayoría de éstos fueron de 1976 a 1985, posterior a esta década, se redujo considerablemente el número de accidentes ocurridos con lo cual podemos decir que se han mejorado una infinidad de aspectos en las distintas instalaciones nucleares desde entonces [3, 17-21].

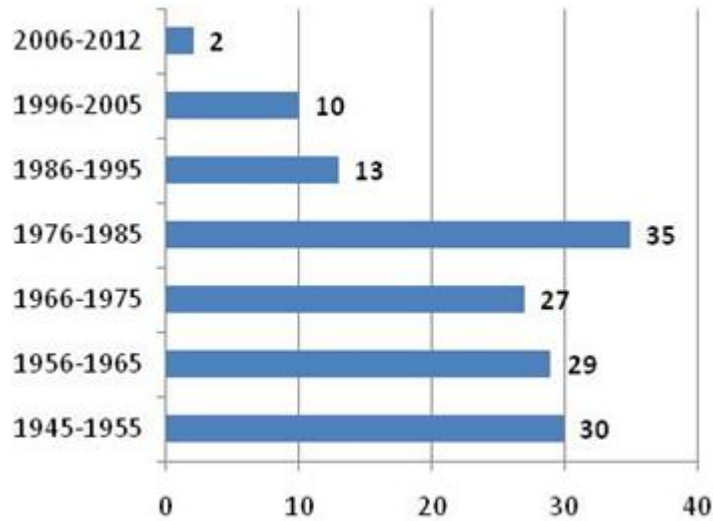


Figura 1.8. Incidencia de accidentes nucleares por década [3].

Lecciones aprendidas

Las principales lecciones aprendidas de estos 3 accidentes son: la importancia del factor humano debido a una falta de capacitación, la necesidad de diseños más innovadores y mayor tecnología para la operación, control y vigilancia de las instalaciones nucleares; la necesidad de realizar análisis probabilísticos de seguridad más detallados para casos de accidentes poco probables y su impacto; la necesidad de tener mayor instrumentación específica para evaluar las condiciones radiológicas durante y post-accidentes; una revisión detallada de los procedimientos y el programa de emergencia radiológico externo de cada instalación, etc. [3]

1.3 Principios generales de los procedimientos de desincorporación

De la experiencia de accidentes radiológicos y nucleares, en aquellos casos donde ocurrió la contaminación interna de trabajadores o público, se procedió a realizar un tratamiento médico personalizado empleando diferentes técnicas de desincorporación de radionúclidos como se indica a continuación:

- Reducción y/o inhibición de absorción del radionúclido en el tracto gastrointestinal. Por ejemplo el lavado gastrointestinal.
- Bloqueo de la absorción del órgano de interés. Ejemplo: Administración de tabletas de yoduro de potasio (KI) para bloqueo de la glándula tiroides, 4 horas antes de la exposición a un ambiente con presencia no deseada de I-131.
- Dilución isotópica. Ejemplo: Administrar suero vía intravenosa para aumentar el líquido de hidratación, en el caso de contaminación interna con H-3.
- Alteración química de la sustancia. Ejemplo: Prevenir la formación de iones de uranio en los riñones, empleando el bicarbonato de sodio.
- Desplazando el radionúclido del receptor. Ejemplo: Administrando oralmente iodo estable para desplazar al Tc-99m.
- Técnicas de quelación tradicional. Ejemplo: Administrando el quelante DTPA para desincorporación interna del plutonio.
- Descontaminación rápida de radionúclidos en el caso de heridas, con el propósito de minimizar la absorción.
- Lavado broncoalveolar para los casos graves de contaminación con partículas radiactivas insolubles inhaladas.

Hay cerca de 3000 núclidos, pero solo unos cuantos son considerados de importancia para la contaminación interna, en aplicaciones en medicina, industria e investigación.

1.4 Justificación

En México se tienen instalaciones nucleares y radiactivas (hospitales, industria y laboratorios de investigación) funcionando, las cuales en el caso de ocurrir un accidente pueden dispersar material radiactivo, presentándose los riesgos de exposición externa a la radiación, contaminación externa y contaminación interna de trabajadores o público en general [4, 22, 23].

Existen algunos casos de accidentes radiológicos o nucleares graves, cuya magnitud puede sobrepasar las fronteras de los países y aumentar la probabilidad de contaminación externa e interna de personas. La respuesta a este tipo de accidentes requiere de grupos interdisciplinarios altamente especializados y de actuación inmediata [1-3].

Por lo anteriormente expuesto, se requiere tener un grupo de profesionales con los conocimientos teóricos y de actuación, para la atención integral de estas emergencias en base a las recomendaciones internacionales.

En México existen muy pocas personas con conocimientos en emergencias radiológicas y nucleares. Cabe resaltar que existe solo un hospital (Veracruz) con 2 médicos que han recibido capacitación limitada sobre la atención de lesionados irradiados y contaminados. Adicionalmente, la autoridad reguladora en México no tiene un documento oficial donde se listen metodologías específicas para la atención clínica de trabajadores o público con contaminación interna con radionúclidos de vida media intermedia y larga, y que requiera

realizar un tratamiento de desincorporación con el propósito de disminuir la dosis absorbida a las personas [2, 3, 23].

Se requiere identificar y proponer metodologías de desincorporación radiológica en personas relacionadas con accidentes nucleares y radiológicos, en función del tipo de accidente, el radionúclido, la radiotoxicidad, la vida media, la rapidez de dosis absorbida, el órgano blanco y el estado clínico del paciente.

1.5 Delimitación del problema

En México no se cuenta con un documento oficial donde se listen metodologías específicas para la atención clínica de trabajadores o público con contaminación interna derivada de un accidente nuclear o radiológico y que requiera realizar un tratamiento de desincorporación con el propósito de disminuir la dosis absorbida a las personas [2, 3].

Por consiguiente, es necesario proponer diferentes metodologías para acelerar la desincorporación de radionúclidos en personas relacionadas con accidentes nucleares y radiológicos, en función de las características fisicoquímicas del radionúclido, la estimación de dosis absorbida, la vía de incorporación al cuerpo humano, el órgano blanco, el estado clínico de la persona y el tiempo de haber ocurrido el accidente [22-23].

Capítulo 2

Hipótesis y Objetivos

2.1 Hipótesis

Los compuestos quelantes son útiles en protocolos clínicos para acelerar la desincorporación de material radioactivo en personas que presentan evidencia de contaminación interna generada por un accidente radiológico o nuclear.

2.2 Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Proponer metodologías de desincorporación radiológica en personas relacionadas con accidentes radiológicos y nucleares, en función del tipo de radionúclido, la radiotoxicidad, el tipo de radiación y su energía, el compuesto químico, la vida media del radioisótopo, el órgano crítico, la rapidez de dosis absorbida, las características del accidente, así como el estado clínico del paciente.

2.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales radionúclidos presentes en accidentes nucleares y radiológicos, con probabilidad de producir contaminación interna.
- Identificar los procesos de incorporación de los principales radionúclidos y su absorción en órganos o tejidos específicos del cuerpo humano.
- Proponer metodologías para el tratamiento médico personalizado, empleando diferentes técnicas de desincorporación radiológica y su atención hospitalaria.

2.3 Metas

- Clasificar los accidentes nucleares y radiológicos, asociados a la dispersión de material radiactivo y los riesgos de exposición de trabajadores o público, a la irradiación externa y la contaminación externa o interna por las vías de inhalación, ingestión o absorción.
- Seleccionar los principales radionúclidos presentes en accidentes nucleares y radiológicos, con probabilidad de producir contaminación interna.
- Analizar los procesos de incorporación de los principales radionúclidos y su absorción en órganos o tejidos específicos del cuerpo humano.
- Analizar las metodologías de desincorporación radiológica en función del tipo de radionúclido, la radiotoxicidad, el tipo de radiación y su energía, el compuesto químico, la vida media del radioisótopo, el órgano crítico, la rapidez de dosis absorbida, las características del accidente, así como el estado clínico del paciente.
- Proponer una organización administrativa de un hospital de referencia para la atención clínica de personas relacionadas con accidentes nucleares y radiológicos, incluyendo la definición de las responsabilidades del personal médico hospitalario involucrado para estos casos.
- Enviar un artículo para revista y presentar un trabajo en congreso.

2.4 Metodología de tesis

1. Revisar la bibliografía especializada (artículos científicos, informes técnicos o bases de datos) en relación con la atención médica de accidentes nucleares y radiológicos a nivel mundial, y asociados a casos de desincorporación radiológica de personas.
2. Clasificar los accidentes nucleares y radiológicos, asociados a la dispersión de material radiactivo y los riesgos de exposición de trabajadores o público, a la irradiación externa y la contaminación externa o interna por las vías de inhalación, ingestión o absorción.
3. Analizar el archivo de salida de una simulación con el código ORIGEN para identificar los principales radionúclidos presentes en accidentes nucleares, y seleccionar aquellos con probabilidad de producir contaminación interna.
4. Analizar la base de datos de accidentes radiológicos y seleccionar aquellos que presentan un riesgo de contaminación interna de personas.

5. Identificar y analizar los procesos de incorporación de los principales radionúclidos y su absorción en órganos o tejidos específicos del cuerpo humano.

6. Identificar y clasificar las principales metodologías de desincorporación radiológica en función del tipo de radionúclido, la radiotoxicidad, el tipo de radiación y su energía, el compuesto químico, la vida media del radioisótopo, el órgano crítico, la rapidez de dosis absorbida, las características del accidente, así como el estado clínico del paciente.

7. Proponer una organización administrativa de un hospital de referencia para la atención clínica de personas relacionadas con accidentes nucleares y radiológicos, incluyendo las responsabilidades del personal médico involucrado en estos casos.

Capítulo 3

Procesos de Incorporación

3.1 Etapas de la contaminación radiactiva interna

La contaminación radiactiva interna se produce cuando una sustancia radiactiva penetra en el organismo a través de diferentes vías: inhalación, ingestión y por absorción por piel.

La contaminación interna comprende cuatro etapas sucesivas:

3.1.1. Deposición en la puerta de entrada

Las vías posibles de entrada del contaminante son:

- Piel sana
- Heridas
- Mucosas
- Tubo digestivo
- Aparato respiratorio

Las dos últimas constituyen las vías de contaminación más frecuentes, sin embargo, debemos considerar también los accidentes por otras vías como la intravenosa.

3.1.2. Transferencia

Movimiento del contaminante desde el punto de deposición a la sangre o en forma genérica, al líquido extracelular.

3.1.3. Deposición en el órgano blanco

El órgano crítico puede ser definido como el órgano en el cual el daño por radiación constituye el mayor daño para el organismo. Por razones fisiológicas o físico-químicas el factor determinante es la concentración del radionúclido.

3.1.4. Eliminación

Se puede producir en dos mecanismos distintos:

- I. Eliminación directa: ejemplo por filtración renal de sangre que contiene el radionúclido (excreción urinaria directa) y eliminación directa por heces.
- II. Eliminación indirecta: por recirculación a partir de los tejidos, después de la inversión de la relación de concentraciones entre los tejidos y la sangre (excreción urinaria indirecta) o por eliminación a través de la bilis y otras secreciones digestivas [24].

Estos dos mecanismos pueden coexistir en forma variable, dependiendo del elemento contaminante.

3.2 Elementos transferibles y no transferibles

Basándose en su comportamiento en el material biológico, los radionúclidos pueden ser clasificados en dos categorías:

- Elementos transferibles
- Elementos no transferibles

3.2.1. Elementos transferibles

- Son solubles en el material biológico y pueden difundirse por todo el organismo.
- Pueden ser absorbidos en el aparato digestivo.
- La cantidad total incorporada puede pasar rápidamente a través de varias etapas metabólicas que conduce al depósito en el órgano crítico.
- Se encuentran usualmente presentes en el organismo en la forma fisiológica como un isótopo estable (ejemplo yodo) o como un elemento químico análogo (ejemplo los complejos cesio-potasio o estroncio-calcio). Su comportamiento biológico, particularmente su deposición en el órgano crítico, depende del metabolismo del análogo fisiológico correspondiente. De esta manera el yodo se acumula en la tiroides, el cesio en músculo, mientras que el estroncio y radio siguen el destino del calcio en la hidroxiapatita ósea.
- Son cationes minerales de valencia I o II cuya difusión está en relación con su forma disociada, iónica, en el pH de la materia viva.
- Entre estos elementos hay dos grandes familias de cationes que tienen metabolismos diferentes: [24, 28, 54]
 - **Alcalinos** (sodio, cesio, potasio): se difunden en todo el organismo.
 - **Alcalinos térreos** (calcio, estroncio, bario): se acumulan en la estructura ósea.

3.2.2. Elementos no transferibles

- No responden a los criterios enunciados anteriormente por distintas razones.

- No existen en estado natural en el organismo ni tienen análogos.
- Algunos compuestos son insolubles a todos los pH, como ciertos óxidos calcinados a alta temperatura.
- Prácticamente no se difunden en el organismo, el órgano de retención es la puerta de entrada. Sin embargo siempre hay alguna difusión local, no obstante pequeña (ejemplo: óxido de plutonio).
- Algunos son solubles solamente a pH ácidos, como ciertas sales que se hidrolizan con el aumento del pH para dar hidróxidos que se polimerizan en el lugar. Para estos elementos los órganos críticos y tejidos de importancia son, además de la puerta de entrada, generalmente el hígado y la superficie ósea (ejemplo: nitrato de plutonio).
- Estos elementos no transferibles son en general cationes minerales de valencia igual o superior a III. Los ejemplos más importantes son las tierras raras, plutonio y transplutónidos.
- Su insolubilidad en el organismo desaparece cuando están en la forma complejada y el complejo es estable y soluble. El destino biológico es ahora el del complejo (el del agente quelante) y no el del elemento. Esta propiedad es fundamental desde el punto de vista terapéutico. Un complejante utilizado es el DTPA (ácido dietilentriaminopentaacético) y el complejo formado puede ser eliminado a través del riñón, evitando así una deposición prolongada en el hígado o en el hueso.
- Hay que tener presente que la solubilidad es relativa y está en directa dependencia del medio. El medio varía de acuerdo al órgano considerado, desde el punto de vista del pH y del potencial redox. Por ejemplo, un elemento inhalado en forma insoluble, puede ser hecho absorbible a nivel del tubo digestivo por dilución en el medio ácido del estómago. A la inversa, un elemento soluble puede ser hecho completamente insoluble en el aparato digestivo por alcalinización a nivel del duodeno con formación de hidróxidos insolubles [24, 25].

En conclusión, la absorción se produce rápidamente, ya sea que se trate de un radionúclido transferible absorbido en su totalidad o se trate de un radionúclido no transferible absorbido solo parcialmente y aunque en mínima medida. Debido a que la transferencia al órgano crítico es contemporánea a la absorción y que las técnicas actuales para acelerar la eliminación son generalmente ineficaces, el éxito de la terapia está directamente relacionada a la rapidez con que se efectúa el tratamiento.

3.3 Modelos para representar la ingesta, transferencia y la excreción de material radiactivo

El conocimiento de los comportamientos de materiales radiactivos dentro del cuerpo humano es esencial para la interpretación de las mediciones de actividad en el cuerpo o la excreción en términos de la ingesta y la dosis efectiva comprometida.

El siguiente diagrama muestra de manera general el modelo de las rutas de ingesta de radionúclidos y sus posteriores transferencias dentro del cuerpo, también es usado para

calcular el contenido de radionúclidos en el cuerpo u órganos, la excreción diaria urinaria y fecal en tiempos específicos después de la ingesta.

Este modelo fue desarrollado con énfasis en la retención a largo plazo en los compartimentos en los cuales domina la dosis comprometida [25], por lo tanto, no puede producir estimaciones confiables de las cantidades de bioensayo, particularmente en los primeros instantes después de la ingesta. También deberá señalarse que existe un margen para la variabilidad individual en los resultados debidos a las diferencias en el cuerpo como son la masa, la edad y otros factores.

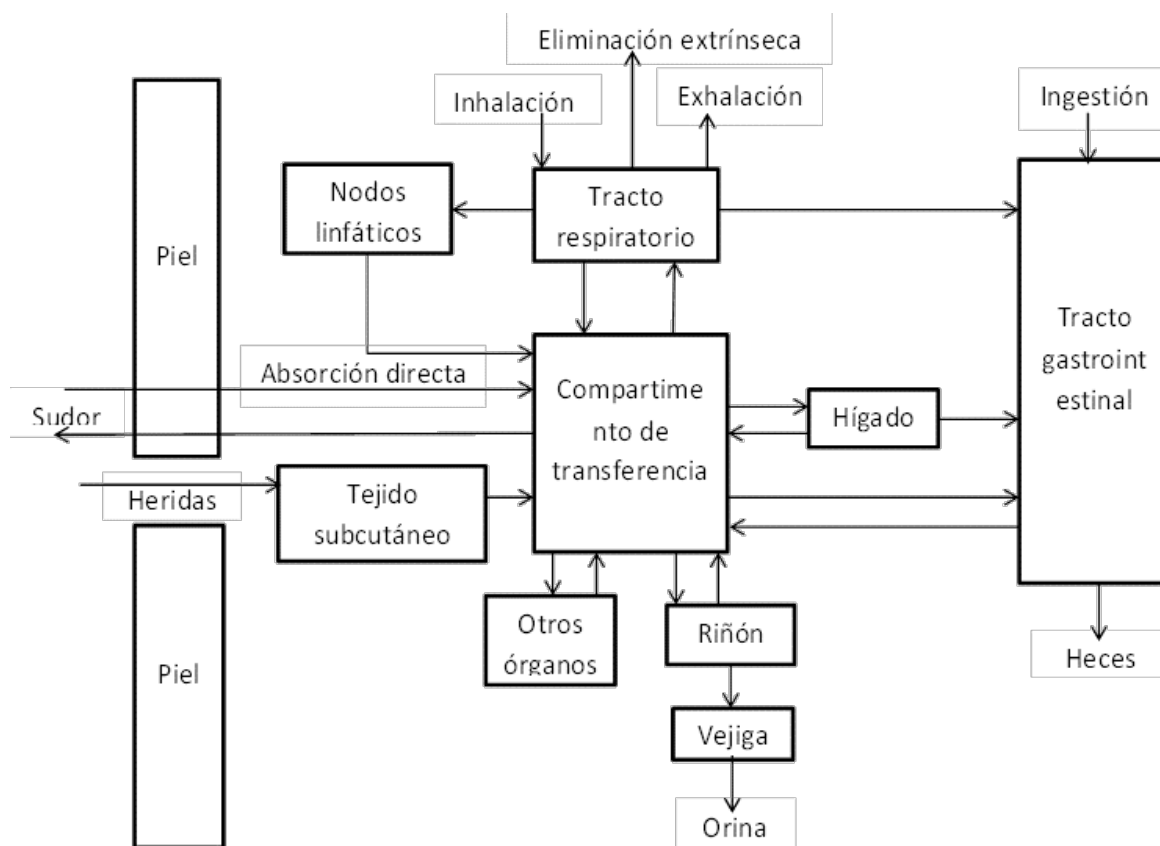


Figura 3.1. Modelo que representa las vías de ingestión, la transferencia y excreción de materiales radiactivos.

En la Figura 3.1 se resumen las vías de ingesta, transferencias internas y vías de excreción. El tracto respiratorio, el tracto gastrointestinal, la piel intacta y las heridas son las principales vías de entrada al organismo. Una proporción de la actividad es absorbida por la sangre. La actividad que alcanza los fluidos corporales (compartimento de transferencia) de esta manera se conoce como material sistémico. La actividad entonces experimenta varias y complejas transferencias que determinan su distribución dentro del cuerpo y su ruta y velocidad de eliminación. La distribución de la actividad sistémica en el cuerpo puede ser

difusa y relativamente homogénea (por ejemplo con el agua tritiada) o localizada en ciertos órganos o tejidos, por ejemplo con yodo (tiroides), metales alcalinotérreos (hueso), plutonio (hueso e hígado) [25].

La eliminación del material radiactivo incorporado en el cuerpo se produce principalmente por la excreción urinaria y fecal. La excreción urinaria es la eliminación en la orina de material radiactivo desde el plasma y fluido extracelular. La excreción fecal tiene dos componentes: la excreción fecal sistémica la cual representa la eliminación del material sistémico vía el tracto gastrointestinal; y la excreción fecal directa en la que pasa el material radiactivo no absorbido a través del tracto gastrointestinal [25].

Los modelos para la mayor ruta de ingesta (inhalación e ingestión) son descritos en la siguiente sección. Para algunos radionúclidos, es necesario considerar la ingesta directa de la contaminación en la piel. La piel puede ser contaminada por contacto con aerosoles, líquidos o superficies contaminadas con radionúclidos. La ropa puede ser una importante fuente de contaminación de la piel y la ropa húmeda puede llevar al contaminante en estrecho contacto con la piel, aumentando la posibilidad de penetración a través de la piel. No hay un modelo general de entrada de radionúclidos a través de la piel debido a la gran variabilidad de situaciones que pueden ocurrir. Muchos factores deben tomarse en cuenta: la forma química del componente, la localización y el área de la superficie contaminada así como el estado fisiológico de la piel. La piel intacta es una buena barrera contra la entrada de una sustancia en el cuerpo. Generalmente, los radionúclidos no atraviesan la piel intacta en alguna medida significativa. Sin embargo, unos pocos elementos pueden transferirse rápidamente: el más importante es el agua tritiada, el yodo también puede ser absorbido a través de la piel, pero en menor medida [25].

3.3.1. Modelo del tracto respiratorio

El modelo del tracto respiratorio representado en la Figura 3.2, está representado por las siguientes regiones:

1. La extratorácica (ET)
 - a. Pasaje nasal anterior (ET_1)
 - b. Pasaje nasal posterior (ET_2)
 - c. Pasaje oral (ET_2)
 - d. Faringe (ET_2)
 - e. Laringe (ET_2)
2. Torácica
 - a. Tráquea y bronquios (BB)
 - b. Bronquiolar (bb)
 - c. Intersticial alveolar (AI)
3. Tejido linfático
 - a. Extratorácico (LN_{ET})
 - b. Torácico (LN_{TH})

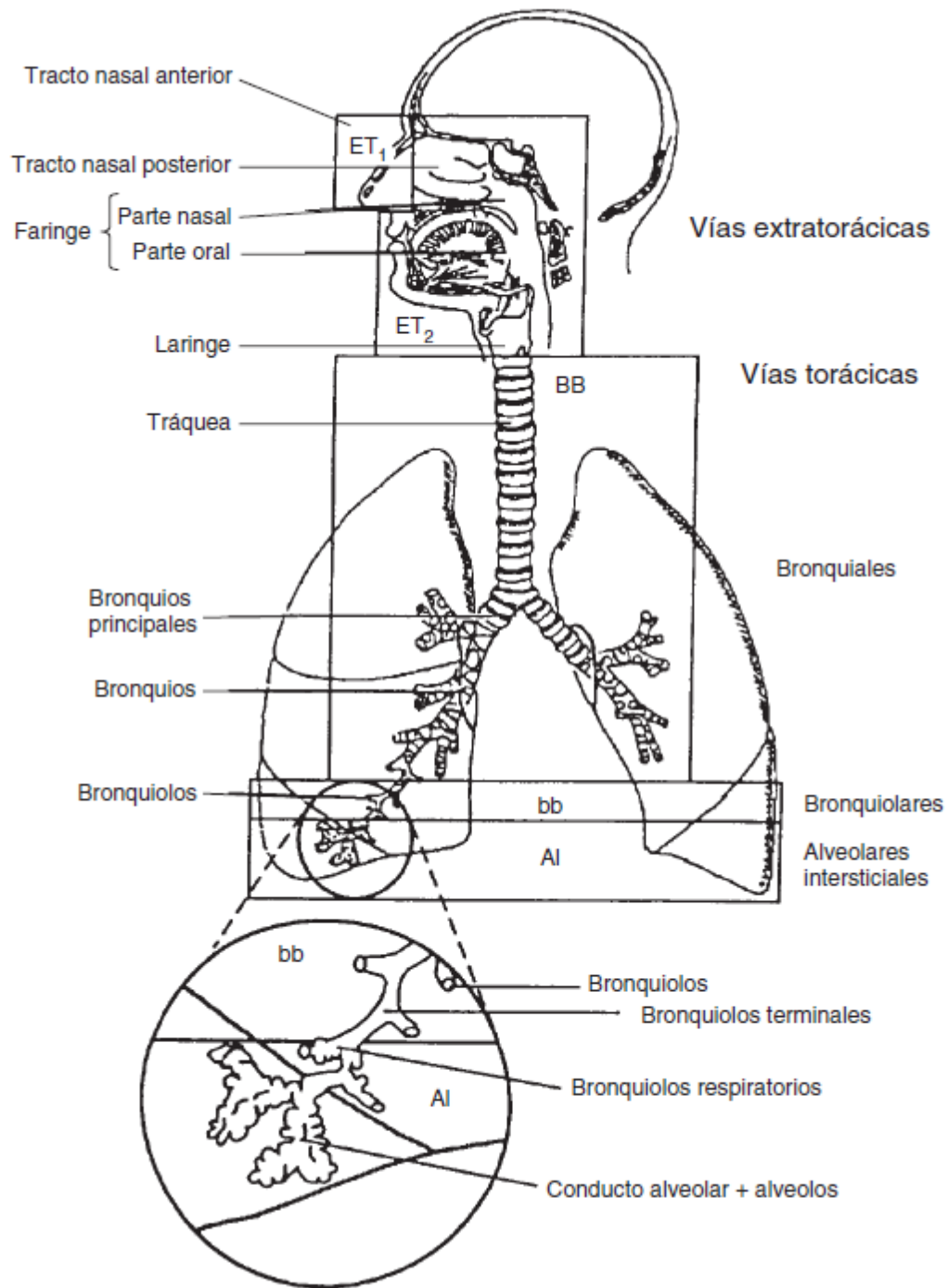


Figura 3.2. Modelo del tracto respiratorio [54].

Modelo de deposición [25, 54]: el modelo de deposición evalúa la deposición fraccional de un aerosol en cada región, para todos los tamaños de aerosoles de interés práctico (0.6nm – 100 μ m). Para las regiones ET, las medidas de eficiencia de la deposición están relacionadas a los parámetros característicos de tamaño de la partícula y flujo de aire, y son escaladas para las dimensiones anatómicas para predecir la deposición bajo otras condiciones (como por ejemplo: género o grupo étnico). Para la vía respiratoria torácica un modelo teórico de transporte de gas y uno de deposición es usado para calcular la deposición de las partículas en cada una de las regiones BB, bb, y AI, y para cuantificar los efectos del tamaño de los pulmones de los sujetos y frecuencia respiratoria. Para el modelo de deposición de partículas, las regiones son tratadas como una serie de filtros, durante ambos la inhalación y la exhalación. La eficiencia de cada una es evaluada considerando la aerodinámica (sedimentación gravitacional, los impactos inerciales) y los procesos termodinámicos que actúan competitivamente.

Modelo de eliminación: este modelo describe varias rutas de eliminación del tracto respiratorio (Figura 3.3). El material depositado en ET₁ es eliminado por medios extrínsecos tal como sonarse la nariz. En otras regiones la eliminación esta competida entre el movimiento de partículas hacia el tracto gastrointestinal y los nodos linfáticos (transporte de partículas), y la absorción en sangre del material de las partículas en el tracto respiratorio. La velocidad de eliminación debido al transporte de partículas y la absorción en sangre son tomadas de forma independiente [25, 54].

Se supone que la velocidad de transporte de partículas son las mismas para todos los materiales. Un modelo de compartimento único se proporciona por tanto para describir el transporte de partículas para todos los materiales (Figura 3.4). Los valores de referencia de las constantes de velocidad son derivadas, en medida de lo posible, de estudios en humanos, ya que las velocidades del transporte de partículas son conocidas para una gran variedad de especies de mamíferos.

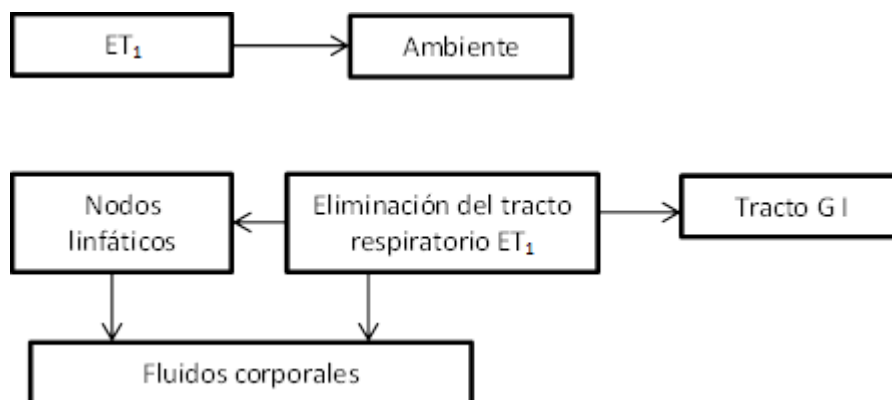


Figura 3.3. Rutas de eliminación del tracto respiratorio.

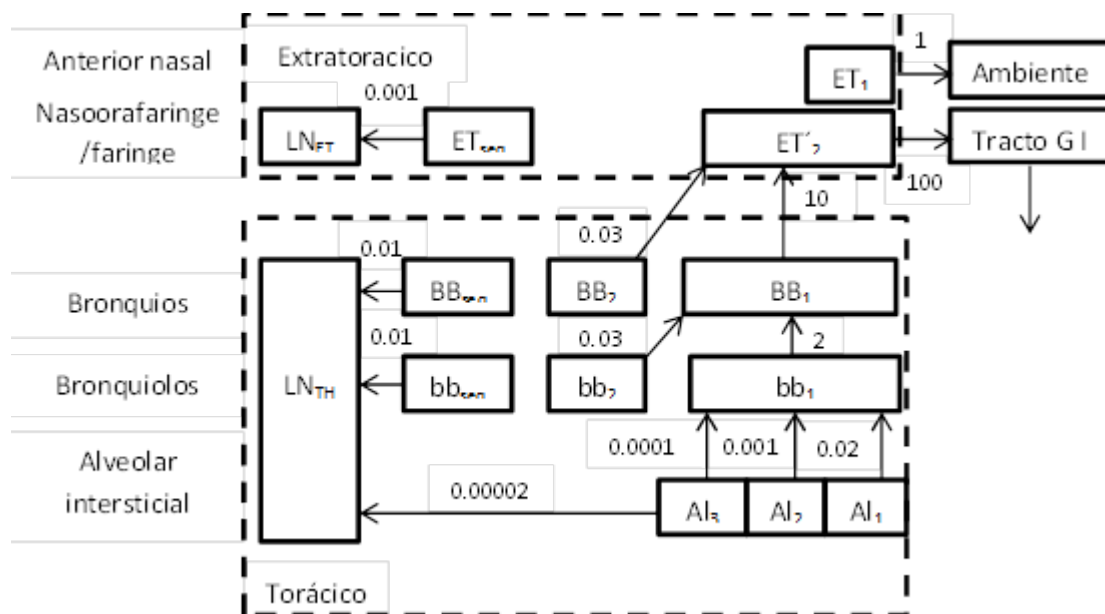


Figura 3.4. Modelo compartimental que representa el transporte de partículas dependiente del tiempo de cada región del tracto respiratorio. Se muestran las velocidades junto a las flechas en unidades de d^{-1} , donde d son los días [25].

En la Figura 3.4 el modelo describe la retención y eliminación de un material completamente insoluble. Sin embargo, como se señaló anteriormente, hay en general una absorción simultánea en sangre.

La absorción en sangre depende de la forma física y química del material depositado, se supone que ocurre a la misma velocidad en todas las regiones (incluyendo los nodos linfáticos) excepto en ET_1 , donde se supone que no ocurre. La absorción es un proceso de dos estados:

1. La disociación de las partículas en materiales que puedan ser absorbidos en la sangre (disolución).
2. La absorción en sangre de materiales solubles y de materiales con partículas disociadas (captación).

Para tener en cuenta la dependencia del tiempo de la disolución, se supone que una fracción del material depositado se disuelve relativamente rápido, y el resto se disuelve más lentamente, como se representa en la Figura 3.5. En el modelo, el material depositado en el tracto respiratorio es asignado a los compartimentos etiquetados como “partículas en estado inicial” en el cual se disuelve a una velocidad constante s_p . El material es simultáneamente transferido (a una velocidad s_{pt}) a un compartimento correspondiente etiquetado como “partículas en estado transformado” en los cuales tiene una velocidad de disolución, s_t . (La razón de s_p a s_{pt} se aproxima a la fracción que es disuelta rápidamente). En situaciones diferentes, las “partículas en estado transformado” pueden representar el material residual seguido de la disolución de un componente relativamente soluble o de una capa superficial, o material tomado por macrófagos [25, 54].

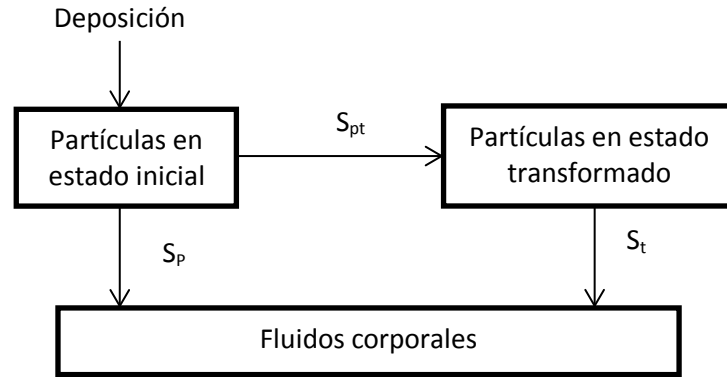


Figura 3.5. El modelo compartimental que representa la dependencia del tiempo de la disolución en el tracto respiratorio seguido a la transferencia instantánea a la sangre (ICRP, 1994a).

En el ICRP publicación 78 [25] se recomienda que la velocidad de absorción de materiales específicos pueda ser usada en el modelo del tracto respiratorio para los compuestos para los cuales existen datos experimentales seguros para animales o humanos. Para otros componentes, los parámetros predeterminados son recomendados de acuerdo a si la absorción es considerada rápida (tipo F), moderada (M), o lenta (S). Los valores recomendados para cada uno son especificados en términos de los parámetros S_p , S_{pt} , y S_t , que están dados en la Tabla 4. El estado "límite" no está involucrado para los parámetros predeterminados, es decir, $f_b = 0$ para los tres tipos.

Tabla 4. Velocidades de absorción predeterminada para tipos de materiales F, M, y S.

Tipo	F (rápido)	M (moderado)	S (lento)
Parámetros del modelo (d^{-1})			
S_p	100	10	0.1
S_{pt}	0	90	100
S_t		0.005	0.0001

Esas velocidades de absorción, expresadas como una media de tiempos aproximados, y las cantidades correspondientes de material depositado en cada región que alcanza los fluidos del cuerpo pueden resumirse como:

- Tipo F: 100% de absorción con una media de tiempo de 10 min. Hay una rápida absorción de casi todo el material depositado en BB, bb, y AI, y 50% de material depositado en ET₂ es transferido al tracto GI por transporte de partículas.
- Tipo M: 10% de absorción con una media de tiempo de 10 min. Y 90% con una media de vida de 140 días. Hay una rápida absorción de cerca del 10% de los depósitos en BB y en bb; y 5% de materiales depositados en ET₂. Cerca del 70% depositado en AI eventualmente llega a los fluidos del cuerpo.

- Tipo S: el 0.1% es absorbido con una media de tiempo de 10 min y 99.9% con una media de tiempo de 7 000 días. Hay una pequeña absorción de ET, BB, o bb, y cerca del 10% de los depósitos en AI eventualmente llegara a los fluidos de cuerpo.

Para los 3 tipos de absorción, todos los materiales depositados en ET₁ son eliminados por medios extrínsecos. La mayor parte de los materiales depositados que no son absorbidos son eliminados al tracto GI por el transporte de partículas. Las cantidades pequeñas transferidas a los nodos linfáticos continuaran siendo absorbidas en los fluidos del cuerpo a la misma velocidad que en el tracto respiratorio [25, 54].

Gases y vapores.

Para los radionúclidos inhalados en forma de partículas se supone que la entrada y la deposición en el tracto respiratorio son gobernadas por la distribución de tamaños de las partículas de aerosol. La situación es diferente para gases y vapores, para los cuales los radionúclidos tienen un comportamiento específico en su sitio de entrada al tracto respiratorio, dependiendo de la química del compuesto.

Para este reporte, el comportamiento para los gases y vapores de la publicación 30 se ha mantenido, pero es representado usando el formalismo de la publicación 66. El nuevo modelo asigna tres clases a los gases y vapores.

- Clase SR-1 (soluble o reactiva). Se toma en cuenta la retención en los tejidos del tracto respiratorio, y la captación de la circulación sistémica, la cual puede ser menos del 100% de la actividad inhalada.
- Clase SR-2 (altamente soluble o reactiva). Para el ejemplo considerado aquí, se registra una absorción sistémica completa e instantánea de la actividad inhalada.
- Clase SR-0 (insoluble y no reactiva). Se consideran la irradiación externa de la sumersión en la nube de gas, y la radiación interna a partir del gas dentro del tracto respiratorio.

3.3.2. Modelo para el tracto gastrointestinal

Los materiales que pueden llegar al tracto gastrointestinal pueden ingresar directamente por ingestión e indirectamente por la transferencia del tracto respiratorio, o por transferencia de otros órganos del cuerpo.

El tracto gastrointestinal está representado por 4 secciones (Figura 3.6), cada sección está representada como un único compartimento y la translocación de un compartimento al siguiente se supone es gobernada por la cinética de primer orden, con una velocidad constante, λ , para la transferencia entre compartimentos. En este modelo el intestino delgado se supone es el sitio de absorción del tracto gastrointestinal para los fluidos del cuerpo. La velocidad constante, λ_B , para la transferencia de actividad al fluido sistémico del

cuerpo puede ser estimada de f_i , la fracción del elemento estable alcanzado por los fluidos del cuerpo seguidos de la ingestión.

$$\lambda_B = \frac{f_i \lambda_{SI}}{1 - f_i}.$$

Los valores de f_i son dados en el anexo “datos de monitoreo para radionúclidos individuales, ICRP 78” [25], para un número de componentes de cada elemento.

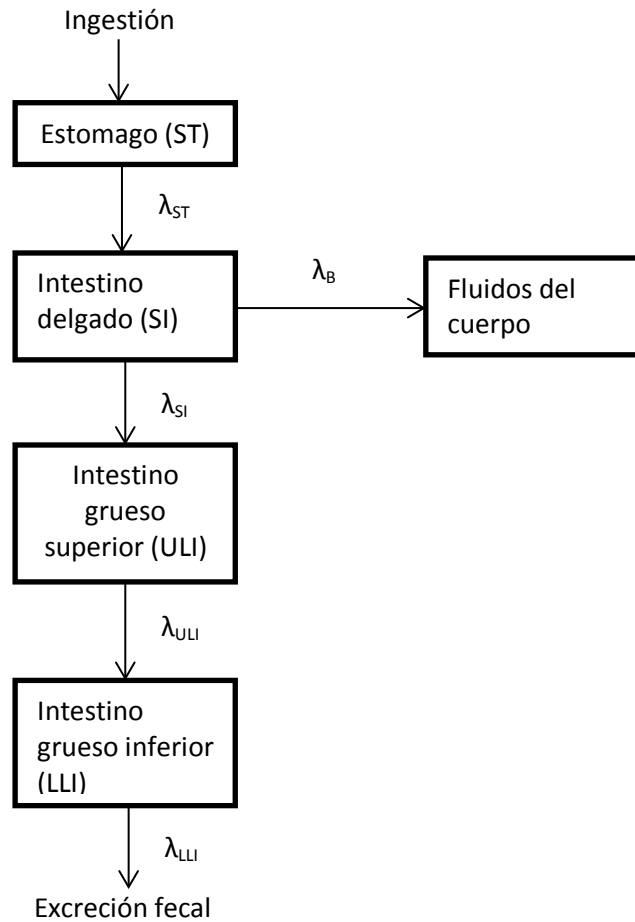


Figura 3.6. El modelo matemático usado describe la cinética de los radionúclidos en el tracto gastrointestinal.

Capítulo 4

Métodos de Dosimetría Interna

En una acción de emergencia provocada por un accidente donde se presente una incorporación de radionúclidos, realizados o no los primeros auxilios, el contaminado debe ser trasladado al servicio médico. Donde el médico llevará a cabo entre sus acciones primordiales, la toma de muestras necesarias para el diagnóstico definitivo de contaminación interna y posterior evaluación clínica, así como también determinará qué exámenes especiales se deben realizar, como conteo de cuerpo entero o conteo directo de órganos en particular, etc. [24]

La gravedad de la contaminación depende de muchos factores, por ello, se deberá obtener información sobre los radionúclidos implicados en el accidente y de la magnitud de las cantidades implicadas en la incorporación de material radioactivo. Estos puntos son vitales a la hora de elegir un tratamiento de desincorporación.

La radiación es totalmente imperceptible a nuestros sentidos, no tiene color, no tiene sabor, no tiene olor. Sin embargo, existen diferentes aparatos diseñados para detectar sus efectos con la materia y medir la magnitud de la radiación con cierta precisión (véanse Figuras 4.1 – 4.3).



Figura 4.1. Detectores de exposición (mR/h): Rx, gamma y betas con altas energías. Solo realiza una medición cualitativa.



Figura 4.2. Detector de contaminación (cuentas/min): el detector es de (BF_3) , detecta gammas, betas, neutrones.



Figura 4.3. Equipo de dosimetría de cuerpo entero ACCUSCAN II.

Contrariamente a lo que ocurre en el caso de la exposición externa, las dosis en un accidente que produzca una incorporación de radionúclidos no son entregadas en el momento mismo del accidente sino posteriormente, durante el tiempo de presencia del radionúclido en el organismo. Las dosis internas se evalúan de manera distinta a las dosis externas, entre las diferencias que hay entre ambas es que mientras las dosis externas pueden medirse, las dosis internas se calculan; y en la contaminación interna las dosis son dosis comprometidas calculadas por una actividad de un material radioactivo presente en un momento en particular.

Dependiendo de la naturaleza del radionúclido, la determinación de la carga corporal se puede realizar mediante:

- Dosimetría *in vivo*
 - ✓ Dosimetría de Cuerpo Entero
 - ✓ Dosimetría de Cuerpo Fijo
 - ✓ Dosimetría *in vivo* (Citogenética)
- Bioensayo
- Modelos matemáticos de cálculo de dosimetría interna

4.1 Dosimetría *in vivo*

La medición de actividad *in vivo* de cuerpo entero o fijo se puede realizar mediante espectrometría gamma (válida también para ciertos emisores X). La detección es posible sólo si los fotones emitidos tienen una energía superior a unas decenas de keV. La medición puede ser local (herida, tórax, tiroides) o total (conteo de cuerpo total, CTC). Se deberá practicar la descontaminación cutánea previa a la medición para evitar la sobreestimación del nivel de contaminación interna [1, 24].

4.1.1. Dosimetría de cuerpo entero

En la dosimetría de cuerpo entero se realiza un barrido vertical de cuerpo entero con equipos especiales como lo es el Canberra Accuscan II (Figura 4.4). Este equipo cuenta con tres detectores de germanio hiperpuro. El estudio proporciona información sobre la ubicación de los radioisótopos incorporados al cuerpo (a través de su detector scan) y a través de su mecanismo de análisis y su software (ABACOS) identifica y cuantifica los radionúclidos emisores gamma con energía entre 30 y 1,475 KeV. Tiene un tiempo de escaneo de 5-10 minutos, además posee un alcance de cálculo antes de saturarse con una actividad de hasta 5 MBq.



Figura 4.4. Equipo de dosimetría de cuerpo entero ACCUSCAN II, con detectores de germanio hiperpuro que realizan un barrido vertical de cuerpo entero.

Se puede detectar una gran cantidad de isótopos como son por ejemplo: I-131 (8 días, inhalación, ingestión), I-125 (59.3 días, inhalación, ingestión), Tc-99m (6 h, inhalación, ingestión), Am-241 (472.7 años, inhalación, ingestión), Sm-153 (46.3 h, ingestión), Ga-57 (ingestión), Pu-239 (2.41×10^4 años, inhalación, ingestión), Co-60 (5.27 años, ingestión), Mo-99 (2.73 días, ingestión), Cs-137 (30.23 años, ingestión).

Una vez obtenidas las mediciones anteriores y con los factores de conversión del ICRP-30, se determina la fracción retenida, el factor por vía de ingreso, el órgano blanco, el radionúclido y la dosis absorbida.

4.1.2. Dosimetría de Cuerpo Fijo

La dosimetría de cuerpo fijo emplea un equipo con sistema de cuerpo entero tipo sillón, el cual posee detectores de yoduro de sodio para la emisión de gammas, realiza mediciones en tiroides y pulmones con un tiempo de escaneo de 10 a 30 minutos dependiendo del caso. Sin embargo, tiene una mejor eficiencia en la discriminación de energías.

4.1.3. Dosimetría *in vivo* (Citogenética)

La biodosimetría es el uso de una respuesta biológica como indicador de la dosis de radiación. Entre las mediciones que incluye están:

- I. Síntomas y signos
- II. Evaluación de la radiactividad
- III. Hematología
- IV. Dosimetría de personal y de área
- V. Citogenética
- VI. Resonancia electrónica paramagnética (EPR) basado en la evaluación de dosis
- VII. Actividad de la amilasa sérica, C- proteína reactiva, FTL-3 ligando, citrulina, ensayo de proteínas sanguíneas

Citogenética: La biodosimetría citogenética es considerada como el estándar de oro para la determinación de la dosis de radiación a cuerpo entero de un paciente. Se usa para estimar la dosis en base a las aberraciones cromosómicas inducidas por la radiación en linfocitos. Es principalmente aplicable a exposiciones de radiación aguda recientes a cuerpo entero. Debido a un nivel de fondo de los cromosomas dicéntricos en ensayos de linfocitos, la sensibilidad es comparativamente alta, dentro de un umbral de dosis a cuerpo entero de 0.1 a 0.2 Gy (basado en un análisis de 1 000 células), y muestra una fuerte dependencia de la dosis sobre 5 Gy para una exposición aguda de fotones [1, 24].

Un inconveniente es que el método estándar debe medir 500- 100 metafases lo que requiere cerca de 4 a 5 días, incluyendo el tiempo de transporte al laboratorio, procesos y mediciones de las muestras, y la dosis estimada. La mayoría de los contadores podrá evaluar no más de 300 células en metafase por día. Además, las pruebas de triage han demostrado que al medir tan solo 50 células por muestra se pueden producir estimaciones de dosis dentro de +/- 0.5 Gy de la dosis verdadera 9 de cada 10 veces. Este nivel de precisión generalmente se considera suficiente para guiar las decisiones clínicas iniciales de tratamiento.

Otros métodos actualmente usados en dosimetría citogenética incluyen citocinesis de bloques de micronúcleos, translocación cromosómica y las pruebas de condensación cromosómica prematura, véase Figura 4.5. El ensayo de micronúcleos requiere menos experiencia en la medición pero también tiene una frecuencia de fondo más variable que es conocido por ser dependiente de la edad y el sexo del donador de linfocitos. Como los dicéntricos, los micronúcleos son aberraciones inestables que desaparecen con el tiempo. Además, muchos productos químicos pueden inducir micronúcleos. Por esta razón a menudo se utiliza como una prueba de detección toxicológica [1].

El ensayo de translocación: se utiliza principalmente para estimar la dosis de las exposiciones históricas. A diferencia de los dicéntricos y micronúcleos, que se eliminan de la sangre periférica durante un periodo de tiempo relativamente corto, las translocaciones se ha demostrado que persisten durante décadas. Las translocaciones son detectables mediante el uso de un método de citogenética molecular denominado cromosoma “pintura” o

hibridación *in situ* fluorescente (FISH). En numerosos estudios la frecuencia de las translocaciones ha demostrado ser fuerte influencia por la edad del donante de linfocitos.

La prematura condensación de cromosomas (PCC): ocurre cuando las células en la fase de interfase del ciclo celular son tratadas para inducir a los cromosomas a la condensación prematura en las formas familiares de cromosomas de metafase. Después que los cromosomas se fijaron y se tiñeron, son examinados por fragmentos que son indicativos de roturas cromosómicas. El ensayo PCC permite la observación directa del daño inducido por radiación tan rápido como es posible cuando las células deben ser estimuladas para alcanzar la mitosis antes de la preparación de los cromosomas. Como se muestra en la Tabla 5 en los ensayos dicéntricos, pero el método todavía requiere una validación adicional.

Tabla 5. Guía para la elección de los métodos de dosimetría.

Rango de dosis (Gy)	Método de dosimetría recomendado	Síntomas clínicos
0.1-1	Ensayo dicéntricos	Ninguno a una disminución leve en el conteo de sangre
1.0-3.5	Depleción cinética de linfocitos/dicéntricos	Daño leve a severo en la medula ósea
3.5-7.5	Depleción cinética de linfocitos/PCC	Pancitopenia, daño leve a moderado GI
7.5-10.0	Depleción cinética de linfocitos/PCC	Daño en la medula ósea y GI
>10.0	PCC	Daño GI, neurológico y cardiovascular

Una limitación de los ensayos que requieren una estimulación de linfocitos es que las células que recibieron una dosis de radiación más alta también experimentan un retraso del ciclo celular y pueden no alcanzar la mitosis. Esto puede resultar en una subestimación grande de la dosis absorbida. Los cromosomas, sin embargo, pueden ser forzados a una condensación prematura fusionando linfocitos humanos con ovario de hámster chino (CHO), células mitóticas en presencia de polietilenglicol (PEG) [1].

El ensayo PCC también puede ser químicamente inducido por incubación de los linfocitos con un inhibidor de proteína fosfatasa (ácidoookadáico), trifosfato de adenosina, y un factor promotor de la mitosis que evita la necesidad de mantener los cultivos de células CHO. El ensayo PCC permite la observación directa de daño cromosómico lo más temprano posible cuando la célula puede ser estimulada para mitosis. El límite más bajo del ensayo de detección no es tan bajo como el ensayo de cromosomas dicéntricos. Este es sensible a las dosis más altas (de 5 a 20 Gy) que son detectables con el ensayo de aberración cromosómica dicéntrica.

Análisis Dicéntricos: Los cromosomas dicéntricos se forman cuando segmentos rotos de 2 cromosomas irradiados son reparados incorrectamente formando dos centrómeros (véase Figura 4.5). El número de cromosomas dicéntricos está correlacionado con la dosis absorbida. En el ensayo de dicentros, los linfocitos son detenidos, fijados y puestos sobre un portaobjetos durante la metafase en el estado de mitosis donde los cromosomas están condensados y se hacen visibles bajo el microscopio. Las imágenes pueden ser capturadas electrónicamente y compartidas a través de internet para permitir a múltiples "lectores" analizar los diferenciales en la metafase para detectar la presencia de cromosomas dicéntricos [1].

En base a las curvas de calibración producidas a partir de las exposiciones *in vitro*, una estimación de la dosis se puede hacer de acuerdo al número de dicentros detectados por célula. Este ensayo es aceptado generalmente como el método más específico y más sensible (0.2 Gy) para determinar dosis de exposiciones recientes para radiaciones ionizantes gamma y neutrones usualmente (es decir, dentro de un periodo de días a 6 meses). Además, las técnicas estadísticas disponibles pueden determinar si el cuerpo recibió una distribución de dosis homogénea o si la dosis dada fue de manera no homogénea. La utilidad de este ensayo se reduce considerablemente para medir dosis recibidas más de 6 meses antes del ensayo debido a la vida media de los linfocitos resultantes de la inestabilidad y por lo tanto de los cromosomas dicéntricos.

Los cromosomas dicéntricos inducidos por la radiación son mecánicamente inestables durante la mitosis y son por lo tanto eliminados cuando los linfocitos son regenerados. En contraste las translocaciones cromosómicas son estables durante la división celular y pueden medirse usando FISH. En este método de citogenética molecular, las pruebas del marcado de ADN con fluorocromo que son específicas para 3 pares de cromosomas, pueden usarse para detectar intercambios por medio de microscopía de fluorescencia. La estabilidad de la translocación de cromosomas se ha demostrado que se mantiene elevada durante décadas. Este método ha sido usado para dosimetría de reanálisis de sobrevivientes de la bomba atómica de la segunda guerra mundial y en accidentes radiológicos civiles que sucedieron hace décadas [1].

Ensayo de citocinesis-bloques de micronúcleos: método utilizado en dosimetría biológica. En contraste con los exámenes directos de cromosomas, las pruebas de micronúcleos es un método indirecto para evaluar el daño cromosómico realizado en la interfase del ciclo celular. Los micronúcleos se caracterizan por ser estructuras pequeñas, redondas u ovales localizadas dentro del citoplasma de la célula pero físicamente distintos y separados del núcleo principal. Porque ellos se parecen al núcleo principal en las propiedades de forma, textura, coloración y contienen ADN, los micronúcleos son fáciles de detectar como marcadores de daño cromosómico (es decir rotos). El análisis de micronúcleos requiere menos habilidad, avanza rápidamente, sobre todo con equipo de escaneo de diapositivas automático y por lo general incluye muestras de 1 000 células o más. Las pruebas se han mejorado significativamente a través de la introducción del método de citocinesis de bloques que ha mostrado sensibilidad a dosis tan bajas como 0.1 Gy. Por el lado negativo, a diferencia de los ensayos dicéntricos, la edad y el género son factores que se sabe afectan a la frecuencia de fondo, su resolución es menor y la estabilidad a lo largo del tiempo es baja. Los

estudios *en vitro* han demostrado que una dosis de 1 Gy puede ser estimada con una incertidumbre de 0.2 Gy. Los estudios *in vivo* muestran que el nivel de detección más baja es cerca de 0.3 Gy [1].

Resonancia electrónica paramagnética (EPR): la exposición de humanos a la radiación ionizante resulta en cambios inducidos por radiación que pueden ser medidos y dependiendo de la dosis absorbida, cuantificados. El uso de EPR para biodosimetría se basa en la capacidad de la técnica para proporcionar una medición específica y sensible de electrones no apareados en tejido sólido que se crean en proporción a la dosis absorbida. La vida media de estos electrones es muy corta (nanosegundos) en sistemas acuosos, tales como muchos tejidos biológicos pero puede ser extremadamente estable en medios no acuosos, incluyendo los dientes, huesos, uñas y cabello. La EPR se ha utilizado para análisis *in vitro* de los dientes exfoliados para medir la dosis en poblaciones de Japón y la Unión Soviética. La eficacia de la EPR ha sido bien demostrada [1].

Marcadores moleculares en líquidos y tejidos corporales: los marcadores moleculares (biomarcadores) representan los cambios subyacentes en la fisiología derivados de los daños físicos (por ejemplo, la lisis celular y la liberación de proteínas intracelulares en la circulación, los subproductos de oxidación o roturas de ADN), los cambios subyacentes en la bioquímica (por ejemplo, la presencia de metabolitos nuevos, cambios en los niveles de productos génicos clave), y/o cambios en la composición celular de los tejidos. Estos marcadores incluyen moléculas tan diversas como las proteínas y moléculas metabólicas pequeñas.

En cuestión de minutos a horas después de la exposición a la radiación ionizante, las proteínas se modifican y se activan, y se producen cambios a gran escala en los perfiles de expresión génica que implican una amplia variedad de vías de procesos celulares. En la actualidad hay aproximadamente 90 proteínas conocidas que muestran cambios en la expresión o se someten a modificaciones translocacionales después de la exposición a la radiación ionizante. Algunos de estos cambios, en una manera dependiente de la dosis. El uso de marcadores bioquímicos en un ensayo multiparámetro representa un nuevo y emocionante desarrollo en la dosimetría de la radiación.

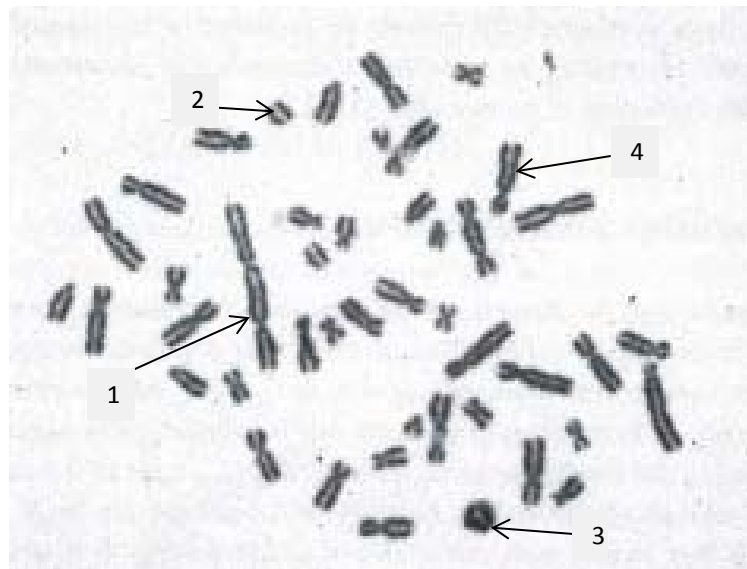


Figura 4.5. Metafase con aberraciones cromosómicas de diferente tipo: 1. dicéntricos; 2. fragmentos acéntricos; 3. cromosomas en anillo; 4. translocación.

4.2 Bioensayo

La recolección de muestras biológicas permite seguir la cinética de la excreción urinaria o fecal. La cuantificación de la excreción permite, sobre la base de modelos metabólicos, evaluar la incorporación inicial y finalmente la dosis al término del tratamiento.

Las distintas muestras biológicas a ser tomadas dependen del agente contaminante, de su naturaleza físico-química y de la vía de entrada al organismo.

Las muestras colectadas deben estar siempre bien identificadas, con el nombre del agente y hora en que fueron tomadas, para luego ser enviadas a un laboratorio analítico especializado para su análisis.

El muestreo debe comenzar lo antes posible. Según las características del contaminante, las muestras biológicas a tomar pueden ser:

- Saliva
- Orina
- Excretas
- Mucosidad nasal
- Flemas (fluidos del pulmón)
- Cabello y vello
- Piel

Orina: La primera muestra de orina es especialmente importante y no debe ser mezclada con muestras posteriores. Debe ser tomada inmediatamente después de ocurrido el accidente y posteriormente en días sucesivos (orina de 24 horas). La fecha y hora deben ser consignadas. Se recomienda especial cuidado en la recolección de las muestras a fin de evitar contaminación radiactiva exógena. Se conservarán preferentemente en la heladera.

Excretas: Se deben recoger todas las excretas de, por lo menos, los primeros 3 o 4 días (como mínimo tres muestras).

Mucosidad nasal: En caso de contaminación del aparato respiratorio, para la identificación y la determinación semicuantitativa del radionúclido, se deben recolectar muestras del soplado nasal y del material expectorado en un pañuelo de papel.

Ejemplo de bioensayo de la mucosa nasal:

Una manera rápida de estimar la dosis debido a inhalación es a través de la evaluación de hisopos nasales. Las muestras deben recogerse de secreciones de las fosas nasales anteriores con hisopos separados. Estos pueden tomarse después de que se sospecha de una posible ingesta, preferiblemente dentro de la primera hora. Las demoras en la obtención de muestras nasales afectará la estimación de la ingesta ya que la nariz se despeja con bastante rapidez. Se debe hacer un conteo de la actividad de cada hisopo y sumarse para obtener el resultado.

Estos primeros exámenes permiten poner en evidencia los radionúclidos involucrados y sus proporciones relativas o confirmar la presunción que se tenía al respecto. Además se puede obtener una estimación acerca de la cantidad incorporada. Si esta resulta un orden de magnitud por debajo de los límites aplicables en el medio profesional no se justifica continuar los exámenes. En caso contrario se establecerá un protocolo de seguimiento de mediano y eventualmente largo plazo basado, según las circunstancias, en mediciones directas o en análisis radiotoxicológicos, con el propósito de precisar la actividad incorporada así como de controlar la eficacia de la terapéutica instituida [24].

4.3 Estimación de dosis para el síndrome agudo de radiación

Al mismo tiempo que se aplican las técnicas de dosimetría expuestas anteriormente, hay una serie de síntomas y signos cuyo tiempo de manifestación ayuda a estimar la dosis de radiación recibida. Esta relación sirve también como un método para que el médico encargado pueda darse cuenta de la existencia de un síndrome agudo de radiación.

En las Tablas 6 a 13 se muestra la relación entre el tiempo de manifestación de los síntomas provocados por el SAR y el rango de dosis que los producen.

Tabla 6. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 0 a 0.75 Gy.



SINTOMAS/SIGNOS	HORAS					DIAS						SEMANAS						
	4	8	12	16	20	24	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
Nausea																		
Vómito	 0 - 5%																	
Anorexia																		
Diarrea																		
Fatiga																		
Debilidad																		
Hipertensión																		
Mareo																		
Desorientación																		
Sangrado																		
Fiebre																		
Infección																		
Ulceración																		
Pérdida de fluidos/desbalanceo electrolítico																		
Dolor de cabeza																		
Desmayos																		
Postramiento																		
Muerte																		
Escala de severidad 																		
MANEJO Y TRATAMIENTO																		
EFICACIA DEL TRATAMIENTO																		
Combate efectivo																		
Hospitalización/porcentaje de duración																		
Ninguna																		
Terapia																		
Ninguna																		

Tabla 7. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 0.75 a 1.5 Gy.

SINTOMAS/SIGNOS	HORAS					DIAS					SEMANAS							
	4	8	12	16	20	24	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
Nausea							5 - 30%											
Vómito							5 - 20%											
Anorexia							15 - 50%											
Diarrea																		
Fatiga																		
Debilidad																		
Hipotensión																		
Mareo																		
Desorientación																		
Sangrado																		
Fiebre																		
Infección																		
Ulceración																		
Pérdida de fluidos/desbalanceo electrolítico																		
Dolor de cabeza																		
Desmayos																		
Postramiento																		
Muerte																		
<p>Escala de severidad </p> <p>No especificado o bajo Bajo a moderado Moderado Moderado a severo Severo</p>																		
MANEJO Y TRATAMIENTO																		
EFICACIA DEL TRATAMIENTO																		
Combate efectivo																		
Hospitalización/porcentaje de duración																		
Ninguna																		
Terapia																		
Ninguna																		
(a) Ligera caída del conteo de linfocitos, plaquetas y granulocitos																		
(b) Se incrementa la susceptibilidad a patógenos no oportunistas																		

Tabla 8. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 1.5 a 3 Gy.

SINTOMAS/SIGNOS	HORAS					DIAS							SEMANAS							
	4	8	12	16	20	24	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7		
Nausea							30 - 70%													
Vómito							20 - 50%													
Anorexia																				
Diarrea																				
Fatiga							10 - 60%													
Debilidad							30 - 60%													
Hipotensión																				
Mareo																				
Desorientación																				
Sangrado							10% (b)													
Fiebre							10 - 50% (c)													
Infección							(d)													
Ulceración																				
Pérdida de fluidos/desbalanceo electrolítico																				
Dolor de cabeza																				
Desmayos																				
Postramiento																				
Muerte														≤ 5%						
<p>Escala de severidad </p> <p>No especificado o bajo Bajo a moderado Moderado Moderado a severo Severo</p>																				
MANEJO Y TRATAMIENTO																				
<p>EFICACIA DEL TRATAMIENTO TD: ED de 4 horas hasta la recuperación TND: ED de 6 a 20 horas y de 6 semanas hasta la recuperación</p> <p>Hospitalización/porcentaje de duración De 3 a 5 semanas de hospitalización Sobrevivientes pueden regresar a sus actividades normales</p> <p>Terapia Tratamiento sintomático con antihemáticos y antibióticos Vigilancia hematológica</p>																				
<p>(a) 10% de las personas irradiadas a 175 cGy experimentaron diarrea durante el primer día de exposición</p> <p>(b) Caída ligera a moderada del conteo de plaquetas: de $3 \times 10^5 / \text{mm}^3$ a $1.8 - 0.8 \times 10^5 / \text{mm}^4$</p> <p>(c) Caída ligera a moderada del conteo de granulocitos: de $6 \times 10^3 / \text{mm}^3$ a $4.5 - 2.0 \times 10^3 / \text{mm}^3$</p> <p>(d) Caída ligera a moderada del conteo de linfocitos: de $3 \times 10^3 / \text{mm}^3$ a $2.0 - 1.0 \times 10^3 / \text{mm}^3$</p> <p>Susceptibilidad a patógenos oportunistas</p>																				
<p>CI: Combate Inefectivo (menos del 25% de eficacia) ED: Eficacia degradada (25 - 75% eficacia) TD: Tareas demandantes TND: Tareas no demandantes</p>																				

Tabla 9. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 3 a 5.3 Gy.

SINTOMAS/SIGNOS	HORAS						DIAS							SEMANAS						
	4	8	12	16	20	24	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7		
Nausea							70 - 90%													
Vómito							50 - 60%													
Anorexia							90 - 100%							60%						
Diarrea							~ 10%							40 - 60%						
Fatiga							60 - 90%													
Debilidad							60 - 90%													
Hipotensión																				
Mareo																				
Desorientación																				
Sangrado							(a) 0 - 50%													
Fiebre							(b)													
Infección							(c) 10 - 80%													
Ulceración							(d) 30%													
Pérdida de fluidos/desbalanceo electrolítico																				
Dolor de cabeza																				
Desmayos																				
Prostramiento																				
Muerte														5 - 50%						
<p>Escala de severidad </p> <p>No especificado o bajo Bajo a moderado Moderado Moderado a severo Severo</p>																				
MANEJO Y TRATAMIENTO																				
<p>EFICACIA DEL TRATAMIENTO TD: ED de 3 horas hasta la recuperación TND: ED de 4 a 40 horas y de 2 semanas hasta la recuperación o muerte</p> <p>Hospitalización/porcentaje de duración De 2 a 5 semanas de hospitalización Sobrevivientes pueden regresar a sus actividades normales</p> <p>Terapia Tratamiento sintomático con antihemáticos y antibióticos Vigilancia hematológica</p>																				
(a) 10% de las personas irradiadas a 175 cGy experimentaron diarrea durante el primer día de exposición (b) Caída ligera a moderada del conteo de plaquetas: de $3 \times 10^5 / \text{mm}^3$ a $1.8 - 0.8 \times 10^5 / \text{mm}^4$ (c) Caída ligera a moderada del conteo de granulocitos: de $6 \times 10^3 / \text{mm}^3$ a $4.5 - 2.0 \times 10^3 / \text{mm}^3$ (d) Caída ligera a moderada del conteo de linfocitos: de $3 \times 10^3 / \text{mm}^3$ a $2.0 - 1.0 \times 10^3 / \text{mm}^3$										CI: Combate Inefectivo (menos del 25% de eficacia) ED: Eficacia degradada (25 - 75% eficacia) TD: Tareas demandantes TND: Tareas no demandantes										
Susceptibilidad a patógenos oportunistas																				

Tabla 10. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 8.3 a 11 Gy.

SINTOMAS/SIGNOS	HORAS					DIAS							SEMANAS													
	4	8	12	16	20	24	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7								
Nausea						100%														100%						
Vómito						100%														100%						
Anorexia						100%														100%						
Diarrea						10%												60 - 100%								
Fatiga						100%														100%						
Debilidad						100%														100%						
Hipotensión						100%														100%						
Mareo						100%														100%						
Desorientación						100%														100%						
Sangrado						(a)							100%													
Fiebre						(b)							100%													
Infección						(c)							100%													
Ulceración						(d)							100%													
Pérdida de fluidos/desbalanceo electrolítico						80%					(e)							80%								
Dolor de cabeza						80%														100%						
Desmayos						80%														80%						
Postramiento						80%														80%						
Muerte						100%														100%						
<p>Escala de severidad No especificado o bajo Bajo a moderado Moderado Moderado a severo Severo</p>																										
MANEJO Y TRATAMIENTO																										
<p>EFICACIA DEL TRATAMIENTO TD:ED de 1.5 a 8 horas, CI de 1 hora a 1.2 días, ED de 1.2 a 10.4 días hasta la muerte TND:ED de 2 horas a 3 días CI de 3 a 4 días Hospitalización/porcentaje de duración De 4 a 6 días de cuidados médicos y hasta la muerte 100 % de muerte de 4 a 6 semanas Terapia Mantenimiento del balance electrolítico Vigilancia hematológica</p>																										
(a) el conteo de plaquetas cae a casi cero (b) el conteo de granulocitos cae a casi cero (c) el conteo de linfocitos cae a casi cero (d) Eplación (e) Daño intestinal moderado												CI: Combate Inefectivo (menos del 25% de eficacia) ED: Eficacia degradada (25 - 75% eficacia) TD: Tareas demandantes TND: Tareas no demandantes														

Tabla 11. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 11 a 15 Gy.

SINTOMAS/SIGNOS	HORAS						DIAS							SEMANAS						
	4	8	12	16	20	24	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7		
Nausea	[Barra con 100% de intensidad]						100%						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Vómito	[Barra con 100% de intensidad]						100%						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Anorexia	[Barra con 100% de intensidad]						100%						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Diarrea	[Barra con 10% de intensidad]						10%						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Fatiga	[Barra con 100% de intensidad]						100%						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Debilidad	[Barra con 100% de intensidad]						100%						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Hipotensión	[Barra con 80% de intensidad]						80% (a)						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Mareo	[Barra con 100% de intensidad]						100%						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Desorientación	[Barra con 100% de intensidad]						100%						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Sangrado													(b)		100%					
Fiebre	[Barra con 30-45% de intensidad]						30 - 45%						(c)		100%					
Infección													(d)		100%					
Ulceración													(e)		100%					
Pérdida de fluidos/desbalanceo electrolítico	[Barra con 100% de intensidad]						100%						[Barra con 100% de intensidad]		100% (f)					
Dolor de cabeza	[Barra con 100% de intensidad]						100%						[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Desmayos													[Barra con 70% de intensidad]		70%					
Prostramiento													[Barra con 70% de intensidad]		70%					
Muerte													[Barra con 100% de intensidad]		100%					
Escala de severidad: [Barra blanca] No especificado o bajo [Barra con 25% de intensidad] Bajo a moderado [Barra con 50% de intensidad] Moderado [Barra con 75% de intensidad] Moderado a severo [Barra con 100% de intensidad] Severo																				
MANEJO Y TRATAMIENTO																				
EFICACIA DEL TRATAMIENTO TD: ED de 1 a 5 horas, CI de 5 horas a 2 días, ED de 2 a 6 días hasta la muerte TND: ED de 1.5 horas a 8 días CI de 8 días hasta la muerte Hospitalización/porcentaje de duración De 3 a 6 días de cuidados médicos al 100% , 100% de probabilidad de muerte de 1 a 4 semanas La hospitalización puede ser requerida desde el primer día Terapia Mantenimiento del balance electrolítico (a) la presión sanguínea cae un 25%, aumento de temperatura (b) el conteo de plaquetas cae a cero (c) el conteo de granulocitos cae a cero (d) el conteo de linfocitos cae a cero (e) Epilación CI: Combate Inefectivo (menos del 25% de eficacia) ED: Eficacia degradada (25 - 75% eficacia) TD: Tareas demandantes TND: Tareas no demandantes																				

Tabla 12. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 15 a 30 Gy.

SINTOMAS/SIGNOS	HORAS					DÍAS					SEMANAS							
	4	8	12	16	20	24	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
Nausea												100%						
Vómito												100%						
Anorexia												100%						
Diarrea																		
Fatiga												100%						
Debilidad												100%						
Hipotensión												100%						
Mareo												100%						
Desorientación												100%						
Sangrado																		
Fiebre																		
Infección																		
Ulceración																		
Pérdida de fluidos/desbalanceo electrolítico																		
Dolor de cabeza																		
Desmayos																		
Postramiento																		
Muerte																		
<p>Escala de severidad </p> <p>No especificado o bajo Bajo a moderado Moderado Moderado a severo Severo</p>																		
MANEJO Y TRATAMIENTO																		
<p>EFICACIA DEL TRATAMIENTO TD: ED de 1 a 2 horas, CI de 4 horas a 3 días, ED de 3 a 4 días hasta la muerte TND: ED de 1 a 7 horas CI de 7 a 25 horas y de 4.5 días hasta la muerte Hospitalización/porcentaje de duración De 3 a 6 días de cuidados médicos al 100% , 100% de probabilidad de muerte de 5 a 10 días Terapia Mantenimiento del balance electrolítico</p>																		
<p>(a) el conteo de plaquetas cae a cero CI: Combate Inefectivo (menos del 25% de eficacia) (b) el conteo de granulocitos cae a cero ED: Eficacia degradada (25 - 75% eficacia) (c) el conteo de linfocitos cae a cero TD: Tareas demandantes (d) daño intestinal severo TND: Tareas no demandantes (e) fallas renales</p>																		

Tabla 13. Tiempo de manifestación de los síntomas y signos biológicos del SAR para dosis de 30 a 45 Gy.

SINTOMAS/SIGNOS	HORAS						DIAS							SEMANAS									
	4	8	12	16	20	24	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7					
Nausea	██████████						██████████																
Vómito	██████████						██████████																
Anorexia	██████████						██████████																
Diarrea	████						████																
Fatiga	██████████						██████████																
Debilidad	██████████						██████████																
Hipertensión	██████████						██████████																
Mareo	██████████						██████████																
Desorientación	██████████						██████████																
Sangrado																							
Fiebre	██████████						50 - 90% (a)																
Infección							██████████ (b)																
Ulceración																							
Pérdida de fluidos/desbalanceo electrolítico	██████████						██████████																
Dolor de cabeza	██████████						██████████																
Desmayos							██████████																
Postramiento							██████████																
Muerte							██████████																
<p>Escala de severidad</p> <table border="0" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td style="width:20%;">No especificado o bajo</td> <td style="width:20%;">Bajo a moderado</td> <td style="width:20%;">Moderado</td> <td style="width:20%;">Moderado a severo</td> <td style="width:20%;">Severo</td> </tr> </table>																			No especificado o bajo	Bajo a moderado	Moderado	Moderado a severo	Severo
No especificado o bajo	Bajo a moderado	Moderado	Moderado a severo	Severo																			
MANEJO Y TRATAMIENTO																							
<p>EFICACIA DEL TRATAMIENTO TD: ED de 6 a 90 minutos, CI de 90 minutos hasta la muerte TND: ED de 30 minutos a 3 horas CI de 3 horas hasta la muerte</p> <p>Hospitalización/porcentaje de duración De 6 horas a 1 o 2 días de cuidados médicos al 100% , 100% de probabilidad de muerte de 2 a 4 días</p> <p>Terapia Terapia de soporte</p> <p>(b) el conteo de granulocitos cae a cero (c) el conteo de linfocitos cae a cero</p>																							
<p>CI: Combate Inefectivo (menos del 25% de eficacia) ED: Eficacia degradada (25 - 75% eficacia) TD: Tareas demandantes TND: Tareas no demandantes</p>																							

4.3.1. Distribución tempo-espacial de la dosis

La terminología permite trazar curvas isotermas (véase Figura 4.7) que se correlacionan con las curvas de isodosis (véase Figura 4.6) y con la topografía de la lesión. Auxiliando al médico en la estimación del pronóstico y siendo útiles en la evaluación de la respuesta terapéutica y seguimiento evolutivo.

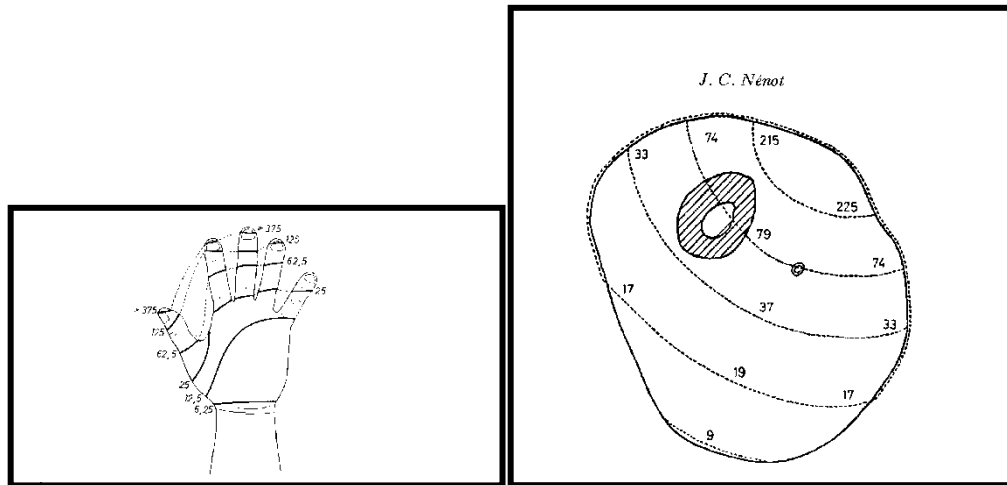


Figura 4.6. Construcción de curvas de isodosis.

La presencia de focos de hipervascularización en los territorios irradiados precede a la aparición de los signos clínicos (diagnóstico en la fase de latencia clínica).



Figura 4.7. Curvas isotermas.

Es recomendable realizar estudios comparativos de territorios homólogos no irradiados. Es conveniente comparar territorios irradiados con otros indemnes (extremidades), véase Figura 4.8.

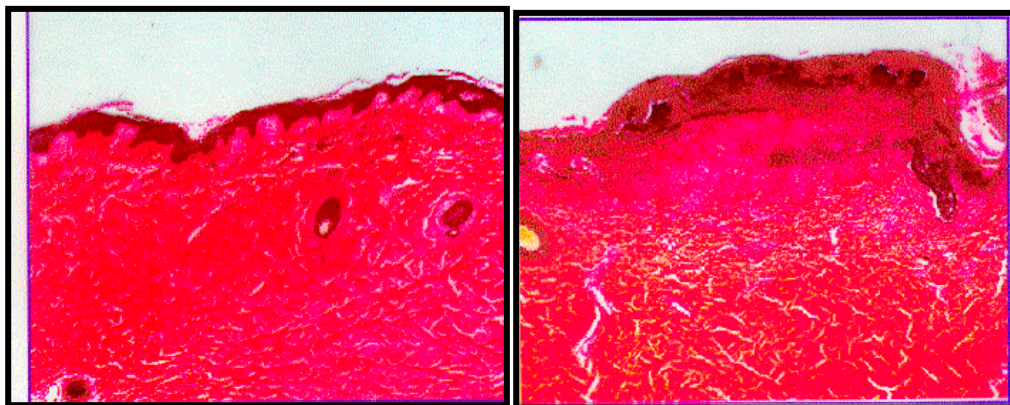


Figura 4.8. Histología de la piel normal vs. piel irradiada.

4.4 Criterios de intervención

Las decisiones acerca de la conducta terapéutica frente a la incorporación accidental de un radionúclido deben ser analizadas en el marco de un adecuado balance riesgo/ beneficio. Existe un riesgo de daño asociado a la exposición a la radiación, que las metodologías de desincorporación pretenden disminuir, pero no debe olvidarse que este tratamiento en sí mismo implica ciertos riesgos. El beneficio de la terapia descontaminante se evalúa en base a la reducción de dosis alcanzada. La carga incorporada y la consecuente dosis comprometida constituyen un parámetro decisivo que, junto a ciertas consideraciones tales como la edad del paciente y su estado de salud permiten ajustar la decisión a las características particulares de cada caso.

No se pueden establecer por lo tanto límites rígidos, no obstante, ciertos valores pueden ser tomados como referencia para una rápida estimación de la magnitud del problema. El cálculo de la dosis efectiva comprometida luego de una incorporación accidental puede demandar un tiempo de cálculo. En ese periodo, puede ser muy útil manejarse con el concepto de Límite Anual de Incorporación (ALI) que facilita los cálculos y las comparaciones entre diferentes radionúclidos. Los valores del ALI pueden ser calculados de manera rápida a partir de la publicación 68 de ICRP [24-27].

Una alternativa que tenemos en México para los valores del ALI es utilizar la Norma Oficial Mexicana NOM-005-NUCL-1994 [27], la cual contiene los límites anuales de incorporación y concentraciones derivadas en aire (CDA) de radionúclidos para el personal ocupacionalmente expuesto, donde se establece un control dosimétrico para exposiciones internas del personal ocupacionalmente expuesto que labora con material radiactivo susceptible de dispersarse en instalaciones como: laboratorios, hospitales, industria, centros de investigación, reactores nucleares, plantas de producción de radiofármacos, etc.

Por definición, se consideran como sobreexposición solo aquellos casos en los que se exceda el ALI para un radionúclido en particular. Sin embargo, esto no implica que haya que tomar alguna medida terapéutica. Dado que los ALI han sido estimados como un criterio

conservativo, los tratamientos descontaminantes estarán indicados solo cuando se presuma una incorporación varias veces superior a la del ALI. Los niveles de intervención se expresan en general en múltiplos del ALI.

Debe tenerse en cuenta que éstos valores tienden a aportar un indicador útil para ayudar a la toma de decisiones acerca de la intervención terapéutica, pero se deberán ajustar para los diferentes tipos de tratamiento. Así por ejemplo frente a una incorporación accidental de actínidos o lantánidos no se adoptará el mismo criterio para evaluar la aplicación rápida de una única dosis de un agente quelante tal como el DTPA en aerosol que para la decisión frente a un eventual lavado pulmonar, ya que la magnitud de los riesgos asociados a cada práctica médica es muy diferente.

4.4.1. Incorporación de formas transportables

En términos generales pueden considerarse 4 situaciones:

- a. Incorporación de menos de 1 ALI: no está indicado tratamiento alguno.
- b. Incorporación de 1-5 ALI: sin probable tratamiento, o bien, tratamiento a criterio del médico.
- c. Incorporación de 5-10 ALI: no se esperan consecuencias clínicas pero podría considerarse el tratamiento con el objeto de disminuir la probabilidad de efectos estocásticos. En esas consideraciones son apropiados los tratamientos de dosis únicas o a corto plazo. Particularmente se indica el tratamiento en el caso de la incorporación de actínidos, especialmente plutonio.
- d. Incorporación mayor a 10 ALI: está indicado el tratamiento descontaminante más prolongado. La intensidad y duración del tratamiento se decidirá en base a la potencia de reducción de las dosis comprometidas.

En los accidentes que involucran isótopos del yodo está indicada la yodo profilaxis (administración de yodo estable) en forma rápida. En esos casos no se debe demorar la toma de decisiones a la espera de mayor información.

4.4.2. Inhalación de formas pobremente transportables

La posibilidad de efectuar lavado pulmonar se considerará solo si se estima una incorporación de más de 100 ALI. Aún en esos casos habrá que balancear el riesgo de fibrosis pulmonar y cáncer radio-inducido frente a las posibles complicaciones del procedimiento, las que aumentan a mayor edad del paciente. Usualmente se indica el tratamiento sistémico con quelantes para acelerar la remoción del pulmón y minimizar el depósito de otros tejidos.

4.4.3. Contaminación de heridas

La mayor parte de los depósitos de radionúclidos de formas no transportables pueden ser removidas mediante escisión quirúrgica. Bajo estas condiciones resulta inapropiado

recomendar niveles de intervención dado que muchos médicos desearían alcanzar niveles no detectables de actividad remanente, siempre que esto no implique riesgo de daño funcional. Cuando exista ese riesgo, habrá que realizar en cada caso un juicio balanceado acerca del nivel de actividad residual que se aceptará.

4.4.4. Ingestión

Similares consideraciones se aplican a la ingestión. Debe notarse que la exposición del intestino grueso inferior puede ser sustancial para los radionúclidos insolubles. Sin embargo el material radiactivo se excreta rápidamente a través de las heces.

4.5 Radionúclidos de interés

Los radioisótopos de interés en este trabajo, por ser capaces de generar una contaminación interna en accidentes radiológicos y nucleares, se listan en la Tabla 14.

Tabla 14. Radionúclidos de interés.

Radionúclido	Vida-media	Tipo de emisión
²⁴¹ Am	458 a	α, γ
¹⁹⁸ Au	2.7 d	β^-, γ
²⁴⁹ Bk	314 d	β^-, γ, α
¹⁴ C	5730 a	β^-, n, γ
⁴⁵ Ca	165 d	β^-, γ
⁴⁷ Ca	4.53 d	β^-, γ
¹⁴⁴ Ce	285 d	β^-, γ
²⁵² Cf	2.64 a	α, γ
²⁴⁴ Cm	18 a	α, γ
⁶⁰ Co	5.26 a	β^-, γ
⁵¹ Cr	27.8 d	e^-, x, γ
¹³⁴ Cs	2.06 a	γ
¹³⁷ Cs	30.0a	β^+, γ
²⁵³ Es	20.4 d	α, γ
⁵⁵ Fe	2.73 a	n, γ
⁵⁹ Fe	45 d	β^-, γ
³ H	12.5 a	β^-, n, γ
¹⁹⁷ Hg	65 h	e^-, x, γ
²⁰³ Hg	46.6 d	β^-, γ
¹³¹ I	8.1 d	β^-, γ
¹³³ I	20.8h	β^-, γ
¹²⁵ I	60.2 d	e^-, x
^{113m} In	99.4 min	e^-, x, γ
¹⁹² Ir	73.83 d	β^-, γ
¹⁴⁰ La	40.2 h	β^-, γ
⁵⁴ Mn	314 d	x, γ
²² Na	2.6 a	β^+, γ
²⁴ Na	14.95 h	β^-, γ
³² P	14.3 d	β^-
²¹⁰ Pb	21.4 a	β^-, γ
¹⁴⁷ Pm	2.62 a	β^-, γ
²¹⁰ Po	138.4 d	α

Radionúclido	Vida-media	Tipo de emisión
²³⁸ Pu	87,74a	α, γ
²³⁹ Pu	24.065a	α, γ
²⁴⁰ Pu	6.537a	α, γ
²⁴¹ Pu	14.4 a	α, β^-, γ
²⁴² Pu	376.000a	α, γ
²²⁶ Ra	1602 a	α, β, γ
³⁵ S	88 d	β^-
⁷⁵ Se	120 d	e^-, γ
⁹⁰ Sr	28 a	β^-, n, γ
^{99m} Tc	6.01 h	β^-, γ, e^-
²³² Th	1.41×10^{10} a	α
⁹⁹ Tc	2.13×10^5 a	β^-, γ
²³⁵ U	7.1×10^8 a	α, γ
⁹⁰ Y	64 h	β^-
¹⁶⁹ Yb	31.8 d	x, γ
⁶⁵ Zn	245 d	e^-, β^-, x, γ

Capítulo 5

Metodologías de Desincorporación

Frente a un accidente que resulte en la incorporación accidental de radionúclidos, el médico debe recoger rápidamente cierta información para poder decidir, según un esquema establecido, las acciones a emprender.

Dentro de la información que deberá ser revisada están los radionúclidos involucrados, el orden de magnitud de las cantidades implicadas en el accidente, la vía de ingreso del contaminante, radiotoxicidad, la edad del paciente entre otros. Puede tratarse de un radionúclido bien preciso (por ejemplo tritio o yodo) o por el contrario de una mezcla menos definida (productos de fisión o actínidos). En lo que concierne a las cantidades, las estimaciones pueden basarse en los datos obtenidos a través de mediciones, la supuesta actividad puesta en juego en el curso de una manipulación o en el contenido previamente conocido de una fuente dada.

Un punto a tener en cuenta en el tratamiento de la contaminación interna es que la eficacia del tratamiento decrece de manera exponencial en el tiempo, esto demuestra la importancia del tratamiento a nivel de la puerta de entrada, especialmente cuando se trata de elementos para los cuales no hay una terapia física eficaz una vez que han sido absorbidos. La deposición en el órgano crítico comienza en el momento en que el radionúclido está presente en la sangre y cada momento perdido puede aumentar la deposición. De igual modo, con aquellos radionúclidos para los cuales hay tratamientos efectivos a nivel sanguíneo por bloqueo de la deposición en el órgano crítico, también se debe aplicar el concepto de urgencia.

El concepto de urgencia terapéutica se aplica en el caso de la contaminación interna con dos condiciones limitantes:

- En todo accidente, las primeras medidas a poner en práctica son aquellas destinadas a preservar las funciones vitales y salvar la vida del accidentado, el tratamiento de la contaminación interna pasa a ocupar un nivel secundario.
- Los fármacos utilizados como primera urgencia deben ser suministrados a niveles no tóxicos y su modo de empleo debe ser simple, lo que será previamente planificado por el médico. En determinadas circunstancias, el mismo contaminado o un agente de

radioprotección debidamente entrenado puede comenzar con el tratamiento en el lugar del accidente (por ejemplo de yodo estable para el bloqueo de tiroides o la aplicación de un agente quelante sobre una herida contaminada). Esto radica en la necesidad de asegurar la mayor eficacia de la terapia, y por lo tanto debe ser aplicada rápidamente después de la contaminación, aunque solo se sospeche y sin esperar la intervención del médico, salvo en aquellos casos en que las drogas a ser administradas requieran de la aplicación o supervisión médica¹.

Con idea acerca de la naturaleza y la importancia del accidente, se aplica la noción de urgencia en relación a una conducta terapéutica. En la contaminación interna la dosis no se entrega en el momento del accidente sino ulteriormente, durante el tiempo de presencia del radionúclido en el organismo. Este tiempo es más o menos largo (desde varios días hasta prácticamente toda la vida) según la vida media efectiva del elemento. Aplicando un tratamiento precoz se puede disminuir la actividad distribuida en el organismo y su tiempo de permanencia en el mismo, disminuyendo así la dosis recibida.

Finalmente el médico debe establecer un protocolo de exámenes a realizar para estimar la importancia de la exposición. Los primeros exámenes dan generalmente solo un orden de magnitud. Las investigaciones se prolongarán en el tiempo cuando los primeros resultados así lo justifican. El tiempo de seguimiento se ajustará a cada situación (semanas o hasta meses).

La eficiencia del tratamiento de diferentes radionúclidos depende de su forma química y la manera de entrada al organismo. Los objetivos prioritarios del tratamiento ante una contaminación interna son: el impedir la absorción, impedir la incorporación y disminuir la vida media efectiva (cuando sea posible).

5.1 Metodologías según la vía de entrada al organismo

Los métodos de tratamiento aplicados varían según la vía de entrada del contaminante. Deben ser consideradas diferentes posibilidades:

- Contaminación de la piel
- Herida contaminada
- Contaminación a través del aparato digestivo
- Contaminación a través del aparato respiratorio

¹ Si bien la efectividad del tratamiento descontaminante se relaciona con su precocidad, no es conveniente permitir el libre acceso a drogas que deberían ser suministradas, prescritas, y administradas solo bajo supervisión médica.

5.1.1. Contaminación en piel

La piel sana constituye una buena barrera contra la penetración de numerosos productos radiactivos con la excepción del yodo y el agua tritiada.

Frente a un caso de contaminación cutánea, debe impedirse la diseminación del contaminante en el organismo y no debe hacerse nada que pueda favorecerla. La regla es evitar toda escoriación de la piel, por más pequeña que sea, y el uso de productos que puedan facilitar el pasaje a través de la misma.

El radionúclido es removido por lavados, solubilización, etc. Hay indicaciones especiales para cada tipo de radionúclido.

5.1.2. Heridas y quemaduras contaminadas

La piel lesionada no asegura más su rol de barrera protectora. Una vez que un compuesto franquea la barrera cutánea puede ser directamente transferido hacia el líquido extra celular o ser retenido localmente en los tejidos subcutáneos y en los ganglios linfáticos regionales. Una parte o la totalidad de la actividad así retenida pasará más o menos rápidamente al líquido extracelular [24].

Se deben evaluar prácticamente dos factores:

- Gravedad del accidente
El tratamiento de urgencia del accidentado ha de preceder al tratamiento de la contaminación.
- Grado de contaminación
Las acciones a tomar varían según se trate de un elemento transferible o no transferible.

Si el contaminante es un elemento transferible, debe hacerse insoluble en el sitio de la herida, para evitar su difusión.

Si el contaminante es un elemento no transferible y hay solamente una pequeña extensión local de la contaminación, puede ser tratado con un agente terapéutico de aplicación local (ejemplo un agente quelante).

En determinados casos es necesario considerar el tratamiento quirúrgico de la lesión.

En todo caso de herida contaminada, es aconsejable el traslado del paciente a un servicio o centro especializado para evaluar la posibilidad de una intervención quirúrgica.

5.1.3. Contaminación a través del aparato digestivo

En la contaminación del aparato digestivo una parte del radionúclido es transferido hacia el líquido extracelular y el resto es directamente excretado por heces.

Si ocurre contaminación por vía digestiva, lo primero que hay que saber es la naturaleza del agente contaminante, si se trata de un elemento transferible o no transferible.

En el caso de un elemento no transferible, insoluble al nivel del tracto gastrointestinal, la pequeña fracción absorbida no justifica generalmente un tratamiento.

Si se trata de un elemento transferible, absorbible a nivel del tracto digestivo, se debe realizar un intento de insolubilizarlo, usando fármacos como el azul de Prusia en el caso del cesio, alginato de calcio para el estroncio, etc.

5.1.4. Contaminación del aparato respiratorio

En este caso es difícil realizar una evaluación del grado de contaminación. Primeramente el aerosol inhalado se deposita a nivel de las diversas regiones del árbol respiratorio (nasofaringe, tráquea, bronquios, etc.).

Varios mecanismos son puestos en práctica para asegurar la eliminación de las partículas depositadas en el árbol respiratorio: la transferencia directa hacia el líquido extracelular, la transferencia hacia los ganglios linfáticos pulmonares y la transferencia hacia el tracto digestivo. Hay que tener presente, que en la contaminación del aparato respiratorio, y durante la depuración del contaminante, una porción del material inhalado retorna al árbol bronquial, es deglutido y pasa a esófago. Esta depuración a través del tracto digestivo, puede involucrar una gran fracción de la contaminación total y como resultado se puede producir una absorción secundaria del radionúclido en el aparato digestivo. Por lo tanto, después de un accidente en el que se sospeche una importante contaminación pulmonar por radionúclidos altamente absorbibles en el tracto digestivo, se debe tratar de hacerlos insolubles a nivel gastrointestinal. En el caso de emisores β , la exposición de la mucosa puede ser reducida mediante la administración de un laxante [24].

Ante la menor sospecha de contaminación grave debe de efectuarse el tratamiento. Debido a la dificultad para evaluar el nivel de contaminación pulmonar, la mejor decisión, en caso de duda, es trasladar al paciente a un servicio especializado, en observación.

5.2 Metodologías de desincorporación

Existen procedimientos que son específicos para cierto tipo de radionúclidos (véase Tabla 15) y otros que pueden aplicarse para todos los compuestos radiactivos (no específicos, véase Tabla 16). Entre estos últimos se incluyen el lavado y la escisión quirúrgica de heridas contaminadas, la administración de laxantes para acelerar el tránsito intestinal y el lavado

gástrico. Son efectivos cuando se aplican rápidamente después de una incorporación de material radiactivo fácilmente absorbible por vía digestiva y además brindan la posibilidad de remover material radiactivo altamente insoluble desde el sitio de entrada. Su eficacia aumenta si son utilizados en combinación con los procedimientos específicos [1, 24, 26-30].

Los métodos de desincorporación pueden clasificarse en:

1. Procedimientos destinados a reducir el pasaje del radionúclido desde el sitio de entrada, véase Tabla 15 y Tabla 16.
2. Procedimientos destinados a aumentar la excreción del radionúclido contaminante, véase Tabla 15 y Tabla 16.

5.2.1. Procedimientos destinados a reducir el pasaje del radionúclido desde el sitio de entrada

- Piel sana
- Heridas
- Tracto respiratorio
- Tracto digestivo

5.2.1.1. Piel sana

Se efectúa un lavado no traumatizante con soluciones acuosas. A veces la eficacia de este tratamiento puede ser reforzada por la utilización de productos destinados a solubilizar el contaminante en el líquido utilizado para lavar. (DTPA para los transuránicos y tierras raras, bicarbonato para el uranio).

5.2.1.2. Heridas

Se plantean como acciones inmediatas frente a una herida contaminada: la irrigación con agua estéril o salina, el libre sangrado y la disminución del retorno venoso. Si se plantea el tratamiento quirúrgico hay algunas acciones específicas que lo preceden, tales como:

- Insolubilización *in situ* de los cationes de valencia I o II para impedir su absorción

Cesio	Azul de Prusia
Estroncio	Rodizonato

- Conversión a complejos estables en medio biológico eliminables por vía urinaria, para los cationes de valencia superior a III, a fin de evitar su difusión local y regional y su absorción ulterior.

Transuránicos y tierras raras	Quelación por DTPA
Uranio	Formación de complejos solubles por acción de solución bicarbonatada

Dado que cualquier maniobra de desbridamiento quirúrgico involucra cierto riesgo de proveer la translocación y absorción del contaminante, los procedimientos quirúrgicos, particularmente aquellos destinados a remover emisores alfa, deben ser llevados a cabo con una irrigación casi continua de soluciones de DTPA. En todos los casos se hará el tratamiento correspondiente para la contaminación interna.

5.2.1.3. Tracto respiratorio

Existen pocas acciones directas a nivel del tracto respiratorio.

- Inhalación de DTPA: se practica usualmente en caso de inhalación de transuránicos (especialmente plutonio) o de tierras raras. La quelación de estos elementos por el DTPA conduce a la formación de complejos rápidamente eliminados por vía urinaria.
- Lavado pulmonar: se utiliza para remover del pulmón partículas relativamente insolubles. Frecuentemente los aerosoles inhalados son una mezcla de partículas con diferentes solubilidades. Si una porción significativa del aerosol es relativamente insoluble, el lavado pulmonar es de valor y un tratamiento relativamente seguro. En el caso de inhalación masiva de un compuesto poco transferible (especialmente plutonio) pero se trata de una conducta excepcional que debe ser realizada por un especialista. Este procedimiento se considerara solo en el caso de incorporaciones importantes en las que pueda esperarse una reducción de las dosis capaz de prevenir efectos determinísticos (neumonitis, fibrosis pulmonar). Presenta riesgos asociados a la anestesia. Los factores a tener en cuenta para la decisión del lavado pulmonar están dados por la cantidad inhalada, la edad del paciente, estado físico, etc., por lo tanto es necesario realizar un balance riesgo beneficio antes de tomar la decisión de realizarlo.

5.2.1.4. Tracto digestivo

La acción terapéutica consiste en insolubilizar el contaminante para evitar la absorción hacia el líquido extracelular y acelerar el tránsito intestinal para limitar la irradiación del tubo digestivo.

La insolubilización en la región intestinal puede realizarse mediante la administración de productos específicos que precipiten el radioelemento.

Cesio	Azul de Prusia
Estroncio	Rodizonato
Radio	Fosfato de aluminio
Cationes de valencia mayor de III	Alcalinos

Compuestos tales como absorbentes, antiácidos, laxantes, etc., son administrados como primera medida para reducir la incorporación del radionúclido. Su eficacia disminuye rápidamente con el tiempo.

Algunas de estas sustancias son utilizadas habitualmente en la práctica médica y su uso no constituye un riesgo para las personas tratadas, ya sea, por administración simple o prolongada. Los antiácidos administrados por vía oral, son efectivos después de la ingestión de radionúclidos en forma coloidal o insoluble en el tracto gastrointestinal y para aquellos que son pobremente absorbidos cuando son neutralizados, tales como tierras raras y actínidos (americio, californio, plutonio).

Los adsorbentes son generalmente útiles cuando la masa del material radiactivo ingerida es pequeña. El fosfato de aluminio gel y el hidróxido de aluminio son los más utilizados, ambos son adsorbentes y antiácidos. El sulfato de bario en combinación con el sulfato de sodio o magnesio solubles pueden ser recomendados para metales alcalinotérreos radiactivos (bario, estroncio, radio). El fosfato de calcio y aluminio pueden ser útiles después de la ingestión de calcio y fósforo, respectivamente, mientras que el azul de Prusia capta cesio, rubidio y talio en el tracto gastrointestinal.

El lavado gástrico puede considerarse solo frente a una incorporación importante y muy reciente. Los eméticos actúan por estimulación central o gástrica del vómito, no recomendándose su uso en caso de ingesta de productos corrosivos o en individuos con alteraciones de la conciencia. De acuerdo al tiempo de residencia del radionúclido en el intestino, este tejido podrá recibir una parte importante de la dosis, la que puede ser reducida mediante la remoción del mismo. Los laxantes son de utilidad cuando grandes cantidades de radionúclidos ingeridos se han unido a adsorbentes o antiácidos y deben ser removidos. Algunos purgantes son capaces de formar compuestos menos solubles con el radionúclido, reduciendo así su adsorción (ejemplo sulfato de magnesio para el radio). En algunos casos es posible evaluar la aplicación de enemas o irrigaciones colonicas [1, 24, 26].

5.2.2. Procedimientos destinados a aumentar la excreción del radionúclido contaminante

Una vez que el material radiactivo ha pasado a la sangre, la aplicación de un tratamiento lo más pronto posible puede prevenir su deposición en los tejidos y reducir la retención de radioactividad en diferentes órganos, véase Tabla 15 y Tabla 16.

Estos procedimientos pueden clasificarse de acuerdo a su mecanismo de acción:

- Tratamiento quelante
- Dilución isotópica
- Bloqueo metabólico
- Administración de agentes movilizadores
- Técnicas de eliminación extracorpóreas

5.2.2.1. Tratamiento quelante

Los compuestos quelantes pueden ser empleados para acelerar la desincorporación de radionúclidos en personas relacionadas con accidentes nucleares y radiológicos. Los quelantes se seleccionan en función de las características fisicoquímicas del radionúclido, la

estimación de dosis absorbida, la vía de incorporación al cuerpo humano, el órgano blanco, el estado clínico de la persona y el tiempo de haber ocurrido el accidente, como se muestran en las Tabla 15 y 16.

Los quelantes son compuestos con capacidad de formar complejos con radionúclidos que pueden ser posteriormente excretados por vía renal o intestinal. El agente complejante puesto en circulación en el líquido extracelular actúa sobre el elemento que ya está presente o que está en vías de absorción. El elemento es así desviado de los órganos o tejidos hacia los cuales lo conducirá el metabolismo normal.

Se requiere revisar la metodología de aplicación de los compuestos quelantes (dosis, tiempo de tratamiento, seguimiento clínico, etc.) y su aplicación clínica específica por tipo de radionúclido y asociarlas a la respuesta hematológica de cada paciente y su tolerancia a los compuestos quelantes, debido a que algunos de ellos presentan condiciones de toxicidad.

De acuerdo a la literatura, un quelante es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados. A estos complejos se los conoce como quelatos, palabra que proviene de la palabra griega chele que significa "garra".

Una de las aplicaciones de los quelantes es evitar o disminuir la toxicidad de los metales pesados o radionúclidos en los seres vivos.

Importancia biomédica

Los metales pesados no pueden ser metabolizados por el cuerpo humano y persisten en el organismo, donde ejercen sus efectos tóxicos cuando se combinan con uno o más grupos reactivos (ligandos) esenciales para las funciones fisiológicas normales.

Los quelantes se diseñan para competir con los metales o radionúclidos por los grupos reactivos fisiológicos, evitando o revertiendo así, sus efectos tóxicos e incrementando su excreción.

El interés biológico de los quelantes se originó a partir de los esfuerzos para controlar los restos de metales que contribuyen al deterioro de los alimentos.

La investigación toxicológica de algunos quelantes propuestos como aditivos alimentarios llevó a la observación de que la fuerte afinidad por los iones de calcio que caracteriza al EDTA, da por resultado una disminución de la concentración de calcio en suero.

El mecanismo de quelación ha sido utilizado por los farmacólogos en el desarrollo de nuevos agentes terapéuticos para pruebas clínicas, en una amplia gama de alteraciones patológicas en las que se requiere eliminar iones metálicos de los tejidos, o bien introducirlos en el organismo con propósitos metabólicos.

Quelatos

Los quelatos son complejos formados por la unión de un metal y un compuesto que contiene dos o más ligandos potenciales. El proceso de formación del quelato se conoce como quelatación o quelación. El producto de tal reacción es un anillo heterocíclico. Un quelante es

un ligando polidentado que se coordina a un ión central por dos o más átomos dativos. Los anillos de 5 a 6 miembros poseen más estabilidad, por lo que se diseñan quelantes polidentados, es decir, multiligantes, para lograr complejos de alta estabilidad.

La estabilidad de los quelatos varía con el metal y con los átomos ligantes. Por ejemplo, el mercurio y el plomo tienen mayor afinidad por el azufre y el nitrógeno que por el oxígeno. Estas diferencias sirven como base de la acción de los quelantes en el cuerpo humano.

Los quelatos resultantes que se forman en el cuerpo son solubles en agua y se excretan intactos en gran parte por la orina, a una velocidad más rápida que la esperada para el metal en sí.

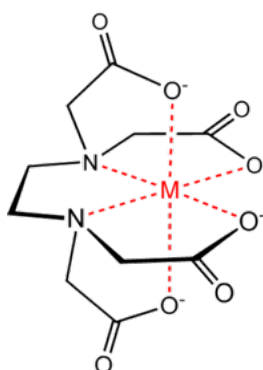


Figura 5.1. Combinación Metal-EDTA= Quelato.

Factores de uso de quelantes

La eficacia de los quelantes en el tratamiento del envenenamiento por metales pesados depende de varios factores, entre los que se incluyen:

- La afinidad relativa del quelante por el metal pesado.
- La distribución del quelante en el organismo, comparada con la distribución del metal.
- La capacidad del quelante para movilizar al exterior al metal tras la quelación.

Propiedades de los quelantes

Los quelantes poseen varias propiedades; el quelante ideal debería tener todas las siguientes:

- Alta solubilidad en agua.
- Resistencia a la biotransformación.

- Capacidad para llegar a sitios donde se pudiera almacenar el metal.
- Capacidad para formar complejos no tóxicos a partir de metales tóxicos.
- Retención de su actividad quelante al pH de los fluidos corporales y excreción rápida del quelato.
- Afinidad elevada por los metales, en comparación con los ligandos endógenos.
- Poca o nula afinidad por el ión calcio Ca^{2+} , dado que este ión tiene una gran disponibilidad para la quelación en el plasma y un quelante puede provocar hipocalcemia a pesar de poseer una elevada afinidad por los metales pesados.

Siempre es difícil extrapolar las interacciones del quelante observadas en experimentos de laboratorio a la situación del organismo vivo, por lo que es importante llevar a cabo observaciones *in vivo* para determinar la utilidad clínica de estos agentes.

Usos de los quelantes

En el tratamiento de la sobreexposición ocupacional a sustancias radioactivas como plutonio, torio, uranio y radioitrio se utiliza el ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA).

También, son usados para el tratamiento de la contaminación con algunos metales pesados radiactivos y, en particular, para actínidos y lantánidos.

Diferentes agentes quelantes son utilizados para diferentes elementos:

Ácidos Poliaminopolicarbónicos:

DTPA: Ácido Dietilentriaminopentaacético, sales de calcio o zinc.

EDTA: Ácido Etilendiaminotetraacético, sal cálcica.

Son útiles para aquellos radionúclidos que están firmemente ligados al calcio, tales como tierras raras o actínidos. Estos agentes también remueven algunos biometales (hierro, magnesio y zinc).

El DTPA es más efectivo que el EDTA, por lo que es preferido si está disponible.

Tioles: Son agentes que en su estructura química presentan grupos sulfhídricos.

BAL: 3,4 dimercaprol.

DMPS: Dimercaptopropansulfonato.

PA: Penicilamina.

Son útiles para el tratamiento de intoxicaciones con metales pesados: antimonio, arsénico, bismuto, cadmio, cobre, oro, mercurio, polonio, etc.

BAL es el agente más usado, pero es el que causa mayores efectos colaterales.

La penicilamina es capaz de quelar cobre, hierro, mercurio, plomo, oro y otros metales pesados.

Otros:

La desferoxamina puede quelar hierro e incluso compuestos de plutonio.

5.2.2.2. Dilución de material radioactivo

Consiste en la administración de grandes cantidades de un elemento estable análogo. Se acelera el ciclo metabólico del radionúclido y de este modo se acelera su excreción.

El ejemplo práctico más importantes de este mecanismo es la reducción de la deposición de yodo radiactivo en tiroides por la administración de yodo estable inmediatamente antes o inmediatamente después de la incorporación del radioisótopo (véase Tabla 15). Otro ejemplo, es la dilución del tritio mediante la incorporación de líquidos en exceso.

Este mecanismo también puede ser aplicado para intentar la dilución del calcio, cobalto, fósforo, potasio, radio, sodio, estroncio, azufre y zinc radiactivos, con el respectivo isótopo estable o su elemento análogo [1, 24, 26].

5.2.2.3. Bloqueo metabólico

Un agente bloqueante satura el proceso metabólico en un tejido específico mediante un elemento estable, reduciendo así la captación del radionúclido. El ejemplo característico es el caso de la contaminación con yodo radiactivo, véase Tabla 15. El principio consiste en saturar la tiroides con yodo estable, lo que impide la fijación ulterior del yodo radiactivo. Este último es desviado del ciclo normal de hormonogenesis y pasa a la orina.

5.2.2.4. Agentes movilizadores

Son compuestos que aumentan el proceso natural “entrega”, acelerando la eliminación del radioelemento. Estos agentes son más efectivos si se dan en forma precoz. Se puede incluir en este grupo el cloruro de amonio, capaz de movilizar depósitos de estroncio. El uso de fármacos antitiroideos (propiltiouracilo, metamizol) se postuló para movilizar depósitos tiroideos de altas cantidades de yodo radiactivo, pero sus potenciales efectos adversos no los hacen recomendables. El uso de diuréticos puede acelerar la excreción del tritio, sodio, cloro y potasio. No está demostrada la utilidad de los expectorantes y mucolíticos en el caso de contaminación respiratoria, véase Tabla 16.

5.2.2.5. Técnica de eliminación extracorpórea

Se trata de un método usado en toxicología convencional que puede ser aplicado para la remoción de radionúclidos durante su tiempo de tránsito en el torrente circulatorio, véase Tabla 15 y Tabla 16. Dependiendo de las propiedades químicas y el metabolismo del compuesto puede indicarse hemodiálisis (filtración de la sangre a través de una membrana dializante) o hemoperfusión (paso de la sangre a través de una columna de carbón activado o resina de intercambio).

5.3 Factores de eficiencia

En la Tabla 15 se listan los principales radionúclidos con mayor probabilidad de producir contaminación interna en casos de accidentes radiológicos y nucleares. Se indican el tipo de decaimiento radiactivo, la vida media radiactiva y biológica, las vías de incorporación más probable y los órganos blancos de concentración del mismo. En la Tabla 16 se presentan los tratamientos de desincorporación radiactiva recomendados, de acuerdo al radionúclido, el tipo de accidente y la condición médica del paciente.

Entre los factores de eficiencia de mayor importancia para definir la metodología clínica de desincorporación están:

La vía de incorporación, que es de vital importancia para la estimación de la dosis absorbida. La sección del tratamiento y la urgencia del inicio de la atención clínica a seguir.

El diagnóstico clínico oportuno y especializado, que es importante para lograr altos porcentajes de desincorporación radiactiva en pacientes.

El factor tiempo, que es decisivo para la efectividad de estas metodologías, siendo directamente proporcional a su aplicación preventiva de bloqueo antes del accidente, o bien de desincorporación posterior al accidente, lo más rápido posible.

Por lo cual, el tratamiento clínico del paciente deberá iniciarse antes del primer tercio de la vida media biológica del radionúclido que generó la contaminación interna, para lograr eficiencias mayores al 70% de desincorporación.

Tabla 15. Tratamiento para la desincorporación radiactiva en casos de accidentes [24, 49- 56].

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para el uso
1	Americio (²⁴¹ Am)	α	458 años	73,000 días	Inhalación Piel	Pulmón Hígado Hueso Medula ósea	DTPA
2	Azufre (³⁵ S)	β ⁻	88 días	7 días	Ingestión Inhalación	Cuerpo entero	Dilución isotópica. Tiosulfato de sodio 1 x 1 g, vía oral
3	Bromo (⁸² Br)	β ⁻ , γ	35.6 horas	8 días	Ingestión Inhalación	Cuerpo entero	Aumentar la diuresis. Ingesta de líquidos. Administración de diuréticos
4	Calcio (⁴⁵ Ca)	β ⁻	165 días	1.8 x 10 ⁴ días	Ingestión Inhalación	Hueso	Dilución Isotópica: Gluconato de calcio, inyecciones (10%) de gluconato de calcio en 500 ml de solución glucosada al 5%, por vía intravenosa lenta
	Calcio (⁴⁷ Ca)	β ⁻ , γ	4.53 días	1.8 x 10 ⁴ días			
5	Californio (²⁵² Cf)	α, γ	2.6 años	N/A	Inhalación Ingestión	Hueso Hígado	DTPA
6	Carbono (¹⁴ C)	β ⁻	5730 años	0.4 días	Ingestión Inhalación	Cuerpo entero	En vista de la corta vida media biológica generalmente no requiere acción terapéutica
7	Cesio (¹³⁷ Cs)	β ⁻ , γ	30 años	70 días	Inhalación Ingestión	Sigue la vía del potasio. Excreción renal	Azul de Prusia, insoluble
8	Cobalto (⁶⁰ Co)	β ⁻ , γ	5.26 años	9.5 días	Inhalación Ingestión	Hígado Pulmón	Succimer (DMSA) (medicamento diario), DTPA, EDTA, N-Acetil-L-cisteína. Administrar una laxante para acelerar el tránsito gastrointestinal Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca Contaminación respiratoria: inhalación de un aerosol de DTPA

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para uso
9	Cromo (⁵¹ Cr)	e ⁻ , x, γ	27.8 días	Pulmón 125 días	Ingestión Inhalación	Tracto Gastrointestinal. Pulmón	Quelación: 0.5 g DTPA-Ca (media inyección), inyección endovenosa lenta Herida: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca Tratamiento alternativo: DFOA (Deferoxamina B o Desferal®), dosis de 1 g por vía intramuscular Herida: irrigar con solución concentrada de DFOA
10	Curio (²⁴⁴ Cm)	α, γ, neutrones	18 años	Hígado: 7 300 días Hueso: 18 250 días	Inhalación Ingestión	Hígado Hueso	DTPA
11	Estroncio (⁹⁰ Sr)	β ⁻	28 años	18 000 días	Inhalación Ingestión	Hueso	Inhalación: Gluconato de calcio Sulfato de bario Ingestión: Rx es el mismo que para el radio (véase ²²⁶ Ra). Rx adicional puede incluir compuestos de estroncio estables: lactato de estroncio Gluconato de estroncio Herida contaminada: Rodizonato de sodio
12	Fosforo (³² P)	β ⁻	14.3 días	1 155 días	Inhalación Ingestión Piel	Hueso Medula ósea Células de rápida replicación	Medicamentos Hidratación + fosfato •Glicerofosfato de sodio • Fosfato sodio • Fosfato de potasio • Carbonato de calcio • Hidróxido de aluminio • Carbonato de aluminio • Sevelamer (medicamento diario)

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para uso
13	Hierro (⁵⁵ Fe)	e ⁻ , x	2.6 años	600 días (bazo)	Ingestión Inhalación	Bazo Hígado Médula ósea	<p>Quelación: En todos los casos: administrar por vía intramuscular 1 g (2 inyecciones) de deferoxamina el primer día y 0.5 g/día los días sucesivos. Puede administrarse por vía IV lenta en 250 cc de solución glucosada o fisiológica (Cl Na 0.9%)</p> <p>Tratamiento Alternativo: DTPA en infusión lenta (hasta 1 g/día) en 250 cc de solución glucosada al 5% o fisiológica</p> <p>Contaminación Respiratoria: inhalación de un aerosol de DTPA, 1 inyección en un inhalador convencional o 1 cápsula de DTPA micronizado en un turboinhalador</p> <p>Herida contaminada: lavar la herida con una solución de deferoxamina al 10% o solución concentrada de DTPA al 25%</p>
	Hierro (⁵⁹ Fe)	β, γ	45 días				
14	Indio (^{113m} In)	e ⁻ , x, γ	99.4 minutos	60 días (riñón)	Ingestión Inhalación	Riñón Tracto gastrointestinal	<p>No se requiere acción terapéutica debido al corto período de decaimiento efectivo (^{113m}In)</p> <p>En caso de contaminación con ^{114m}In, debido a su larga vida media (t_{1/2} físico 49 días) está indicado el tratamiento quelante con una solución DTPA en infusión lenta (hasta 1 g/día) en 250 cc de solución glucosada al 5% o fisiológica</p>
15	Iridio (¹⁹² Ir)	β, γ	74 días	50 días	N/A	Bazo	Considerar DTPA, EDTA
16	Itrio (⁹⁰ Y)	β ⁻	64 horas	N/A	Inhalación Ingestión	Hueso Tracto gastrointestinal	<p>DTPA EDTA</p> <p>Administración por vía oral de 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo</p>

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para uso
17	Manganeso (⁵⁴ Mn)	x	314 días	125 días (pulmón)	Ingestión Inhalación	Pulmón e hígado	<p>a. Mn en forma catiónica: quelación Inyección IV lenta de 0.5 g de DTPA-Ca (media inyección) en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. Tratamiento alternativo: 1 g de Deferoxamina IM (2 inyecciones de Desferal)</p> <p>Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca (1 inyección) o solución concentrada de Deferoxamina (1 inyección) y hacer el tratamiento sistémico correspondiente</p> <p>Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 inyección) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler). Inyectar 0.5 g de DTPA-Ca (½ inyección) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta</p> <p>b. Tratamiento Mn en compuestos aniónicos (ejemplo: permanganato) no hay tratamiento eficaz</p>
		γ		25 días (hígado)			
18	Mercurio (¹⁹⁷ Hg)	e ⁻ , x, γ	65 horas	14 días	Ingestión Inhalación	Riñón	<p>Quelación Dimercaptopropansulfonato (DMPS, Dimaval) vía oral, 3 cápsulas de 100 mg cada 3 a 6 horas</p> <p>Alternativa: 3 mg/kg dimercaprol (BAL 1 inyección de 200 mg), intramuscular cada 4 horas</p>
	Mercurio (²⁰³ Hg)	β ⁻ , γ	46.6 días				
19	Oro (¹⁹⁸ Au)	β ⁻ , γ	2.7 días	1.5 días (riñón)	Ingestión Inhalación	Riñón. Tracto gastrointestinal	<p>Quelación Penicilamina: vía oral, 1-3 cápsulas de 250 mg cada 8 h</p> <p>Tratamiento alternativo: BAL, 3 mg/kg peso de dimercaprol (BAL: 1 inyección de 200 mg) por vía intramuscular cada 4 horas</p>

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para uso
20	Plomo (²¹⁰ Pb)	β, γ	21.4 años	1.5 años (riñón) 10 años (hueso)	Ingestión Inhalación	Riñón y hueso	Quelación Dimercaptopropansulfonato vía oral (DMPS, Dimaval) 3 cápsulas de 100 mg cada 3 a 6 horas. Alternativa: 3 mg/kg dimercaprol (BAL 1 inyección de 200 mg) intramuscular cada 4 horas o inyección IV lenta de 0.5 g de DTPA-Ca (media inyección) en 250 ml de solución fisiológica o glucosada
21	Plutonio (²³⁹ Pu)	α	2.4 x 10 ⁴ años	73 000 días	Inhalación (absorción limitada) Ingestión	Pulmón Hueso Medula ósea Hígado Gónadas	DTPA DFOA EDTA DTPA + DFOA Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPA Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con un aerosol de DTPA Contaminación digestiva: administrar sulfato de magnesio
	Plutonio (²³⁸ Pu)		86 años			Hueso	
22	Polonio (²¹⁰ Po)	α	138.4 días	60 días	Inhalación Ingestión Piel	Bazo Riñones Ganglios linfáticos Medula ósea Hígado Mucosa pulmonar	El lavado gástrico Dimercaprol (BAL) Succimer (DMSA) (medicamento diario) D-penicilamina(medicamento diario) Hidroxilo de aluminio Sulfato de magnesio
23	Potasio (⁴² K)	β, γ	12.4 horas		Ingestión Inhalación	Estómago	Dilución isotópica: 4 g diarios de potasio estable por vía oral como bicarbonato de potasio, no más de 3 días. El potasio es absorbido rápidamente, y casi completamente en intestino y es excretado por vía renal Administrar un adsorbente (hidróxido de aluminio, Aludrox® suspensión) 100 ml por vía oral (6 g de hidróxido de aluminio) Administrar por vía oral 1 a 2 capsulas de furosemida (Lasix®) inicialmente, seguido de 1 capsula a las 6 horas

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para uso
24	Radio (^{226}Ra)	α, β, γ	1 602 años	16 400 días	Ingestión	Hueso	Hidróxido de aluminio Sulfato de bario Alginato de sodio Fosfato de calcio Sulfato de magnesio Gluconato de calcio Administrar vía oral cloruro de amonio 2 g cada 8 horas
25	Selenio (^{75}Se)	e^{-}, γ	120 días	125 días (pulmón) 11 días (riñón)	Ingestión Inhalación	Pulmón y riñón	No hay una terapia específica pero una dieta conteniendo 2% de sulfato de sodio incrementa la excreción de selenio tres veces
26	Sodio (^{22}Na)	β^{+}, γ	2.6 años	11 días	Ingestión Inhalación	Todo el cuerpo	Dilución isotópica , aporte adicional de cloruro de sodio en la dieta Facilitar la diuresis mediante la administración oral de furosemida (Lasix®) 1 a 2 tabletas de 40 mg seguidos de 1 tableta más a las 6 horas o clortalidona (Hygroton®) 1 tableta de 100 mg. Alternativa para vía parenteral: furosemida 1 inyección IV inicial
	Sodio (^{24}Na)	β^{-}, γ	15 horas			Gastrointestinal	
27	Tecnecio (^{99m}Tc)	e^{-}, γ	6 horas	1. 6 días 3.7 días 22 días ²	Ingestión Inhalación	Tiroides y gastrointestinal	No requiere terapia considerando el corto período de decaimiento físico
28	Torio (^{232}Th)	α	1.41×10^{10} años	Hueso: 8 030 días. Hígado/cuerpo total: 700 días	Inhalación Ingestión Piel	Hueso	Considerar DTPA
29	Tritio (^3H)	β^{-}	12.5 años	12 días	Inhalación Ingestión Piel	Todo el cuerpo	Agua diurética Hiperhidratación (4 litros/día), promover la diuresis mediante administración de clortalidona, 1 tableta de 100 mg o furosemida, 1 a 2 tabletas de 40 mg seguidos de 1 tableta más a las 6 horas

² Dependiendo del estado de la función tiroidea.

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para uso
30	Uranio (^{235}U)	α	7.1×10^8 años	15 días	Ingestión Inhalación	Riñones Hueso	Bicarbonato de sodio Para niveles de ingesta altos considerar diuréticos y/o diálisis
	Uranio (^{238}U)	α, e^-, x	4.49×10^9 años				Contaminación de piel y heridas: lavar con solución bicarbonatada al 1.4%
31	Yodo (^{123}I)	e^-, x, γ	13.3 horas	0.35 días/ 138 días ³	Inhalación Ingestión Piel	Tiroides	Dilución isotópica. Inicial: administrar por vía oral 1 a 2 tabletas x 130 mg de yoduro de potasio, sodio o magnesio (100 mg de yodo activo). Días posteriores: 1 tableta por día
	Yodo (^{125}I)	e^-, x	60.2 días				
	Yodo (^{131}I)	β^-, γ	8.1 días	138 días			Yoduro de potasio Solución saturada de yoduro de potasio Propiltiouracilo Metamizol Yoduro de potasio
32	Zinc (^{65}Zn)	e^-, β^+, x, γ	245 días	933 días (todo el cuerpo) 120 días (pulmón)	Ingestión Inhalación	Cuerpo entero y pulmón	Quelación Administrar por vía IV lenta DTPA-Zn 1 inyección en 250 ml de solución fisiológica o glucosada
33	Gases nobles (Xe)	β^-, γ	Son gases inertes que no reaccionan con el material biológico, muy poco hidrosoluble y ligeramente liposoluble, por lo que no pueden derivar en una contaminación relevante. El riesgo real es el de la irradiación por exposición a una mezcla que los contenga				
	Gases nobles (Kn)	β					

³ Dependiendo del estado de la función tiroidea.

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para uso
34	Lantánidos (tierras raras: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)	¹⁴⁰ La β ⁻ , γ	40.2 horas			Gastrointestinal	<p>En todos los casos: Inyectar 0.5 g de DTPA-Ca (½ inyección) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta</p> <p>a. Herida contaminada: Lavar la herida con solución concentrada de DTPA-Ca (25% 1 inyección de 1 g)</p> <p>b. Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con aerosol de DTPA-Ca (1 inyección) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador</p> <p>c. Contaminación digestiva: débil absorción por esta vía. Eventualmente se puede administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo</p>
		¹⁴⁴ Ce β ⁻ , γ	285 días	1500 días		Hueso	
		Hijos ¹⁴⁴ Pm β ⁻ , γ	17.3 minutos				
		¹⁴⁷ Pm β ⁻	2.62 años	1500 días		Hueso	
		¹⁶⁹ Yb x, γ	31.8 días	1000 días		Hueso	
		¹⁷⁷ Lu β ⁻ , γ	6.74 días			Gastrointestinal	

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para uso
35	Productores de fisión (¹³⁷ Cs, ⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Sr, ¹⁴⁴ Ce, I)						<p>Contaminación de piel sana: 130 mg de ioduro de potasio vía oral. Lavar con solución diluida de DTPA cálcico</p> <p>Herida contaminada: 130 mg de ioduro de potasio por vía oral. Administrar por vía IV lenta 0.5 g de DTPA-Ca (½ inyección) diluido en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. Lavar la herida con solución concentrada de DTPA-Ca. Espolvorear sobre la herida 1 g de Rodizonato de potasio. Administrar 1g de Azul de Prusia, vía oral, 3 veces al día</p> <p>Contaminación del aparato respiratorio: 130 mg de ioduro de potasio por vía oral. Nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 inyección) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador. Inyectar 0.5 g de DTPA-Ca (½ inyección) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta. Administrar por vía oral ferrocianuro férrico (Azul de Prusia) 1 g por vía oral, 3 veces al día. Administrar por vía oral alginato de sodio 10 g/día en una toma única o distribuidos en dos tomas el primer día. Días subsiguientes: 4 g/día. Administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo</p> <p>Contaminación del aparato digestivo: 130 mg de ioduro de potasio por vía oral. Inyectar 0.5 g de DTPA-Ca (½ inyección) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta. Administrar por vía oral ferrocianuro férrico (Azul de Prusia) 1 g, vía oral, 3 veces al día. Administrar por vía oral alginato de sodio 10 g/día en una toma única o distribuidos en dos tomas el primer día. Días subsiguientes: 4 g/día. Administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo</p>

No	Isótopo	Modo de decaimiento de la radiación ionizante	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento: Referencias para uso
36	Transplutónidos (²⁴¹ Am, ²⁴⁹ Bk, ²⁴² Cm, ²⁴⁴ Cm, ²⁵² Cf, ²⁵³ Es)	Berkelio (²⁴⁹ Bk) β ⁻ , γ	314 días	100 años	Ingestión Inhalación	Hueso	<p>Quelación Administrar por vía IV lenta 0.5 g de DTPA-Ca (½ inyección) diluido en 250 ml de solución fisiológica o glucosada</p> <p>De acuerdo a la puerta de entrada completar con:</p> <p>Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca (1 inyección)</p> <p>Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 inyección) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador</p> <p>Contaminación digestiva: Administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo</p>
		²⁴² Cm α, x	162.5 días				
		²⁴⁴ Cm α	17.6 años				
		Einsteinio (²⁵³ Es) α	20.4 días				

Tabla 16. Medidas para el tratamiento de la contaminación interna [24, 28, 50 - 56].

No	Fármaco	Administrado para	Mecanismos de acción	Ruta de administración	Dosis	Duración de tratamiento
1	Acetazolamida (Diamox)	Uranio (^{235}U)	Diurético inhibidor, disminuye la reabsorción a nivel de tubos renales	IV IM	1 tableta de 250 mg, 3 a 4 veces por día. Si se dispusiera de formas inyectables puede administrarse por vía IV o IM una inyección	
2	Alginato de sodio o calcio	Radio (^{226}Ra) Estroncio (^{90}Sr) Calcio (Ca)	Bloqueo Absorción intestinal	PO(tomar con un vaso lleno de agua)	5 g de BID x 1 día, entonces 1 g QID	Dos tomas el primer día, y puede continuarse a razón de 4g/día distribuidos en 4 tomas
3	Azul de Prusia, insoluble	Cesio (^{137}Cs)	Previene la absorción inicial. El intercambio iónico; inhibe la recirculación enterohepática en el tracto gastrointestinal	PO	<p>Adultos, niños >12 año:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1-3 g (2-6 cápsulas de 0.5 g; azul de Prusia insoluble por capsula) TID; hasta 10-12 g/día (basado en datos del incidente de Goiânia) • 3 g (6 cápsulas; 0.5 g de azul de Prusia insolubles por capsula) TID (ver: FDA Prospecto) <p>Niños de 2 – 12 año:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 g (2 cápsulas; 0.5 g de azul de Prusia insoluble por capsula) TID • Las cápsulas se pueden abrir y el contenido puede mezclarse con los alimentos • Ver: prospecto FDA para la información de prescripción pediátrica <p>Niños <2 años: Azul de Prusiano está aprobado por la FDA para su uso (IND o EUA pueden estar requeridos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mínimo 30 días dado por la FDA • Obtener bioensayos y conteo de cuerpo entero para evaluar la eficacia del tratamiento • La duración de la terapia depende de la carga corporal total y la respuesta al tratamiento

No	Fármaco	Administrado para	Mecanismos de acción	Ruta de administración	Dosis	Duración de tratamiento
4	Bicarbonato de sodio	Uranio (²³⁵ U)	Facilita el aumento de excreción renal	IV	2 inyecciones (44.3 mEq bicarbonato/ inyección) en 1000 cc con dextrosa en agua al 5% (D5W) o 0.9% de cloruro de sodio (solución normal salina, NS) • 250 cc (1-2 mEq/kg) infusión lenta	Administrarla terapia hasta que el pH de la orina sea 8-9; continuar Rx durante 3 días
				PO	2 tabletas cada 4 hora	
				Lavados cutáneos	En contaminación de piel intacta o heridas con uranio, realizar lavados con solución de bicarbonato de sodio al 14%	El tratamiento se continuará los días subsiguientes según la importancia de la contaminación
5	Bicarbonato de potasio	Potasio (K)	Dilución isotópica	PO	4 g diarios de potasio estable por vía oral como bicarbonato de potasio	No más de 3 días
6	Carbonato de aluminio	Fosforo (³² P)	Ligante fosfato	PO	Tabletas de 600 mg TID o 400 mg/5 cc TID	
7	Carbonato de calcio	Radio (²²⁶ Ra) Estroncio (⁹⁰ Sr)	Compite por los sitios de unión del hueso	PO	Utilizar como se indica en la etiqueta	Comience el tratamiento dentro de las 12 horas a la ingesta de los radionúclidos, si es posible
8	Clortalidona	Sodio, Tritio (³ H), otros	Sal diurética	PO	100 mg en una toma única el primer día, seguido de 50 mg/día (o 100 mg día por medio) los días subsiguientes	Dependiendo de la importancia de la contaminación
9	Cloruro de amonio	Alcalinotérreos	Acelerador de excreción urinaria	O	Una dosis de 6 g (12 tabletas) por vía oral en 3 tomas repartidas en el día (4 tabletas por toma), si es posible durante las comidas	El tratamiento se continuará los días subsiguientes según la importancia de la contaminación, a razón de 3 a 6 g por día
10	Deferoxamina (DFOA)	Plutonio (²³⁹ Pu)	Agente quelante, eliminación urinaria	IM (ruta preferente)	2 inyecciones (500 mg DFOA/inyección)	• Dar una sola dosis, luego obtener bioensayo para evaluar la carga residual de ²³⁹ Pu en el cuerpo • Repetir como se indica: 500 mg IM (preferido) o IV cada 4 h x 2 dosis, y luego 500 mg IV cada 12 h durante 3 días
				IV (infusión lenta)	2 inyecciones (500 mg DFOA/inyección) en 15 mg/kg/h	
				Por sonda nasogástrica	Hasta 8 g	
				Subcutánea	Bomba portátil de infusión continua	Adecuada para tratamientos prolongados

No	Fármaco	Administrado para	Mecanismos de acción	Ruta de administración	Dosis	Duración de tratamiento
11	Dimercaprol (BAL)	Polonio (²¹⁰ Po)	Agente quelante	IM (300 mg / vial para una inyección IM profunda solamente)	2.5 mg/kg QID x 2 días (días 1 y 2), luego un BID x 1 día (día 3), luego QD (días 4-10)	10 días
12	Dimercaptopropansulfonato (DMPS) de sodio	Mercurio, plomo, polonio, arsénico, cobre, antimonio, cromo y cobalto	Quelante	O IV	Se recomiendan 3 cápsulas cada 3 a 6 horas el primer día. Los días subsiguientes cada 8 a 12 horas Primer día: 250 mg (1 inyección) vía IV lenta cada 3 a 4 horas (1.5 a 2 g/día). Segundo día: 250 mg de DMPS IV lento cada 4 a 6 horas (1 a 1.5 g/día). Tercer día: 250 mg de DMPS IV lento o intramuscular cada 6 a 8 horas (0.75 a 1 g/día). Cuarto día: 250 mg de DMPS IV lento o intramuscular cada 8 a 12 horas (0.5 a 0.75 g/día).	La duración del tratamiento se ajustará de acuerdo a las condiciones clínicas y al monitoreo de la excreción urinaria del radionúclido.
13	D-penicilamina (medicamento diario)	Polonio (²¹⁰ Po)	Agente quelante	PO	Adultos: 0.75 a 1,5 g (250 mg / cápsula) QD Niños: 30 mg/kg/día (250 mg / cápsula) dividido en 4 tomas	<ul style="list-style-type: none"> • Obtener bioensayo para evaluar • Continuar sólo si es indicado clínicamente • D-penicilamina tiene un índice terapéutico estrecho, su uso está asociado con un alto riesgo de toxicidad.

No	Fármaco	Administrado para	Mecanismos de acción	Ruta de administración	Dosis	Duración de tratamiento
14	DTPA (Ácido Dietilentriaminopentaacético) calcio y zinc	Americio (²⁴¹ Am) Californio (²⁵² Cf) Cobalto (⁶⁰ Co) Curio (²⁴⁴ Cm) Plutonio (²³⁸ Pu y ²³⁹ Pu) Itrio (⁹⁰ Y)	Agente quelante	IV (dar una vez al día en forma de bolo o como una sola infusión, es decir, no fraccionarla dosis)	<p>Adultos: 1g en 5 cc de dextrosa al 5% en agua (D5W) o 0.9% de cloruro de sodio (solución salina normal, NS) IV lenta sobre 3-4 minutos o 1g de 100-250 cc de D5W o como una infusión NS durante 30 minutos</p> <p>Niños <12 años: 14 mg/kg/ día IV lenta durante 3-4 minutos (sin exceder 1g/día)</p>	<p>Comenzar el tratamiento con Ca-DTPA, a continuación, cambiara Zn-DTPA y mantener como se indica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Duración de la terapia depende de la carga corporal total y la respuesta al tratamiento
				Inhalación Nebulizada (para uso en adultos solamente)	1g en dilución 1:1 con agua estéril o NS por 15-20 minutos	
				Heridas fluido de irrigación	1g de Ca-o Zn-DTPA y 10 cc de lidocaína al 2% en 100 cc 5% de dextrosa en agua (D5W) o 0.9% cloruro de sodio (solución salina normal, NS)	
15	EDTA (Ácido etilendiaminotetraacético)	Cobalto (⁶⁰ Co) Plutonio (²³⁸ Pu y ²³⁹ Pu)	Agente quelante	IV	1000 mg/m2/día en 500 cc de dextrosa en agua al 5% (D5W) o cloruro de sodio al 0.9% (solución salina normal, NS); administrar durante 8-12 horas	Dada en una sola dosis
				IM	Dosis IV dividida igualmente en dos dosis y administrar 8-12 horas	Dada como una dosis dividida

No	Fármaco	Administrado para	Mecanismos de acción	Ruta de administración	Dosis	Duración de tratamiento
16	Fosfato de aluminio	radio, bario y estroncio	Absorbente en el tracto gastrointestinal	O	En la emergencia se administran 5 sobres (55 g de fosfato de aluminio) en una sola toma. El tratamiento debe ser continuado en días siguientes con 1-2 sobres, 2-3 veces al d. Los sobres conteniendo 11 g de fosfato de aluminio	Depende de la severidad de la contaminación
17	Fosfato de calcio	Radio (^{226}Ra) Estroncio (^{90}Sr)	Incrementa la excreción	PO	1 200 mg	Dar una dosis dentro de 24 horas posteriores a la ingesta del radionúclido para bloquear absorción intestinal; administrar antes de que se produzca la absorción
18	Fosfato de potasio	Fosforo (^{32}P)	Ligante fosfato	PO	600 – 1 200 mg, dados en dosis divididas	
19	Fosfato de potasiodibásico	Fosforo (^{32}P)	Ligante fosfato	PO (tomar con vaso lleno de agua con comidas y a la hora de acostarse)	Adultos: 1-2 tabletas (250 mg/ tab) QID Niños >4 años: 1 tableta (250 mg/ tab) QID	
20	Fosfato de sodio	Fosforo (^{32}P)		PO	600-1200 mg, administrada en dosis divididas	
21	Furosemida	sodio, potasio, cloro y tritio	Diurético	O y parenteral	Se recomiendan de 20 a 80 mg/día por vía oral y dosis mínima parenteral de 20 mg/día	
22	Glicerofosfato de sodio	Fosforo (^{32}P)		PO	600-1200 mg, administrada en dosis divididas	
23	Gluconato de calcio	Radio (^{226}Ra) Estroncio (^{90}Sr)	Compite por los sitios de unión del hueso, ligante fosfato	IV	5 inyecciones (500 mg Ca/inyección) en 500 cc 5 % dextrosa en agua (D5W); administrar cada 4-6 horas	6 días; iniciar la terapia dentro de las 12 horas de la ingesta de radionúclidos, si es posible

No	Fármaco	Administrado para	Mecanismos de acción	Ruta de administración	Dosis	Duración de tratamiento
24	Gluconato de cobalto	Cobalto	Dilución isotópica	IM	Se administran 900 µg de gluconato de cobalto por vía IM. El tratamiento puede continuar los días siguientes	El tratamiento puede continuar según la importancia de la contaminación, a razón de 1 a 2 inyecciones por día
25	Hidróxido de aluminio	Radio (²²⁶ Ra)	Bloqueo Absorción intestinal	PO	Adultos: 60- 100 mL (1200 mg)	Dar una dosis dentro de 24 horas posteriores a la ingesta del radionúclido para bloquear absorción intestinal; administrar antes de que se produzca la absorción
		Estroncio (⁹⁰ Sr)			Niños: 50 mg/kg, sin exceder la dosis de adulto	
		Polonio (²¹⁰ Po)				
		Fosforo (³² P)	Ligante fosfato	PO	Tableta de 600 mg de TID o 320 mg/5cc de TID	
26	Lactato de estroncio	Estroncio	Dilución isotópica	O	500 a 1500 mg por día, repartidos en varias tomas, durante las comidas	El tratamiento puede continuar los días subsiguientes, según la importancia de la contaminación
27	Propiltiouracilo	Yodo (¹³¹ I)	Agente bloqueador	PO	Adultos: 2 tabletas (50 mg/tab) TID	8 días
28	Rodizonato de potasio	Estroncio	Insolubilizante	uso externo que se aplica en el caso de heridas contaminadas	Se aplica esparciendo 1 g de rodizonato a nivel de la herida contaminada	
29	Sevelamer (medicamento diario)	Fosforo (³² P)	Ligante fosfato	PO	<ul style="list-style-type: none"> • 2-4 tabletas (400 mg–800 mg/ tableta) TID • No debe exceder 1600 mg TID 	5 días si es posible, la primera dosis es la más importante
30	Succimer(DMSA) (medicamento diario)	Polonio (²¹⁰ Po)	Agente quelante	PO	<ul style="list-style-type: none"> • Cápsulas 100 mg • Administrar 10 mg/kg o 350 mg/m² cada 8 h durante 5 días, luego reduzca; seguridad y eficacia en niños <12 años no ha sido establecido 	Reducir la frecuencia de administración a 10 mg / kg o 350 mg/m ² cada 12 horas durante una semana adicional de terapia; típica curso del tratamiento: 19 días

No	Fármaco	Administrado para	Mecanismos de acción	Ruta de administración	Dosis	Duración de tratamiento
31	Sulfato de bario	Radio (^{226}Ra) Estroncio (^{90}Sr)	Bloqueo Absorción intestinal	PO	100-300 g (como una sola dosis en 250 cc de agua)	Dar una dosis dentro de 24 horas posteriores a la ingesta del radionúclido para bloquear y evitar la absorción intestinal; administrar antes de que se produzca la absorción
32	Sulfato de magnesio	Radio Estroncio Cobalto Polonio Plutonio	Laxante salino	O	10 a 15 g por día (4 a 6 inyecciones de 10 ml) el primer día. En ese caso se continuará los días subsiguientes con 5 a 10 g por día	El tratamiento puede continuarse durante algunos días según la importancia de la contaminación y la susceptibilidad individual a la acción laxativa
33	Sulfato de sodio	Selenio	Incrementa la excreción	O		
34	Tiosulfato de sodio (Hiposulfito de sodio)	Azufre	Dilución isotópica	O	Solución al 10%. Dosis única de 1g	

No	Fármaco	Administrado para	Mecanismos de acción	Ruta de administración	Dosis	Duración de tratamiento
35	Yoduro de potasio (KI)	Yodo (¹³¹ I)	Agente bloqueador	PO	<p>Adultos > 40 años: 130 mg/día (Para dosis tiroidea proyectada ≥ 500 cGy)</p> <p>Adultos de 18- 40 años: 130 mg/día(Para dosis tiroidea proyectada ≥10 Gy)</p> <p>Mujeres embarazadas o en período de lactancia las mujeres de cualquier edad: 130 mg/día (Para dosis tiroidea proyectada ≥5 cGy)</p> <p>Adolescentes ≥ 70 kg: 130 mg/día (Para dosis tiroidea proyectada ≥ 5 cGy)</p> <p>Niños y adolescentes 3-18 años: 65 mg/día (para dosis tiroidea proyectada ≥ 5 cGy)</p> <p>Bebés y niños pequeños 1 mes- 3 años: 32.5 mg/día (Para dosis tiroidea proyectada ≥5 cGy)</p> <p>Recién nacidos desde el nacimiento -1 mes: 16 mg/día (Para dosis tiroidea proyectada ≥5 cGy)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Algunos incidentes requerirán sólo una única dosis de KI. • Los manejadores de incidentes pueden recomendar dosis diarias adicionales si la ingestión o inhalación de yodo radioactivo representa una amenaza continua. • Consulte también: duración de la terapia de yoduro de potasio (KI) • No se recomienda prolongar el tratamiento más allá de un día en los recién nacidos • No recomienda prolongar el tratamiento en las mujeres gestantes más allá de dos días
36	agua	Tritio (³ H)	Facilita la excreción	PO	> 3-4 litros/día	3 semanas

Capítulo 6

Diagnóstico y Tratamiento de Síndromes por Radiación

6.1 Síndrome agudo de radiación

El síndrome agudo de radiación es resultado de la exposición externa a dosis de radiación mayores a un Gy a cuerpo entero o a una mayor dosis de radiación en un periodo de tiempo corto (tasa de dosis alta) y el grado de homogeneidad de la exposición. El cuerpo entero, en esta instancia, puede ser considerado desde las rodillas hacia arriba. La reconstrucción de dosis, el tiempo de emesis, la cinética de linfocitos y neutrófilos, el historial clínico, observando el tiempo y secuencia de los signos / síntomas, y varios marcadores bioquímicos se pueden utilizar para una estimación temprana de dosis [1].

En muchos de los accidentes radiológicos y nucleares que provocan contaminación interna, también ocurre una irradiación interna producida por la incorporación de material radiactivo cuyo daño puede provocar SAR. Además, una inmediata identificación entre una irradiación o contaminación es vital para un adecuado y oportuno tratamiento.

6.1.1. Etiología

El daño ocasionado por la radiación en las células ocurre en un intervalo de microsegundos de exposición. El daño celular es generalmente más severo en el tipo de células con una reproducción rápida, tales como las células intestinales y células madre, o células que tienen núcleos grandes como los linfocitos. El daño en líneas celulares como éstas puede resultar en un gran número de señales y síntomas clínicos.

6.2 Síndrome agudo de radiación y dosis absorbida

El Síndrome Agudo de Radiación (SAR) es una enfermedad aguda que varía desde el momento de la irradiación hasta pocas horas o semanas. Típicamente, la enfermedad sigue un patrón de síntomas prodrómicos, un periodo latente, enfermedad, seguido de una

recuperación o muerte. Cada fase varía en longitud relativa a la dosis de radiación recibida y el órgano/tejido involucrado está relacionado con la dosis de radiación descrita en la Tabla 17 [1].

Tabla 17. Efectos de la Radiación [1].

Dosis (Gy)	Mayor a 20	Supresión de la Médula Ósea	Principio de Síndrome Neurovascular	Falla orgánica múltiple
	11			Muerte probable
	10			Considerar trasplante de médula ósea y células madre
	9			
	8			
	7			LD ⁴ _{50/60} con
	6			Cuidado intensivo
	5			LD _{50/60} sin tratamiento
	4			
	3			
	2			~100% de sobrevivir sin tratamiento
	1		Inicio de síndrome hematopoyético	
	0			

Poco después de la irradiación, los primeros síntomas aparecen y duran un periodo limitado de tiempo, a lo que se le llama síndrome prodrómico de radiación. Es causado por la liberación aguda de citosinas, prostaglandinas y péptidos vasoactivos. Con dosis de unas decenas de Gy, todos los individuos expuestos muestran todas las fases del síndrome entre 5 y 15 minutos de exposición. Los signos prodrómicos y síntomas por altos niveles de exposición a la radiación incluyen anorexia, náusea y vómito, diarrea y fiebre ligera; conjuntivitis, si la dosis de radiación fue cercana a los ojos, y posible eritema en piel debido a exposiciones agudas a cuerpo entero.

Las señales y síntomas del síndrome prodrómico pueden ser divididos en 2 grupos: gastrointestinal y neuromuscular. Los síntomas gastrointestinales son: anorexia, náuseas, vómito, diarrea, calambres intestinales, salivación, pérdida de fluidos, deshidratación y pérdida de peso. Los síntomas neuromusculares son: agotamiento, sudoración, fiebre, hipotensión y dolor de cabeza.

Una estimación entre la cronología de los síntomas (vómito y diarrea) y la estimación de la dosis cuya severidad aumenta con la dosis se muestra en la Tabla 18 y Tabla 19.

⁴LD_{50/60}: Dosis Letal media

Tabla 18. Estimación de dosis por cronología del vómito.

Tiempo en que aparece el vomito	Estimación de dosis
< 30 min	6 Gy
0.5 a 1 h	4 a 6 Gy
1 a 2 h	2 a 4 Gy
2 a 3 h	1 a 2 Gy
Ausencia	< 1 Gy

Tabla 19. Estimación de dosis por cronología de la diarrea [31].

Manifestación	Tiempo luego de la exposición (h)	Estimación de dosis (Gy)
Diarrea	-	3
Diarrea	< 2 h	6 – 10
Diarrea	< 1 h	>10
Fiebre, hipotensión, signos neurológicos		Dosis letal

Los síntomas prodrómicos son generalmente reversibles, remiten espontáneamente dando lugar a una fase de latencia, clínicamente silenciosa. Esta es tanto más corta cuanto mayor haya sido la dosis. En la forma neurovascular no hay fase de latencia, el paciente pasa de la etapa prodrómica al periodo de enfermedad.

El SAR incluye a una fase subclínica (< 1 Gy) y tres subsíndromes como resultado de una irradiación de cuerpo entero o irradiación de una fracción significativa del cuerpo. Los síndromes clínicos que resultan de una exposición a la radiación ocurren dentro de un rango predecible de dosis después de una exposición de cuerpo entero o una parte de éste. Estos signos pueden ser usados para obtener una aproximación de la dosis considerando los síntomas y signos vitales del paciente. A continuación se presentan tres indicios asociados con varias dosis absorbida de radiación [1].

- Síndrome Hematopoyético (> 1 Gy)
- Síndrome Gastrointestinal (> 6-12 Gy)
- Síndrome Cardiovascular (SC) y Síndrome del Sistema Nervioso Central (SNC) (> 20 Gy)

En los síndromes se debe tener una observación cuidadosa con la linfopenia, neutropenia y quizás pancitopenia debido a que la aplasia de médula ósea puede resultar en sepsis, hemorragias y restablecimiento deteriorado de heridas.

6.2.1. Síndrome Hematopoyético

Debido a la rápida producción de células madre, las células progenitoras de la médula ósea están dentro de las células más sensibles en las personas (véase Figura 6.1). Los linfocitos maduros también son muy sensibles a los efectos ionizantes debido a sus grandes núcleos. El umbral de la dosis absorbida para el síndrome hematopoyético está considerado mayor a 1 Gy, pero no mayor a 2 Gy, que clínicamente significa enfermedad hematológica. Las células progenitoras mitóticamente activas son esterilizadas por la radiación, y el suministro de glóbulos rojos, glóbulos blancos maduros y plaquetas disminuye. El tiempo de una crisis potencial, en el cual el número de células circundantes en la sangre alcanza un valor mínimo, es de algunas semanas. Esto es solo cuando las células maduras circundantes empiezan a morir y el suministro de nuevas células de la población precursora es insuficiente para reemplazarlas haciendo evidente los efectos totales de la radiación [1].

Las manifestaciones clínicas típicamente ocurren después de pocas semanas del evento. Esto es debido a que, los progenitores hematopoyéticos mitóticamente activos son incapaces de dividirse después de una exposición de cuerpo entero mayores de 2-3 Gy. Dosis mayores a las anteriores involucran varios órganos y pueden significativamente complicar la manipulación o atención al paciente. La linfopenia, seguida de una disminución de otros elementos sanguíneos, impide la coagulación y permiten la infección, llevando a la muerte al paciente.

La necesidad de soporte hematológico puede ser prolongada e incluir productos sanguíneos, factor de crecimiento hematopoyético y antibióticos. Es importante tener presente que la combinación de lesiones y un padecimiento agudo por radiación en presencia de un trauma físico tal como quemaduras y heridas, exhibe una mayor tensión y dolor entre la dosis de radiación y el trauma. Lesiones físicas análogas complican el tratamiento de SAR y el tiempo de recuperación se puede prolongar e incrementarse la probabilidad que el paciente muera. De manera contraria, los pacientes que presentan SAR con quemaduras y/o heridas frecuentemente sufren sangrado e infección debido a la supresión hematopoyética.

Los cuidados de apoyo modernos son capaces de cambiar la probabilidad de supervivencia de LD_{50/60} (50% de la población sobrevive en 60 días) desde 3.5-4 Gy (sin atención médica) hasta 5-6 Gy con apoyo y cuidado médico como transfusión y antibióticos. Los cuidados de apoyo están diseñados para mantener las células madre del paciente con vida y estimularlas para reanudar la producción de células sanguíneas (neutrófilos y plaquetas). La adición de factores estimulantes de colonización (FEC) y cuidados pueden elevar la probabilidad LD_{50/60} de sobrevivir para dosis absorbida entre 6-8 Gy. Los valores más elevados de supervivencia se tienen entre dosis de 6 Gy o menos sin trauma físico [1].

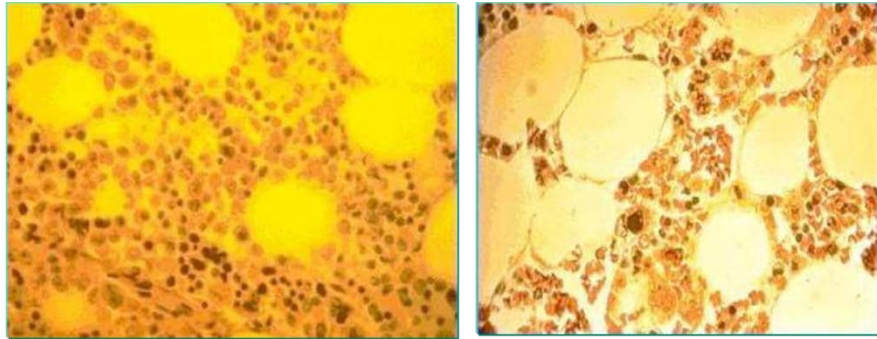
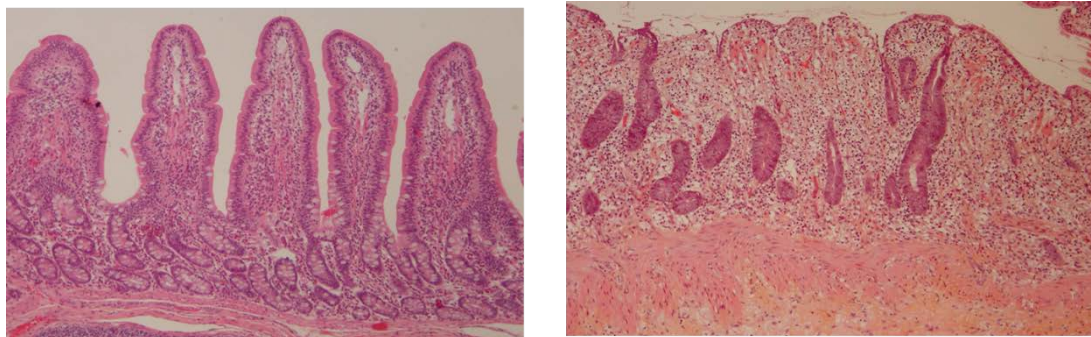


Figura 6.1. Médula ósea normal e irradiada.

6.2.2. Síndrome Gastrointestinal

Aunque de manera relativamente ligera, el síndrome gastrointestinal (SGI), se puede presentar alrededor de una dosis de 6 Gy. Dentro de un rango de 8 Gy, el SGI llega a ser más sintomático iniciando con severas náuseas, vómito y diarrea. El tiempo en presentarse estos síntomas está relacionado con la dosis relativa, por lo tanto, si estos se presentan en un tiempo corto, la dosis que la víctima ha recibido ha sido elevada (véase sección 4.3).

Enfermedades clínicas adicionales al SGI, pueden incluir, cambios significativos en fluidos y electrolitos, inadecuada absorción de nutrientes, sangrado gastrointestinal, sepsis, pérdida de la integridad de las células en las vellosidades y mucosa intestinales (véase Figura 6.2). Una vez iniciada la pérdida de células epiteliales en el tracto gastrointestinal, diversas bacterias tienen acceso libre a todo el organismo y a menudo sirve esto como impulso para la septicemia por bacterias Gram negativas. Se añaden a esto hemorragias significativas en diversas áreas. A pesar que la muerte por radiación, en rangos de dosis de 8 Gy, ocurre en varias semanas después del incidente, el periodo de sobrevivir puede extenderse considerablemente con cuidados intensivos [1].



NORMAL

16 Gy – día 5

Figura 6.2. Mucosa intestinal normal e irradiada.

A pesar de no estar asociado con SGI, es necesario valorar si la dosis que recibió la víctima penetró al torso en un rango de 6-8 Gy o mayor debido a los efectos adversos que puedan presentarse en el sistema pulmonar.

6.2.3. Síndromes SNC y SC

Los síndromes SNC y SC ocurren a dosis absorbidas mayores de 20 Gy. Náuseas y vómito se presentan en los primeros minutos después de la exposición incapacitando al paciente, y provocándole desorientación, pérdida de la coordinación de movimientos musculares, dificultad para respirar. Después de la incapacitación se cuenta con un periodo muy corto que va de pocas horas a pocos días en que el paciente regresa a la funcionalidad, seguido de un deterioro de su estado con los signos y síntomas de hiperpirexia, agotamiento y disminución en la presión sanguínea. Esto será acompañado, posteriormente por inconsciencia, inestabilidad vascular y finalmente la muerte. Las convulsiones pueden o no ocurrir. Edemas cerebrales y diversas patologías en diferentes órganos se pueden observar durante la necropsia [1].

A dosis de cuerpo entero del orden de 100 Gy resulta una muerte dentro de 24 a 48 horas de la irradiación. A estas dosis todos los sistemas de órganos son seriamente dañados.

6.3 Manejo clínico de SAR

El manejo del SAR se enfoca principalmente en el apoyo y recuperación del sistema hematológico. La aparición temprana de anorexia, náuseas, vómito y malestar general son indicaciones de dosis más altas. Los dos objetivos principales del tratamiento médico son los esfuerzos para prevenir la neutropenia y sepsis que son anunciadas por la fiebre. Al empeorar la neutropenia, el riesgo de infección aumenta especialmente cuando el recuento absoluto de neutrófilos desciende por debajo de $100/\text{mm}^3$ [1].

La historia y la observación cuidadosa del grupo de síntomas pueden ayudar en la diferenciación entre un caso de emesis psicológico y el inducido por radiación. Una temprana recolección de muestras de sangre para conteos de cuerpo completo con diferencial repetido cada 6 a 12 horas permitirá el cálculo del conteo de linfocitos absolutos (ALC) y el conteo de neutrófilos absoluto (ANC), una rápida y profunda disminución del ALC indican una alta dosis. El ALC y la razón neutrófilos/linfocitos junto con el tiempo de emesis, se puede usar para estimar la severidad de la dosis de radiación y la puntuación resultante del triage. Además, un aumento de amilasa indica dosis mayores a 1.5 Gy, el aumento de transaminasa glutámico oxalacética (TGO) sugiere dosis letal, el descenso del cociente láctico deshidrogenasa (LHD)/fosfatasa alcalina (PA) sugiere dosis letal.

Las infecciones neutropénicas son comunes, pero se produce una gran variabilidad en organismos infecciosos gram negativos y gram positivos en algunos pacientes e instituciones. Teniendo en cuenta que los pacientes con SAR tienen un sistema inmune debilitado, los medicamentos antivirales y antifúngicos también deben ser considerados. La selección de los

regímenes de tratamiento para las infecciones deben seguir las recomendaciones actuales de la Sociedad de Enfermedades Infecciosas de América (IDSA).

El Filgrastim (Neupogen®) es un granulocito con factor estimulante de colonias (G-CSF) como en su forma pegilada más duradera (Neulasta®). El Sargramostim (Leukine®) es un granulocito macrófago con factor estimulante de colonias (GM-CSF) [33, 34]. Estos son estimuladores de la hematopoyesis que acortan el tiempo de recuperación de neutrófilos y macrófagos. Con estos medicamentos la máxima eficacia se logra a través de la administración temprana después de la exposición, preferiblemente dentro de las 24 a 72 horas. Las inyecciones diarias deben continuar hasta que el recuento absoluto de neutrófilos alcanza 1000/mm³. Véase Tabla 20 y Tabla 21.

Tabla 20. Factores de crecimiento en el SAR [31].

Factores de crecimiento en el SAR	
Dosis en Gy	Indicación
<3	No
>3 - <5	puede ser esencial
>8	probablemente no efectiva
	<ul style="list-style-type: none"> o indicación preliminar cuando neutrófilos <500/mm³ administrar hasta CAN >1.000/mm³

Tabla 21. Tratamiento hematológico: infusión de plaquetas.

Tratamiento hematológico: infusión de plaquetas	
Condición	Indicación
Situación clínica individual	+/-
Monitoreo intensivo + Complicaciones – Hemorragia -	Umbral: 10 X 10 ⁹ /L
Monitoreo intensivo - Riesgo de hemorragia o hemorragia +	Umbral: 20 X 10 ⁹ /L
Trauma adicional + Cirugía +	Umbral: 50 X 10 ⁹ /L
Transfusiones masivas + Edema cerebral +	

6.3.1. Tratamiento del SAR: fase prodromal

Para el control de vómitos se recomienda: metoclopramida, antagonista receptivo de los receptores 5-HT₃ (ondansetron), hidratación (equilibrio electrolítico).

Ondansetron; Zofran®, Zofran ODT®- inicial: 0.15 mg/kg IV. Una opción continua de dosis en forma intravenosa (IV) consiste de 8 mg seguidos por 1 mg/h por las siguientes 24 horas. Dosis oral: 8 mg cada 8 horas según sea necesario.

Granisetron; Kytril®- forma dosis oral (tabletas): La dosis es generalmente de 1 mg inicialmente y se repite 12 h después de la primera dosis. Alternativamente, 2 mg pueden tomarse como una dosis. La dosis IV está basada en el peso corporal, esta es típicamente de 10 microgramos por kilogramo de peso corporal.

Para la diarrea: anticolinérgicos, loperamida, etc.

6.3.2. Tratamiento del SAR: fase de manifestación

Básicamente se trata de prevenir las infecciones y hemorragias, el manejo de la aplasia medular, mantener el equilibrio electrolítico y nutricional.

6.3.3. Prevención y tratamientos de infecciones

Medidas ambientales

Admisión en ambiente con cuidados de aislamiento estéril y utilización de equipos de filtración del aire ambiental.

Medidas dietéticas

Dieta exenta de vegetales crudos, alimentos no cocidos y frutas cítricas, proporcionar agua filtrada y hervida.

Reducción de procedimientos invasivos innecesarios

Evitar la introducción de sondas y catéteres.

Cuidados generales con el paciente

Lavar al paciente diariamente con yodo-povidona o clorhexidina, lavado diario del cuero cabelludo con champú, cortar y cepillar diariamente las uñas, higiene oral diaria (cepillado, hilo dental y enjuagues con solución de agua oxigenada una hora tras la comida).

Medidas de solución bacteriana

Empleo de antibióticos, por vía oral, como quinolónicos y nistatina, como profilaxis contra gérmenes anaerobios; podrían ser indicados en el caso de que los granulocitos presenten valores menores a $1,500/\text{mm}^3$; *MEDIDA NO UNIVERSALMENTE ACEPTADA*.

Para pacientes del sexo femenino, ducha vaginal de yodo-povidine y óvulo vaginal de nistatina. Preservación de la acidez gástrica, evitándose antiácidos y bloqueadores H2 (empleo de sucralfate para la profilaxis de la úlcera de stress, cuando esté indicado).

Infecciones virales

Se chequeará la presencia de citomegalovirus (CMV), ya que la experiencia ha demostrado que la neumonía por CMV es una complicación frecuente en este tipo de pacientes; aciclovir oral o venoso, conforme positividad para anti-HSV; la presencia de mucositisfaríngea o esofagitis sugieren infección por Herpes simple o candidiasis (véase Figura 6.3); en este caso, se debe considerar el uso empírico de aciclovir o la terapia antifúngica específica.

VSR: ribaravina presión 6 g/300 ml de agua estéril – 18 h/día/18 días.

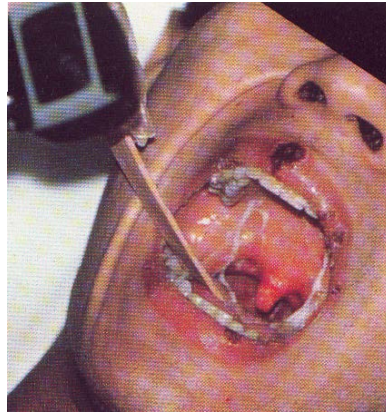


Figura 6.3. Infección viral.

Antibioticoterapia empírica

Indicación: fiebre $>38.5^{\circ}\text{C}$ o en la presencia de otras señales de infección, en pacientes con recuento de granulocitos $<500/\text{mm}^3$;

Elección del esquema inicial de antibióticos: tipo y localización de otras infecciones recientes en el mismo individuo; experiencia del equipo asistente en el manejo de cada tipo específico de antibiótico; disponibilidad de antibióticos en la unidad y/o facilidad en obtenerlos; características individuales del paciente, como alergia a un determinado antibiótico, insuficiencia renal, etc.;

Citosinas: dosis recomendadas

Las citosinas siguientes están disponibles para los pacientes que se espera experimenten una neutropenia grave, para minimizar la gravedad de las complicaciones asociadas con neutropenia [32, 35-38]:

- G-CSF: Filgrastim (**Neupogen**[®]). Factor estimulante de colonias de granulocitos. Dosis para adulto 2.5-5 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$ en una sola inyección diaria por vía subcutánea o su equivalente (100-200 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$), hasta que el recuento absoluto de neutrófilos cuenta $> 1.0 \times 10^9$ células/L.
- GM-CSF: Sargramostim (**Leukine**[®]). Factor estimulante de colonias granulocito-macrófago. 5-10 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{d}$ QD por vía subcutánea o su equivalente (200-400 $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$), continuo hasta que el recuento absoluto de neutrófilos cuenta $> 1.0 \times 10^9$ células/L.
- Peg G-CSF: Perfilgrastim (**Neulasta**[®]) 6 mg por vía subcutánea una vez. Considerar la segunda dosis de 6 mg, 7 o más días después de la dosis inicial, si persiste la neutropenia significativa.

6.4 Síndrome cutáneo de radiación (SCR)

El síndrome cutáneo de radiación se define como el conjunto de síntomas y signos consecutivos a la sobreexposición de la piel con altas dosis. De acuerdo al tipo de escenario, puede resultar en una exposición aguada de todo el cuerpo a muy altas dosis o, más frecuentemente, ser la consecuencia de una irradiación localizada.

La piel responde frente a las radiaciones ionizantes de manera similar que frente a otro tipo de noxas físicas, pero existen particularidades que diferencian a las quemaduras radiológicas de las quemaduras térmicas. Estas diferencias son que el agente causal no es visible ni puede ser percibido por los sentidos (el individuo puede ignorar que fue expuesto a radiaciones ionizantes), las lesiones no se evidencian en forma inmediata, el daño (tanto en superficie como en profundidad) puede ser mucho mayor de lo que evidencian las lesiones clínicas, el dolor no es inmediato, pero puede haber parestesias precoces, las lesiones son “dinámicas” con crisis de dolor paroxístico que preceden a las crisis de reagudización.

Existe un retardo en las manifestaciones clínicas, que expresa la cinética de proliferación de los tejidos irradiados (epidermis: respuesta rápida; dermis: respuesta lenta), la evolución es cíclica con alternancia de períodos críticos y períodos clínicamente silenciosos, con crisis de reagudización. Las células de la capa basal de la epidermis son las más radiosensibles. Las radiaciones ionizantes inducen activación endotelial con alteración de la homeostasis vascular. La disfunción endotelial está involucrada en la fisiopatología del SCR. Además de la piel, puede haber lesión en tejidos profundos (músculo, hueso). Las fases para el SCR son las mismas que para el SAR. En la Tabla 22, se muestran las manifestaciones de lesiones agudas de la piel en las respectivas fases del SCR [39].

Tabla 22. Síntomas y signos agudos de piel de acuerdo a las fases del SCR [39 - 42].

Fase prodrómica	Latente	Enfermedad	Posibles efectos tardíos o crónicos
<u>Eritema</u>	Tiempo variable, una duración más larga con	Temprano:	<u>Depilación</u> : transitoria o permanente
<u>Edema</u>	la dosis más baja	Segunda ola de <u>eritema</u> , inflamación y edema de	dependiendo de dosis
Prurito, aumento de la temperatura de la piel, dysesthesias	Síntomas prodrómicos pueden estabilizar o mejorar ligeramente	la piel y los tejidos subcutáneos, correspondiente a la renovación de las células epidérmicas	<u>Cambios pigmentarios</u> <u>Onicolisis</u> (<u>onychodystrophy</u>) <u>Fibrosis</u> <u>Telangiectasis</u>
		Más tarde:	<u>Atrofia de la piel</u> <u>Cáncer</u>
		<u>Descamación seca</u> , entonces la transición en la última fase de efecto sin otros síntomas o	
		<u>Formación de ampollas</u> , <u>descamación húmeda</u> , <u>úlceras/necrosis</u> , entonces la transición en la última fase de efecto o	
		Después de 2 semanas los síntomas adicionales pueden ocurrir, por ejemplo <u>depilación</u> u <u>Onicolisis</u> (<u>onychodystrophy</u>)	

Nota: Muchos de estos efectos finales crónicos pueden aparecer años a décadas más tarde.

Clínicamente la gravedad se aprecia a través de la evaluación de un conjunto de parámetros que deberán ser cuidadosamente consignados en la historia clínica del paciente:

- ✓ Intervalo entre la exposición y el eritema precoz.
- ✓ Intensidad del eritema precoz.
- ✓ Duración de la fase de latencia.
- ✓ Aparición de signos tales como edema, depilación, epitelitis exudativa.

- ✓ Presencia e intensidad de síntomas tales como parestesias y dolor.
- ✓ Cronología de aparición de estos signos y síntomas.
- ✓ Localización, extensión y distribución de las lesiones.

La Tabla 23 muestra la relación entre la aparición de los síntomas y la dosis.

Tabla 23. Dosis absorbida relacionada a la aparición de síntomas del SCR [55].

Manifestación	Umbral (Gy)
Eritema	3-10
Depilación temporal	3-7
Depilación permanente	7-10
Epitelitis seca (véase Figura 6.4)	10-15
Epitelitis exudativa (véase Figura 6.5)	15-25
Necrosis (véase Figura 6.6)	>25



Figura 6.4. Epitelitis seca.



Figura 6.5. Epitelitis exudativa.

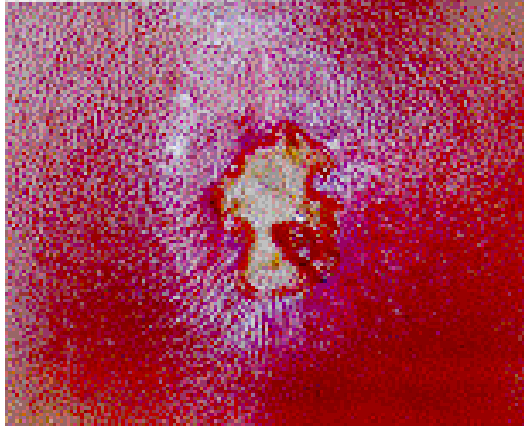


Figura 6.6. Lesión úlcero-necrótica con edema y eritema perilesional.

6.5 Manejo clínico del síndrome cutáneo de radiación

Los tratamientos del síndrome cutáneo de radiación son:

Tratamiento sistémico

Tratamiento local

Tratamiento quirúrgico clásico

Tratamiento médico conservador para lesiones superficiales

Tratamiento quirúrgico para ulceraciones profundas y/o dolorosas y para lesiones necróticas

Apoyo psicológico tanto en la fase aguda como a largo plazo

6.5.1. Tratamiento sistémico

Comprende tratamientos de sedación, terapia analgésica, terapia antiinflamatoria, terapia antiisquémica, terapia antioxidante.

Terapia analgésica y antiinflamatoria: analgésicos convencionales, antiinflamatorios no esteroideos (AINE), opiáceos.

Terapia antiisquémica: pentoxifilina (400 mg administrados oralmente de 1 a 3 veces por día) mejora la microcirculación, disminuye la viscosidad sanguínea, inhibe el Tumor Necrosis Factor (TNF) y tiene un efecto antiinflamatorio sobre el endotelio vascular.

Terapia antioxidante: alfatocoferol (vitamina E) asociado a vitaminas A y C.

6.5.2. Tratamiento local

Toillete, lavados con soluciones antisépticas, sulfadiacina de plata más lidocaína, estimulantes de la granulación (por ejemplo trolamina), factores de crecimiento (KGF), vendaje exclusivo.

KGF: Keratinocyte Growing Factor, solo se demostró su eficacia para el tratamiento de las mucositis radioinducidas.

6.5.3. Tratamiento quirúrgico clásico

Resección de los tejidos que evolucionarán hacia la necrosis (irradiaciones mayores a 25 Gy).

– Enfoque clásico

Conducta expectante, la cirugía iba “por detrás” de la evolución clínica:

- resecciones limitadas con cirugía conservativa;
- se esperaba la evolución de las lesiones;
- se sometía al paciente a cursos repetitivos de cirugía;
- se generaba un “círculo vicioso”: necrosis, cirugía, nueva necrosis, nueva cirugía...

– Enfoque actual en casos de altas dosis

Conducta activa, la cirugía se anticipa a la evolución clínica:

- no se espera la evolución de las lesiones;
- cirugía precoz y amplia de todos los tejidos que evolucionarán hacia la necrosis;
- se determina extensión de la exéresis en función de la dosis (en superficie y en profundidad);
- medicina regenerativa: terapias celulares.

6.5.4. Tratamiento quirúrgico para ulceraciones profundas y/o dolorosas y para lesiones necróticas

- exéresis + injerto (cobertura temporaria: piel cadavérica, xenoinjerto, piel artificial; cobertura definitiva: autoinjerto);
- exéresis + colgajo rotatorio (cobertura definitiva);
- lesiones distales: amputación

6.5.5. Apoyo psicológico tanto en la fase aguda como a largo plazo

- Interconsulta precoz con especialistas para prevenir secuelas (fibrosis, deformidades, retracciones).
- Seguimiento a largo plazo (clínico, cirujano plástico, radiopatólogo). Proveer recomendaciones por la mayor vulnerabilidad a traumas mecánicos, químicos y térmicos.
- Manejo de las reacciones tardías: prevenir isquemia, tratar dolor, eventualmente terapia hiperbárica (O₂ hiperbárico), interferón gamma.

Capítulo 7

Guía de Respuesta Médica en Emergencias Radiológicas

7.1 Jerarquía de la repuesta médica de emergencias radiológicas

Ante la emergencia de un accidente radiológico y nuclear en el cual haya la posibilidad de contaminación con material radiactivo, la respuesta médica está dividida en 3 niveles:

- Nivel 1: Asistencia en el escenario
- Nivel 2: Hospital general (designado)
- Nivel 3: Hospitales de referencia

Nivel 1: Asistencia en el escenario.

La asistencia pre-hospitalaria a radioaccidentados puede ser brindada por paramédicos, en esa eventualidad participarán junto al resto de los respondedores primarios, la policía, bomberos, defensa civil y personal de salud. Esta es brindada de acuerdo al tipo de escenario y puede ser

- Servicio médico de la instalación en la que ocurrió el evento
- Sistema de atención medica de emergencias

En el caso de instalaciones relevantes, este nivel corresponde a la asistencia prestada en el propio escenario del accidente, en áreas previamente determinadas de la instalación o en el servicio médico de la instalación. Puede haber escenarios vinculados a fronteras terrestres o marítimas con un posible impacto del accidente en países vecinos (ejemplo, accidentes ocurridos durante la importación, exportación o tráfico ilícito de material radiactivo). En este caso las acciones se coordinaran con las fuerzas de seguridad correspondientes: fuerza militar o fuerza naval.

En este nivel de emergencia se realiza una evaluación inicial del triage convencional y radiológico (categorización de pacientes, por prioridad de atención). Atención primaria

convencional y específica (asistencia pre-hospitalaria). Transporte de pacientes que requieran de asistencia hospitalaria.

Nivel 2: Hospital general (designado).

Son aquellos hospitales con capacidad para resolución de urgencias “convencionales”, serán trasladados a este nivel pacientes que requieren de atención médico - quirúrgica por fracturas, traumatismos diversos, quemaduras térmicas o químicas, preferencialmente con sus condiciones clínicas estabilizadas en el nivel 1.

En el caso de instalaciones relevantes se designará a tal fin un hospital cercano a la instalación, de rápido y fácil acceso por vía terrestre. Pueden llegar a recibir víctimas contaminadas, para lo cual se define un área de recepción de radioaccidentados; también, un equipo formado por personal previamente identificado y entrenado del hospital que coordine las acciones, con el asesoramiento de especialistas en radioprotección y radiopatología de la autoridad competente.

En el caso de lesiones radiocombinadas sin presencia de contaminación radioactiva, la recepción y asistencia de los pacientes se llevará a cabo siguiendo los procedimientos habituales.

Se continuará con el triage clínico que se completa con los parámetros bioquímicos (hemogramas seriados, bioquímica plasmática), se verificará la presencia de contaminación en las víctimas y se continuará con los procesos de descontaminación, la toma de muestras como por ejemplo de sangre (dosimetría citogenética, tipificación HLA), frotis nasal, excretas, etc.

Como resultado de estas evaluaciones se determinará la conducta: alta/ hospital, local/centro de referencia.

Nivel 3: Hospitales de referencia.

El Hospital de Referencia es un hospital especializado con personal capacitado en el tratamiento de pacientes involucrados en accidentes radiológicos y nucleares. Los equipos de profesionales que brindan asistencia a los lesionados están organizados de acuerdo al tipo de lesión como sigue:

- Síndrome agudo de radiación moderado o severo (SAR): cuenta con un equipo de profesionales con amplia experiencia en el manejo de pacientes inmunosuprimidos, administración de terapias de estimulación (factores de crecimiento hematopoyético) y terapias de reemplazo (trasplante de células madre hematopoyéticas, sangre de cordón). También, con un personal de enfermería calificado, entrenado en el cuidado de pacientes inmunosuprimidos, la posibilidad de abordaje multidisciplinario, con personal de formación básica y avanzada en radiopatología.
- Síndrome cutáneo radioinducido severo (SCR). Dispone de un equipo de profesionales con una amplia experiencia en el manejo de quemados graves, experiencia en cirugía

plástica y reparadora de alta complejidad. Personal de enfermería calificado, entrenado en el cuidado de pacientes quemados graves. Experiencia en el manejo de banco de tejidos, terapias celulares y medicina regenerativa.

- Contaminación interna con grandes cargas. Dispone de un equipo de profesionales con conocimientos en toxicología, medio interno, administración de terapias quelantes, broncoscopia y lavado pulmonar, hemodiálisis, formación en radioprotección. Posibilidad de interconsulta con otras especialidades. Integración de personal especializado en protección radiológica en el equipo de salud. Formación básica y avanzada en radiopatología y radioprotección.
- Graves condiciones traumáticas asociadas a componentes radiológicos.

7.2 Organización de la respuesta médica en emergencia radiológica

La estructura de la organización de la respuesta médica en una emergencia radiológica se presenta y se discute a continuación.

a) Iniciador de la Respuesta Médica

El iniciador de la respuesta médica es una persona que inicia de manera formal la respuesta (médica o general) después de la notificación de una emergencia radiológica supuesta o real.

El rol del iniciador de la respuesta médica deberá ser tomado por el Coordinador de Comunicación quien inicia la respuesta médica a nivel pre-hospitalario y hospitalario.

En el caso de la iniciación de respuesta de salud pública, éste será nombrado por el Oficial de Salud Pública, ya sea nivel local o nacional.

Si el evento es identificado por un médico general practicante o algún otro especialista médico, tras la inspección del siniestro, éste tendrá la responsabilidad de actuar como el Iniciador Médico Responsable e iniciar la respuesta general de emergencia.

En el Hospital, una persona designada como Coordinador de Comunicación fungirá como el Iniciador de la Respuesta Médica.

El Iniciador de la Respuesta Médica es responsable de obtener información básica caracterizando la emergencia y notificando los niveles apropiados de respuesta. En la zona de pre-hospitalización el Respondedor de Emergencia Médica será notificado y alertado. A nivel hospitalario el administrador de Emergencia Médica será notificado. En el caso del inicio de respuesta de salud pública, el personal de emergencia y de toma de decisiones será alertado en acuerdo con el sistema existente de respuesta de emergencia. En caso de ser necesario de

una iniciación de respuesta general, el Iniciador de Respuesta Médica deberá notificar al superior correspondiente de la organización donde se encuentre laborando.

b) Equipo de Respuesta de Emergencia Médica

El Equipo de Respuesta de Emergencia Médica (EREM) es el equipo médico especializado que arribará a la zona de emergencia previa notificación. Éste es responsable de proveer primeros auxilios. Los miembros de dicho cuerpo deberán tener conocimientos en emergencias médicas, los efectos biológicos básicos que causa la radiación ionizante, y radioprotección.

c) Director de Emergencias Médicas

El director de emergencias médicas es un especialista que labore en el hospital. Éste responderá a nivel hospitalario previa notificación y previo a la recepción de los heridos y/o pacientes.

El administrador de Emergencias Médicas será responsable de organizar las acciones del Departamento de Respuesta de Emergencia Hospitalaria, el apropiado servicio del Especialista Médico, el Físico Médico y el Grupo de Soporte de Radioprotección. Ellos tomarán decisiones de referir a cada paciente al hospital adecuado.

d) Grupo de Transporte Médico

El Equipo de Transporte Médico es responsable del transporte de heridos desde la zona de emergencia al departamento de Emergencia del hospital. Los miembros de este equipo deberán tener conocimiento en cómo tratar con personas heridas durante el transporte.

En algunos lugares, un físico o paramédico es miembro del cuerpo de ambulancia. Después de las acciones de salvamento, el personal de paramédicos y médicos acompañará al herido durante el transporte hacia el hospital.

e) Departamento de Respuesta de Emergencia Hospitalaria

El Departamento de Respuesta de Emergencia Hospitalaria es un grupo de especialistas y personal de soporte del hospital. El equipo actuará previa notificación que las víctimas están próximas a llegar al hospital. Idealmente el equipo incluirá al Coordinador, un médico de emergencia, oficial de triage, enfermeras, oficial de información pública, personal de seguridad, técnicos de laboratorio y personal de mantenimiento.

El Departamento de Respuesta de Emergencia Hospitalaria es responsable de aceptar a las víctimas en el área de recepción previamente preparada y adecuada, evaluando el estado médico del paciente y proveyéndole el tratamiento necesario. El médico de emergencia tomará decisiones acerca de mantener al paciente en los servicios apropiados dentro del hospital y darlo de alta después de la estabilización clínica. El grupo de soporte de Radioprotección colaborará de manera conjunta con el Departamento de Respuesta de Emergencia Hospitalaria.

Las labores del Departamento de Respuesta de Emergencia Hospitalaria serán coordinadas por el administrador de Emergencias Médicas.

Cada miembro del equipo deberá estar familiarizado con el plan de emergencia del hospital y deberá ser entrenado en ejercicios programados.

f) Servicios Médicos Especializados

Los médicos especializados están calificados conforme a la especialidad (p. ej. traumatología, cirugía, hematología, etc.). Serán responsables de proveer el tratamiento necesario para el paciente, tomando en cuenta la existencia de contaminación externa y/o interna. Deberán seguir el protocolo del hospital para respuesta médica en emergencias donde se involucre radiación y tratar con pacientes heridos por alguna causa de radiación. El especialista médico será responsable de impartir el servicio apropiado y de referir al paciente a un hospital después de la estabilización clínica. El médico especialista será coordinado por el administrador de Emergencias Médicas.

g) Hospital de Referencia

El Hospital de Referencia es un hospital especializado con personal capacitado en el tratamiento de pacientes involucrados con accidentes radiológicos y nucleares. En el caso de México, el Hospital de Referencia es el Hospital Naval y se localiza en el estado de Veracruz, en el puerto de Veracruz.

h) Asesor de Salud Pública

Cuando el nivel de la emergencia radiológica lo amerite, el Asesor de Salud Pública será designado por la Secretaría de Salud del Gobierno Estatal o Federal.

i) Asesor Radiológico

Este puesto será, normalmente, ocupado por el miembro con mayor grado, del Equipo Radiológico (expertos calificados) enviado a la zona de emergencia para evaluar el peligro radiológico, proveer radioprotección a los primeros actuantes, elementos de Respuesta de Emergencia Médica (EREM), etc.

El asesor radiológico podrá pertenecer al Equipo o puede ser externo. Será responsable, de entre todas las tareas, organizar operaciones de descontaminación, encuestas y control de la contaminación (si es necesario, realizarlas en la zona de emergencia) a pesar de la presencia de personas heridas. El Personal de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias puede asumir esta función, considerando que en México es reconocida como la autoridad reguladora en los temas de seguridad radiológica y nuclear.

j) Físico Médico

El físico médico es un especialista que prestará sus servicios al hospital y actuará, a nivel hospitalario, dentro de la Respuesta de Emergencia Médica (REM). Tendrá conocimiento y experiencia en evaluación de dosis, encuestas radiológicas, detección rápida de contaminación y descontaminación de pacientes. Éste fungirá como Asesor Radiológico a nivel hospitalario. Supervisará y dirigirá el monitoreo de contaminación externa, en el área de recepción del Departamento de Emergencia Hospitalaria, y podrá asistir la descontaminación externa bajo la supervisión de un Especialista Médico. El Físico Médico es, usualmente, un miembro del Equipo de Dosimetría.

k) Grupo de Descontaminación, Bioensayo, Radiopatología, Dosimetría y Biodosimetría

El Equipo de Descontaminación incluye personal y equipo de monitoreo de contaminación en la zona de emergencia. Dicho equipo asistirá al personal de Respuesta de Emergencia Médica con personal que monitoree a las víctimas y prevenga la propagación de la contaminación.

Los procedimientos de descontaminación no son recomendados en la zona de emergencia, excepto la simple remoción de la ropa externa de personas no heridas. El equipo que actuará en la zona de emergencia, normalmente, incluirá especialistas para descontaminación especial de heridas, ojos, oídos y orificios corporales.

El Equipo de Descontaminación tendrá la tarea y responsabilidad de auxiliar a aquellos que estén asociados con el monitoreo y descontaminación. Este equipo formará parte de la organización de respuesta genérica y la organización de monitoreo ambiental. Los miembros de este equipo deberán estar capacitados en el uso de monitores de detección de radiación para la evaluación de contaminación en ropa y piel, prevenir la propagación de contaminación y monitorear la eficiencia de los procedimientos de descontaminación. Éste actuará en cooperación con el Asesor Radiológico.

El Equipo de Bioensayo es un equipo que está integrado por expertos en el siguiente orden: bioensayo *in vitro* y bioensayo *in vivo*, personal interno en técnicas de monitoreo de contaminación, interpretación de datos de bioensayo, etc.

El Equipo de Bioensayo del hospital necesitará ser capaz de identificar y determinar los niveles específicos de radionúclidos usando técnicas de bioensayo *in vivo* (cuerpo completo); identificar y determinar niveles de radionúclidos específicos en excreciones corporales y otro tipo de material biológico tal como: mucosas nasales, cabello y sangre; interpretar los datos en términos de dosis efectivas.

El Equipo de Bioensayo trabajará asociado con el Departamento de Respuesta de Emergencia Hospitalaria (DREH) y con el médico especialista. Las actividades del equipo de Bioensayo serán coordinadas por el Administrador de Emergencias Médicas.

El Equipo de Radiopatología es un equipo experto en radiopatología y radioprotección básica. Dicho equipo será capaz de obtener las muestras apropiadas de tejido a través de biopsias o

procedimientos de autopsia; preparará las muestras para el análisis histopatológico y llevará a cabo la evaluación de las muestras.

El Equipo de Radiopatología trabajará de manera conjunta con el Departamento de Respuesta de Emergencia Radiológica y el médico especialista. Dichas actividades estarán coordinadas por el Administrador de Emergencias Médicas.

El Equipo de Dosimetría del hospital contará con personal y equipo de monitoreo de contaminación a nivel hospitalario, descontaminación de pacientes y evaluación de la eficiencia de descontaminación en el hospital. Éste será responsable de completar la evaluación de dosis en los pacientes, tomando en cuenta los datos proporcionados por el Equipo de Bioensayo, de Radiopatología y el Equipo de Biodosimetría, además de considerar información relevante de medidas ambientales. El equipo también será responsable de proveer los datos de la evaluación de dosis del personal médico con el fin de hacer las correcciones necesarias en el tratamiento y concluir el pronóstico del estado del paciente. El Físico Médico es, generalmente, un miembro del Equipo de dosimetría. Las actividades del Equipo de Dosimetría serán coordinadas por el Administrador de Emergencias Médicas.

El Equipo de Biodosimetría es un grupo de expertos en dosimetría biológica, radioprotección básica y citogenética de radiación humana. Éste asistirá la evaluación de dosis del paciente usando procedimientos citogenéticos. Generalmente, el Equipo de Biodosimetría no forma parte del hospital pero se tendrá acceso a dicho equipo como un recurso nacional o internacional.

El Equipo de Biodosimetría colaborará con el Departamento de Respuesta de Emergencia Médica y el médico especialista. Sus actividades serán coordinadas por el Administrador de Emergencias Médicas [45, 46].

7.3 Acciones en la zona previo arribo del grupo de emergencia médica

Propósito

Proveer una guía al primer actuante acerca de las acciones que deberán realizarse previo arribo del Equipo de Respuesta de Emergencia Médica.

Discusión

Hasta la llegada del Equipo de Respuesta de Emergencias Médicas a la zona, los primeros actuantes (Elementos de Seguridad Pública, Elementos del Heroico Cuerpo de Bomberos u otro personal que se encuentre en la zona y esté entrenado en técnicas de primeros auxilios) podrán proveer primeros auxilios de emergencia a las víctimas. La exposición a la radiación o contaminación con material radiactivo no causará signos y síntomas inmediatos y por lo

tanto, si las víctimas están inconscientes, desorientadas, presentan quemaduras o en alguna otra situación similar, buscar algún otro daño que no sea por causa de radiación [45].

- Tenga en cuenta los riesgos en el área (fuego, humo, vapor, químicos, posibles descargas eléctricas, etc.). Busque personas heridas. Si se cuenta con monitores, utilícelos para evaluar la existencia de radiación.

PRECAUCIÓN

Al responder a un acto malintencionado conocido o sospechoso, que involucra fuentes selladas no los manipule ni tenga contacto con las fuentes. Mientras la fuente permanezca intacta, no hay riesgo de contaminación. Los riesgos de exposición disminuirán si la fuente permanece cerrada y manteniendo la distancia de la fuente.

- Llame al Equipo de Respuesta de Emergencia Médica e indique la situación y la localización si aún no se ha hecho.
- Si el área está libre de riesgos convencionales, verifique la condición de las víctimas. Si la víctima está en riesgo de perder la vida, primero asegúrela.
- Aplique procedimientos de primeros auxilios. Generalmente esto incluirá Reanimación Cardiopulmonar (RCP).
- No mueva a las víctimas con lesiones severas al menos que sus vidas corran peligro de muerte, por ejemplo, si hay un incendio.

NOTA

Si una víctima presenta fractura espinal o lesiones que arriesguen su vida, el movimiento de ésta puede agravar su condición más que una situación de riesgo.

- Permanezca con las víctimas hasta que la ayuda llegue a la zona.
- Informe al Equipo de Respuesta de Emergencias Médicas.

Respuesta Médica en la zona de emergencia

Propósito

Proveer una guía al Equipo de Respuesta de Emergencias Médicas sobre las actividades que se realizarán como respuesta médica bajo condiciones radiológicas.

Discusión

El Equipo de Respuesta de Emergencias Médicas probablemente llegará a la zona de emergencia inmediatamente después de la notificación de una emergencia radiactiva. El coordinador de la Zona deberá hacerse responsable de la respuesta general. Las acciones de primeros auxilio serán realizadas por los primeros actuantes [45].

- Obtener información a través del Coordinador de la Zona al momento de arribar. Considere las áreas establecidas por los primeros actuantes.
Si el Equipo de Respuesta Médica es el primer actuante en la escena, tendrá que asegurar las áreas donde se habrán de prestar los servicios. Considerar peligros convencionales (fuego, humo, riesgo de descarga eléctrica, químicos y explosivos).

PRECAUCIÓN

Al responder a un acto malintencionado conocido o sospechoso, que involucra fuentes selladas no los manipule ni tenga contacto con las fuentes. Mientras la fuente permanezca intacta, no hay riesgo de contaminación. Los riesgos de exposición disminuirán si la fuente permanece cerrada y manteniendo la distancia de la fuente.

- Usar equipo de protección que incluya ropa, guantes, dispositivos de respiración y botas si son necesarias. Utilizar personal de dosimetría si éste está disponible.

NOTA

Estar consciente que se puede perder el control de la emergencia [43]. Estar entrenados en la manera que se habrán de aplicar dichas guías en la emergencia. Los peligros de contaminación por radiación pueden ser evitados por el uso apropiado de protección (ropa adecuada, guantes, bolsas de plástico, etc).

NOTA

Si los elementos de Respuesta Médica son los primeros actuantes en la escena y si ésta es una emergencia que involucre la mayoría de víctimas mortales, tendrá que notificar a las autoridades Nacionales de Salud para la administración de la estrategia médica en cuanto a dicha emergencia. Los servicios necesitan ser cuidadosamente coordinados para asegurar tanto la respuesta de emergencia como la atención médica a la población que no se vio inmediatamente afectada.

- Realizar acciones de búsqueda y salvamento de las personas que estén más próximas como sea posible. Remover a las personas del área de peligro en el área triage tan pronto sea posible. Esta área se localiza dentro del primer perímetro de seguridad en la base de respuesta médica ilustrada en la Figura 7.1.

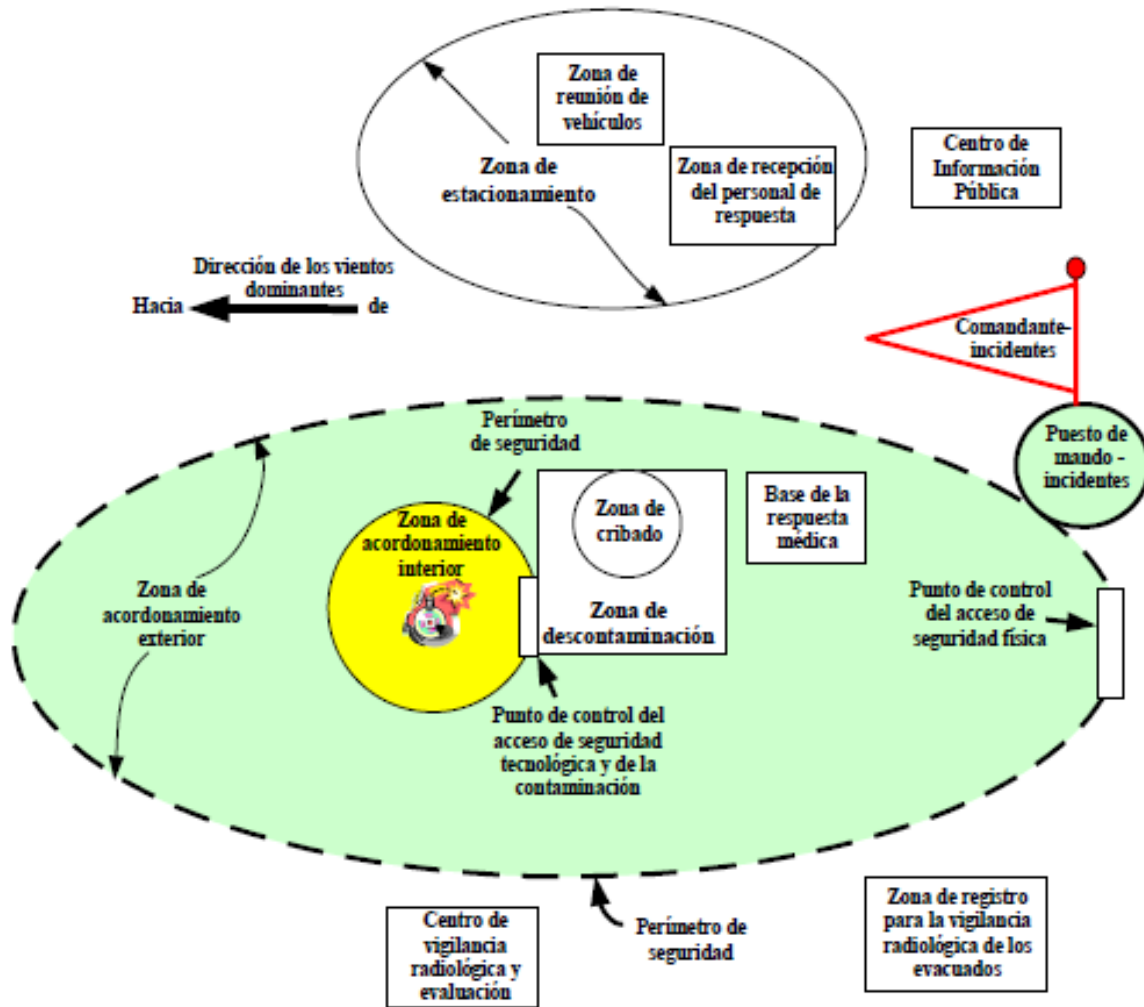


Figura 7.1. Zona establecida por los elementos de respuesta inicial.

NOTA

El área interna acordonada dentro del primer perímetro de seguridad frecuentemente puede representar una zona de peligro directo para las víctimas y a los primeros actuantes que permanezcan por periodos muy prolongados. Por tanto, se recomienda realizar las actividades de triage, triage radiológico y procedimientos de estabilización en el área de triage fuera del primer perímetro.

- Evaluar el estado de las víctimas usando el Sistema Nacional de Triage para asegurar que las prioridades están dadas a las víctimas que están en riesgo de perder la vida.

NOTA

La terminología del Triage médico y los métodos para identificar las diferentes categorías varían y son una cuestión de preferencia. Para evitar confusión o retardos en la atención, la terminología estándar y los métodos de triage necesitan ser establecidos en el país, como ejemplo véase Figura 7.2. Las categorías de triage (basadas en las condiciones médicas de las víctimas) usadas en la zona de emergencia podrán ser las siguientes:

Prioridad 1:	Víctimas con necesidad de intervención inmediata
Prioridad 2:	Víctimas con necesidad de admisión e intervención no muy grave
Prioridad 3:	Víctimas que pueden esperar tratamiento

O

Inmediata:	Víctimas que necesiten intervención inmediata con muy elevadas probabilidades de preservar la vida
Retardado:	Víctimas que pueden esperar tratamiento sin riesgo de un daño a futuro
Expectante:	Víctimas que no sobrevivirán o requerirán recursos extensivos
Menor:	Víctimas que presentan lesiones leves y que generalmente están desorientadas.

- Tratar inmediatamente las lesiones que presenten un riesgo de perder la vida. Transportar inmediatamente a tales pacientes al hospital incluso si no se han tomado los datos correspondiente en cuanto a la contaminación ni los datos personales del paciente. Estabilizar otras víctimas. Si es necesario solicite ayuda médica adicional.
- Curar las heridas con soluciones estériles y preparar a las víctimas para su traslado al hospital.
- Iniciar el estudio radiológico de los pacientes que hayan quedado en la escena (después aquellos con heridas de extrema gravedad que ya han sido trasladados para su atención). Solicitar asistencia del Asesor Radiológico. Desarrollar el triage radiológico sobre la base del estudio radiológico. Usar dichos resultados para tomar las decisiones correspondientes.

NOTA

Retirar a las víctimas que han perdido la vida a un sitio que no sea visible y donde el público no tenga acceso. Mantenga los cuerpos en este sitio hasta que las autoridades correspondientes hayan obtenido cualquier evidencia disponible y las víctimas que no perdieron la vida hayan sido trasladadas a un lugar seguro o, en su defecto, al hospital. Los cuerpos que yacen en la zona de emergencia no representan ningún peligro para los primeros actuantes. No es necesario extremar precauciones. Se tomarán precauciones especiales solo en caso de contaminación interna o externa de las personas. En caso que la contaminación ya haya sido determinada (usando los métodos usuales de monitoreo individual) se deberá colocar sobre el cuerpo la etiqueta adecuada antes de retirar el cuerpo de la zona. En la zona de emergencia, las víctimas que han perdido la vida requieren descontaminación básica preliminar antes de ser trasladados a la morgue o al lugar que esté destinado para este uso. Las actividades en la escena relacionadas con las víctimas dependerán del carácter de la emergencia radiológica y el número de involucrados.

NOTA

Es posible desarrollar una evaluación radiológica durante la estabilización de las víctimas si los procedimientos de monitoreo no interfieren las acciones médicas.

- Aislar a las víctimas que no estén críticamente heridas o contaminadas. Remover toda la ropa que pueda ser contaminada a menos que esté médicamente contraindicado. En condiciones climáticas donde la temperatura sea baja, remover la ropa externa contaminada únicamente e inmediatamente trasladar al herido. Remover la ropa como se indica a continuación:
 - Corte la ropa desde la cabeza hasta los pies y deje las mangas libres
 - Doble las piezas de ropa que se cortaron
 - Enrolle la ropa y guarde en una bolsa de plástico
- Al remover la ropa de la manera que se indica, ésta se tendrá que colocar al revés, reduciendo así la posibilidad de propagación de contaminación.
- Asegurar que el Asesor Radiológico ha iniciado la evaluación de parámetros visibles para evaluación de dosis inmediata. La función de Asesor Radiológico es realizada por personal de la CNSNS o algún especialista en protección radiológica autorizado por ellos.
- Aislar en bolsas de plástico ropa, zapatos y artículos personales de las víctimas. Si se trata de un atentado, conserve todos los artículos para las pruebas forenses.
- Cerciorarse que se tienen los expedientes médicos de cada víctima. Proveer los registros (Hoja de trabajo 1) al Equipo de Dosimetría del hospital.
- Solicitar a los Elementos de Seguridad Pública que obtengan los nombres y direcciones de los involucrados para entrevistas futuras conforme a la hoja de trabajo 2.
- Informar al área de recepción del hospital la naturaleza de las heridas convencionales y de alguna herida supuesta o conocida por exposición con materiales radiactivos. Identificar los materiales radiactivos si es posible.
- Capacitar al personal a través del Asesor Radiológico y Equipo de descontaminación.
- Entregue los dosímetros personales a la persona responsable o a la organización (según las políticas de expedientes de dosis) para evaluación futura de dosis personales.

NOTA

Cuando las condiciones médicas de las víctimas no requieran hospitalización urgente no abandonar la zona de emergencia sin haber sido monitoreado. No traslade ningún equipo afuera de la zona de emergencia antes de haber sido monitoreado.

Si se tiene que abandonar la zona urgentemente, los procedimientos de control de contaminación deberán ser hechos de la manera más pronta posible.

NOTA

Bajo condiciones de trabajo extremadamente peligrosas (fuego, humo, calor intenso, etc.) se deberá verificar el estado médico de los actuantes (pulso, temperatura, presión sanguínea, etc.) antes y después de salir del área.

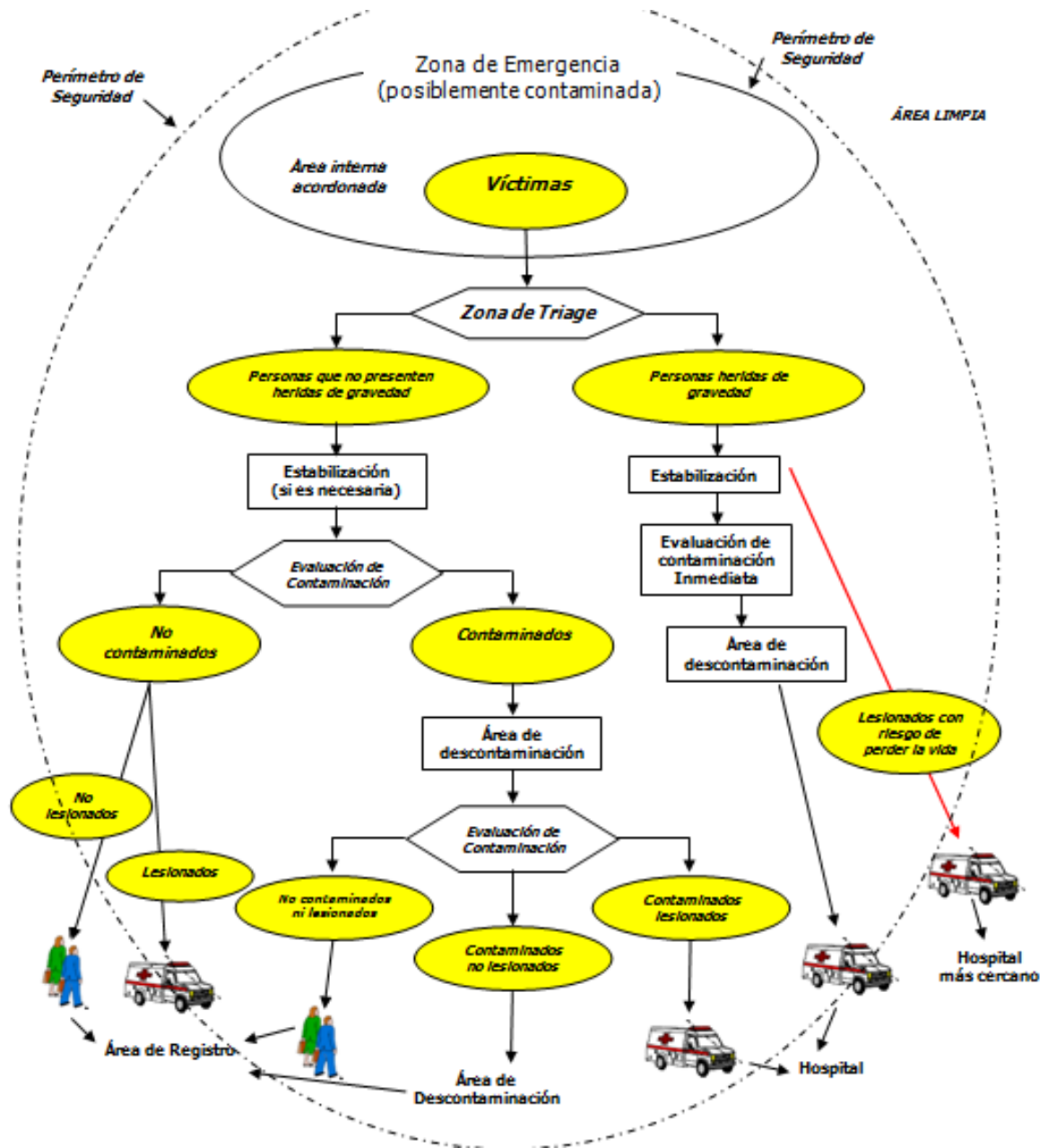


Figura 7.2. Respuesta médica en la zona de emergencia.

Transporte de víctimas hacia el hospital

Propósito

Proveer una guía para transferir a las víctimas, de la zona de emergencia, al Departamento de Emergencias Hospitalarias.

Discusión

Es posible, que las víctimas sean transportadas por personal médico o paramédico especializado que no haya entrado al primer perímetro de seguridad. Las víctimas expuestas no requieren un manejo especial, no obstante, las víctimas contaminadas serán transportadas usando procedimientos de control de contaminación. Si existe alguna duda, se tendrá que asumir que todas las víctimas están contaminadas hasta asegurar lo contrario. Continuar la evaluación médica y el tratamiento durante el transporte el tiempo que sea necesario [45].

- Al momento de llegar a la zona, se tendrán que utilizar dosímetros personales si estos están disponibles. Utilizar protección adicional si se cuenta con los recursos, pero siempre se utilizarán guantes.

NOTA

Los miembros del Equipo de Transporte Médico no deberán ingerir alimentos y agua. No deben fumar, ni deberán maquillarse en la zona de emergencia, en la ambulancia o en el hospital. Lo podrán hacer hasta haber sido evaluados y monitoreados.

- Colocar el toldo de la ambulancia en un lugar limpio fuera de la zona acordonada y colocar una manta limpia sobre él. Los miembros del Equipo de Respuesta Médica dentro del área acordonada necesitará colocar a las víctimas en un lugar trasero y cruzarlas hacia afuera de la línea acordonada para preparar el toldo del Equipo de Respuesta Médica. No mueva a las víctimas de la parte trasera. Esta área se localiza dentro del primer perímetro de seguridad en la base de Respuesta Médica ilustrada en la Figura 7.1.
- Cubrir y asegurar a la víctima con una manta.
- Transportar a las víctimas al área de recepción de la ambulancia del Departamento de Emergencias Hospitalarias.

NOTA

En una emergencia que involucre una gran cantidad de víctimas (generalmente un atentado terrorista), implementar provisiones para la evaluación de los miembros del público por exposición a la radiación. Alertar a las instalaciones médicas locales del tipo de víctimas que habrán de llegar y para informar por si existe preocupación pública extensa.

- Evaluar el estado vital de la víctima durante el transporte e intervenir de manera apropiada. Compruebe el estado de las líneas intravenosas colocadas al paciente para control.
- Advertir cualquier cambio del estado de la víctima al personal de recepción. Preguntar si existe alguna instrucción especial que el hospital pueda tener.
- Use equipo de control de la contaminación durante el transporte. Cambie los guantes conforme la situación lo amerite.
- Seguir el procedimiento de Respuesta de Emergencias del hospital.
- No regresar a la zona de emergencia para prestar servicios regulares (sólo si aún hay lesionados o víctimas) hasta que el vehículo, el personal y el equipo hayan sido monitoreados y descontaminados (si es necesario) por el equipo adecuado del hospital (Grupo de Soporte de Radioprotección) u otro servicio de dosimetría calificado.
- Entregue los dosímetros personales a la persona responsable o a la organización (según las políticas de expedientes de dosis) para evaluación futura de dosis personales.

Evaluación de víctimas en el área de recepción de ambulancia

Propósito

Proveer una guía acerca de la secuencia que se tendrá que tomar cuando el grupo de transporte arribe a la zona de recepción del hospital.

Discusión

Una vez que las víctimas hayan llegado al área de recepción el oficial de triage o algún miembro calificado del Grupo de Respuesta de Emergencia Hospitalaria determinará la condición médica general de las víctimas y la severidad de éstas. El grupo de Transporte Médico o el Grupo de Respuesta de Emergencia Médica deberá proveer a un reporte sobre el estado radiológico de las víctimas, incluyendo si existe sospecha de contaminación, o si ésta está confirmada e información adicional acerca de la naturaleza de la emergencia [45].

- Atender a las víctimas que estén en riesgo de muerte en el área de recepción de la ambulancia o en el área triage cerca del área de tratamiento.

NOTA

Los miembros del grupo médico encargados de la recepción de las víctimas de una emergencia radiológica, deberán ser capaces, si es factible, de realizar una evaluación preliminar permitiendo así que la intervención sea cuidadosa, desarrollando el triage y algún tratamiento necesario de las víctimas de la emergencia radiológica.

NOTA

Si se sospecha o se tiene contaminación radiactiva confirmada, usar ropa protectora y seguir las recomendaciones de radioprotección, para reducir la posibilidad de propagación de contaminación.

- Dar instrucciones a los miembros del grupo médico para que permanezcan en el vehículo con las víctimas hasta que el servicio adecuado los examine.
- Completar los formularios de triage para cada víctima. Las acciones estarán dirigidas, en primera instancia, a atender los problemas médicos de la víctima y posteriormente a los problemas radiológicos.

NOTA

El triage deberá realizarse en cada etapa (en la escena, recepción, departamento de emergencia) debido a la posibilidad de cambio en el estado de la víctima. El propósito del triage en el hospital es clasificar a la víctima por la prioridad de su estado, y determinar el mejor uso de los recursos con los que se disponen. (p. ej. personal, equipo, medicamentos, camillas, etc.).

NOTA

Los problemas médicos severos siempre tienen prioridad sobre las condiciones radiológicas y se dará atención médica de inmediato a aquellas víctimas que corran riesgo de perder la vida. Las heridas causadas por radiación, raramente causan pérdida del conocimiento de la víctima o síntomas y señales visibles y no se requerirá tratamiento urgente, por lo tanto, las heridas causadas por otra razón deberán ser consideradas prioritarias.

Se deberá actuar de acuerdo con los resultados del triage.

Condición de la víctima	Acción Inmediata
Riesgo de perder la vida	Estabilizar; Trasladar al departamento de cuidados intensivos; No realizar examen radiológico a la víctima, si éste retrasa o interfiere con el proceso de estabilización.
Estable	Continuar con las instrucciones siguientes.

NOTA

Si el paciente no está lesionado pero se sospecha que ha sido expuesto a radiación sobre el criterio establecido de dosis mínima para radiodiagnóstico, solicitar al físico médico la confirmación de los resultados de la evaluación de dosis. Si esto es confirmado asegurar el registro médico del paciente.

- Si la ropa de la víctima no fue removida antes de su llegada al hospital, se tendrá que remover tan pronto sea posible, al menos por alguna contraindicación médica, y tener cuidado para evitar la propagación de la contaminación.

NOTA

Todo tipo de accesorio y ropa que lleve la víctima deberán ser colocados en bolsas de plástico, éstas deberán permanecer selladas y etiquetadas y correctamente almacenadas para análisis radiológico posterior.

- Si la condición del paciente lo permite, solicitar al Médico/Físico Médico o al Grupo de Dosimetría, desarrollar el monitoreo radiológico del paciente o los pacientes para determinar si están contaminados y estimar los niveles de contaminación en áreas del cuerpo específicas.

NOTA

El examen radiológico deberá realizarse bajo supervisión de los especialistas médicos, llenando la hoja de trabajo 3.

NOTA

Considerar la posibilidad que la víctima podría tener un cardioestimulador (marcapasos) con algún elemento radiactivo usado como fuente de alimentación.

- Transferir a los pacientes conforme las siguientes condiciones (véase Tabla 24).

Tabla 24. Manejo del paciente accidentado de acuerdo al nivel de asistencia.

Condición del Paciente	Transferir a:	Observaciones
Contaminado y expuesto	Hospital/Área de descontaminación en Departamento de Emergencia	No transferir al área de descontaminación si está médicamente contraindicado
No contaminado y expuesto	Paciente regular a área de tratamiento en Depto. de Emergencia	
Trauma convencional		
Contaminado y no lesionado	Permanece en el área de control	Permanecer hasta que el personal adecuado pueda asistir para una evaluación radiológica completa.

- Registrar toda la información obtenida en el área de recepción de ambulancias de la Forma Médica de Información.

NOTA

Recopilar la información no deberá interferir con la atención médica y esto se continuará en el área de tratamiento.

Examen radiológico de las víctimas a nivel emergencia y nivel hospitalario**Propósito**

Monitorear a las víctimas de la emergencia que estén contaminadas en piel y ropa.

Discusión

El personal de monitoreo de contaminación externa de las víctimas deberá comenzar tan pronto como sea posible. Los resultados del monitoreo evitarán la propagación de la contaminación y se logrará aplicar los procedimientos de descontaminación. La evaluación radiológica inicial se deberá realizar en la zona de emergencia y será continuada en el hospital. La contaminación externa será evaluada directamente sobre la piel y la ropa. La contaminación interna, es, usualmente, monitoreada por muestras biológicas obtenidas directamente de la persona o por medición directa [45].

PRECAUCIÓN

Para las personas que requieren atención médica urgente y por consiguiente, transporte inmediato, y que probablemente estén contaminadas, es prioridad atender todo tipo de padecimiento, se les brindará tratamiento si es posible, incluso si es necesario, primeros auxilios, sin importar que estén contaminadas. Si el personal médico usa protección estándar para manipular a los pacientes, esto, será trasladado a control de contaminación.

- Verificar que los detectores funcionen de manera correcta [44].
- Mantener el audio del detector encendido y la punta del detector en una bolsa de plástico para evitar que se contamine. No cubrir la ventana de detección.

NOTA

Es deseable pero no necesario que el monitor tenga un área activa de al menos 20 cm² para proporcionar resultados útiles.

- Determinar y registrar los niveles de radiación de fondo periódicamente en la zona donde se esté realizando el monitoreo.

PRECAUCIÓN

Si las lecturas en la zona de emergencia son mayores en diez veces más de las que se consideran lecturas de radiación de fondo normal, realizar el monitoreo en una locación con mayor protección. Si la condición de las víctimas hace imposible moverlas a un área con menor radiación, el monitoreo se realizará donde la víctima tenga blindaje disponible. Si la persona que monitorea se coloca entre el área donde la radiación de fondo es mayor y la víctima, esto cubrirá al detector de los niveles más altos, sin embargo, no ayudará si la víctima está en el suelo y el que realiza el monitoreo está de pie.

- Después de haber obtenido la aprobación del médico responsable, se deberá realizar de manera personal el monitoreo de la víctima. Con base en los resultados del monitoreo, desarrollar el triage radiológico conforme a las siguientes consideraciones:
 - Considerar como contaminadas las áreas que presenten 2 o 3 veces mayor radiación de fondo y actuar apropiadamente.

NOTA

La comparación con los niveles de radiación de fondo (expresada en las unidades correctas) es una práctica que permite el triage radiológico usando cualquier tipo de instrumento.

PRECAUCIÓN

Esta aproximación es válida solo para radionúclidos presentes en el ambiente bajo circunstancias normales. Para algunos radionúclidos (p. ej. yodo), el cual no es normal encontrarlo en el ambiente, cualquier nivel de actividad sobre cero representa contaminación.

Si emisores alfa están presentes y si la lectura es menor que dos veces el nivel de radiación de fondo, la víctima no presenta contaminación y no requiere atención urgente.

PRECAUCIÓN

Las precauciones deberán ser hechas para prevenir la contaminación interna de las víctimas con emisores alfa e emisores beta de baja energía (p. ej. tritio) por inhalación o ingestión, por lo tanto, incluso un nivel bajo de contaminación, el cual no es médicamente importante, deberá ser tratado correctamente.

NOTA

El personal de monitoreo no deberá interferir con las actividades de estabilización de las víctimas que estén en riesgo de perder la vida. La evaluación radiológica en la zona de emergencia será realizada en cooperación con el personal médico.

NOTA

En caso de contaminación potencial, donde esté involucrado un gran número de personas, es necesario que se realice el monitoreo y se debe solicitar personal capacitado, equipo de monitoreo, facilidades de descontaminación y formatos de registro. El acceso al lugar donde se realice el monitoreo no deberá interferir con el acceso de las víctimas al hospital. Campos deportivos, estadios, y centros comunitarios podrán ser usados para este fin.

a) Monitoreo de víctimas que no estén heridas de gravedad y personas ilesas

- Coloque la ventana del detector a 1 cm del cuerpo de la persona siendo cuidadoso en no tocarla. Comenzar por la parte superior de la cabeza, mover la ventana del detector hacia abajo continuando por el cuello, hombro, brazo, muñeca, mano, parte inferior del brazo, axila, costado, pierna, tobillo y zapato. Monitorear entre las piernas y el otro lado del cuerpo como lo indica la Figura 7.3. Monitorear la parte frontal y la parte trasera del cuerpo. Prestar atención en los pies, glúteos, codos, manos y rostro. La ventana del detector deberá moverse a una velocidad de aproximadamente 5 cm por segundo. Si el ambiente es ruidoso, utilizar audífonos es adecuado para escuchar el detector [45].

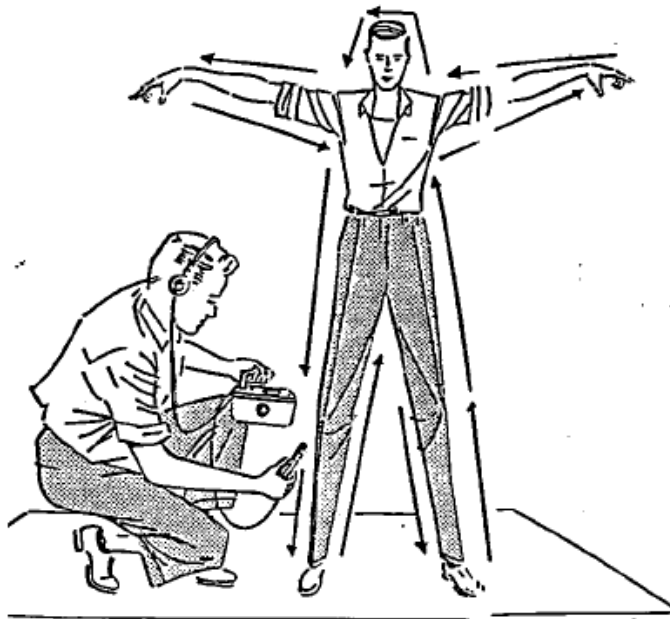


Figura 7.3. Técnica de monitoreo.

NOTA

Las partes del cuerpo más propensas a ser contaminadas externamente son las manos y cara (incluyendo los orificios corporales). Las partes menos propensas son la cabeza, cuello, cabello, axilas, muñecas y el torso. Si el material radiactivo se encontraba en forma líquida, éste puede penetrar la ropa, de tal manera que incrementa la posibilidad de contaminación en estas últimas partes corporales.

NOTA

Para la piel y la ropa, las lecturas se deberán hacer sobre un área de 100 cm² aproximadamente, para las manos ésta será de 30 cm² y para las yemas de los dedos 3 cm². La manera más simple de promediar las medidas de la superficie contaminada es usar un monitor de contaminación superficial con la parte de la ventana de detección más sensible orientada al área contaminada. Colocar esta ventana menos de 0.5 cm de la persona para monitorear partículas alfa. Sin embargo, el monitoreo de partículas alfa en ropa común no es confiable. En caso de urgencia, la piel expuesta será monitoreada y posteriormente se le solicitará a la persona que se cambie de ropa. La ropa potencialmente contaminada podrá ser monitoreada posteriormente. La persona deberá recibir ayuda para cambiarse de ropa y se deberán utilizar guantes si se sospecha que la contaminación es seria.

b) Monitoreo de víctimas heridas de gravedad**NOTA**

El monitoreo en la zona de emergencia solo se podrá realizar por petición del personal médico, y dependerá de la condición de las víctimas.

- Realizar una primera evaluación de contaminación usando el paso anterior. Usualmente una persona herida de gravedad deberá ser monitoreada en la camilla o en su defecto, en el piso. Evaluar las partes corporales a las que se tiene acceso (partes frontales de la cara, manos, piernas, etc.) La evaluación de la parte trasera del cuerpo se realizará sólo si la condición de la víctima lo permite. Si el personal médico considera necesario colocar boca abajo al paciente, buscar la posibilidad de evaluar la parte trasera de la víctima.
- Si el paciente requiere ser transferido a un hospital inmediatamente, asegurarse que el personal médico informe al hospital, previo aviso, que la evaluación radiológica no se ha realizado en la zona de emergencia.

NOTA

El mayor problema es cómo localizar el material radiactivo dentro de la herida para que se realice la descontaminación eficazmente. La sonda especial para heridas (detectores de centelleo o semiconductores) provee una buena sensibilidad para evaluar la actividad en el lugar de la herida. La evaluación de dosis interna debida a una herida contaminada no se podrá evaluar a partir de las mediciones de actividad en la herida. Existen métodos de bioensayo, *in vivo* e *in vitro*, que se podrán utilizar para evaluación de dosis. La información que se obtenga a partir de una herida contaminada podrá dar una idea de cómo deberán ser interpretados los resultados de bioensayo.

- Se monitorearán las heridas con una sonda especial para heridas, si se cuenta con ella. Las heridas deberán estar descubiertas para su evaluación. Si éstas se encuentran bajo la ropa de la víctima, no se evaluarán hasta que la persona se desvista o lo haga con la ayuda del personal médico.

NOTA

Las partículas alfa pueden ser absorbidas por los fluidos que secreten las heridas, el cual llevará una indicación incorrecta de la presencia de emisores alfa. En este caso, las heridas deberán ser limpiadas cuidadosamente con gasas estériles y se tendrán que secar antes de la evaluación. Todo material que se utilice para secar, por precaución deberá ser evaluado por segunda vez.

c) Monitoreo de oídos, nariz y boca

- Monitorear las áreas cercanas a los ojos y nariz, inicialmente se usarán monitores con ventanas de 30-100 cm² de área. Posteriormente usar monitores con ventanas pequeñas para determinar claramente las regiones contaminadas [45].
- Desarrollar la evaluación radiológica en fresco del epitelio nasal y bucal con un aplicador de algodón. Las muestras deberán ser tomadas dentro de los 10 primeros minutos después de la emergencia, debido a la rápida absorción de los radionúclidos en nariz y boca.

NOTA

Si solamente una pequeña parte de la nariz está contaminada, es muy probable que la nariz se haya contaminado con un dedo contaminado. La posibilidad de haber inhalado material radiactivo es mínima.

Si los resultados de las muestras epiteliales indican varios cientos de cpm⁵, existe la posibilidad de una inhalación prolongada. Si los resultados muestran alrededor de diez cpm, la probabilidad de inhalación es baja. Esta interpretación de los resultados solo podrá ser usada para una evaluación inicial.

Si están implicados emisores alfa, los epitelios nasales y bucales deberán secarse antes de realizar la evaluación.

⁵ cpm: cuentas por minuto

Después del monitoreo

- Comparar los resultados del monitoreo con los niveles operacionales de intervención (NOI). Donde los límites derivados de contaminación superficial no están especificados por las autoridades nacionales competentes, se sugieren los siguientes valores (véase Tabla 25).

NOTA

Si el detector no distingue entre alfas y betas usar una hoja de papel entre el detector y la fuente. Si la lectura cae, éstas se pueden considerar presentes.

- Registrar resultados en las hojas de trabajo 1 o 3. El área medida (superficie activa del detector) deberá ser también registrada.
- Todos los artículos personales deberán ser monitoreados, incluidos relojes, bolsas de mano, dinero, dosímetros termoluminiscentes, y armas. Artículos contaminados deberán ser guardados en bolsas de plástico y sellados para su descontaminación. La ropa contaminada deberá ser retirada de la persona y, al igual que los demás artículos, serán guardados en bolsas plásticas y selladas y se deberá sustituir la ropa, provista, generalmente.

Tabla 25. Niveles operacionales de Intervención para contaminación en piel.

NOI	Alfa	Beta/gamma		Baja toxicidad beta/gamma ¹⁰	Acciones
	Bq/cm ²	Bq/cm ²	mSv/h ¹¹	Bq/cm ²	
NOI-1	>1 x 10 ³	>1 x 10 ⁴	2-3 µSv/h de radiación de fondo medidos en el área	>1 x 10 ⁶	<p>Requeridas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prevenir la ingestión inadvertida - Limitar la propagación de contaminación - Descontaminar - Aplicar profilaxis⁶ - Desarrollar el examen médico e indicar el tratamiento
NOI-2	>1 x 10 ²	>1 x 10 ³	0.2-0.3 µSv/h de radiación de fondo medidos en el área	>1 x 10 ⁵	<p>Recomendable</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prevenir la ingestión inadvertida - Limitar la propagación de contaminación - Descontaminar - Aplicar profilaxis - Desarrollar el examen médico e indicar el tratamiento
NOI-3	>1 x 10 ¹	>1x10 ²	No detectable	>1 x 10 ⁴	<p>Opcional</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descontaminar y sugerir a la persona que se bañe, que lave la ropa lo más antes posible - Asegurarse de proporcionar información que les indique que no hay riesgo significativo para la salud e informar en dónde pueden encontrar información adicional.
	Detectable y < 1 x 10 ¹	Detectable y < 1 x 10 ²	No detectable	Detectable y < 1 x 10 ⁴	<ul style="list-style-type: none"> - Asegurarse de proporcionar información que les indique que no hay riesgo significativo para la salud e informar en dónde pueden encontrar información adicional.

⁶Profilaxis: Medio de respuesta que consiste en ingerir tabletas de yodo estable con el propósito de saturar la glándula tiroides del individuo temporalmente para contrarrestar la posible incorporación de I¹³³ por vía inhalatoria. Ésta se efectúa para casos de accidentes radiológicos importantes donde un sector del público se ve involucrado

7.4 Hojas de trabajo y tarjetas específicas

Las Hojas de Trabajo son formularios prediseñados que deberán ser llenados por los Elementos de Seguridad Pública y los Elementos de Respuesta Médica. Cada Hoja de Trabajo contendrá el nombre de la persona que completará cada espacio, su cargo, etc. En este trabajo únicamente se presentan 4 formatos que constan en el registro de las personas que están involucradas en la emergencia y desde el arribo del personal médico a la zona de emergencia hasta la recepción de la ambulancia al hospital. Ésta última será completada por algún Elemento de Seguridad Pública [45].

7.4.1. HOJA DE TRABAJO 1. FORMA DE REGISTRO DE VÍCTIMAS DE EMERGENCIA

<i>Sera completada por: Iniciador de la Respuesta Médica (Coordinador de Comunicación)</i>	HOJA DE TRABAJO 2	No. _____
	FORMA DE REGISTRO DE VÍCTIMAS DE EMERGENCIA	

Nombre Completo: _____ Fecha: _____
(Iniciador de la Respuesta Médica)

Proveer copia a: ___ Coordinador de la Emergencia Médica Hora: _____

Nombre del informante: _____
(Nombre Completo)

Miembro de: ___ Servicios de Emergencia ___ Servicios de Emergencia Médica

Llamada verificada: ___ SI ___ NO

Localización de la emergencia: _____
(Dirección y localización del sitio)

Número de víctimas en la emergencia: _____

Status Médico de las víctimas:

A*: ___ Estable ___ Inestable B: ___ Estable ___ Inestable

C: ___ Estable ___ Inestable D: ___ Estable ___ Inestable

Status Radiológico de las víctimas

¿Evaluación radiológica realizada? ___ SI ___ NO

Contaminación: ___ Interna ___ Ingestión ___ Inhalación

___ Externa: Radionúclido _____

Actividad _____ Área corporal _____

Víctimas expuestas ___ SI (¿Cuántas?: ___) ___ NO (¿Cuántas?: ___)

Víctimas contaminadas ___ SI (¿Cuántas?: ___) ___ NO (¿Cuántas?: ___)

Heridas contaminadas ___ SI ___ NO

¿Descontaminación inicial realizada? ___ SI ___ NO

Descripción de la emergencia: Fuente _____

Distancia entre la fuente y víctima:

A _____, B _____, C _____, D _____

Tiempo de exposición de la víctima:

A _____, B _____, C _____, D _____

Dosis estimada para la víctima:

A _____, B _____, C _____, D _____

Tiempo aproximado de arribo al hospital: _____ **Firma** _____

* -A, B, C, D, etc. Son letras que permiten distinguir a diferentes pacientes.

7.4.2. HOJA DE TRABAJO 2. REGISTRO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE VÍCTIMAS (EVALUACIÓN EN LA ZONA DE EMERGENCIA)

<i>Sera completada por:</i> <i>Asesor Radiológico</i>	HOJA DE TRABAJO 3	<i>No.</i> _____
	REGISTRO DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN DE VÍCTIMAS (EVALUACIÓN EN ZONA DE EMERGENCIA)	

Evaluado por: _____ Fecha: _____
(Nombre completo)

Proveer a: ___ Respondedor de la Emergencia Médica Hora: _____

Nombre de la víctima: _____ Sexo: ___M ___F

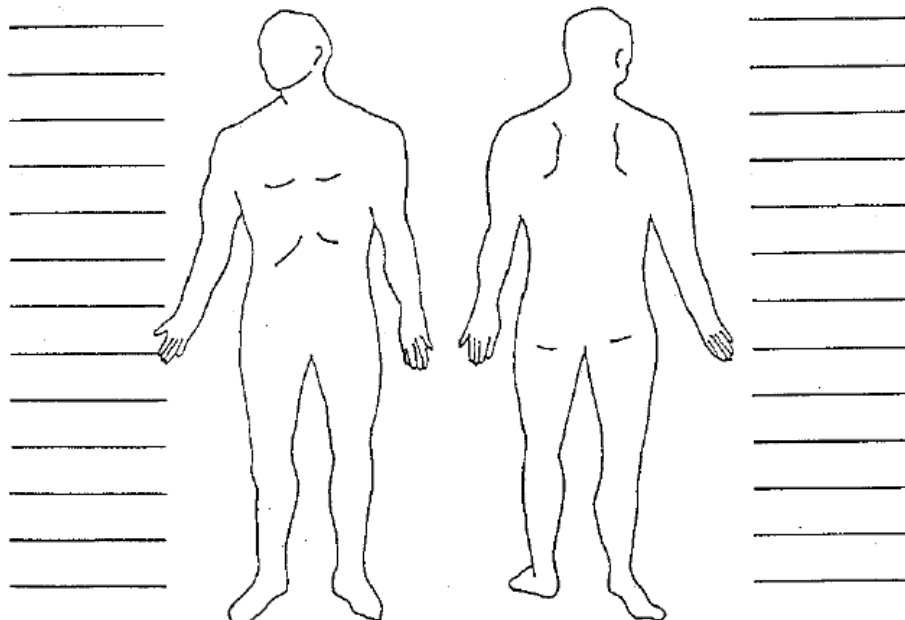
Dirección: _____

Fecha de evaluación: _____ Duración de la evaluación: _____

Evaluación de la contaminación

Tipo de instrumento: _____ Modelo: _____

Lectura de fondo: _____ Superficie del detector activada: _____ (cm²)



Nota: Indicar las lecturas en las líneas provistas en el diagrama. Indicar con una flecha la localización de la lectura. Sólo registrar las lecturas mayores a la lectura de fondo.

¿Aplicación de los procedimientos de descontaminación?: ___ SI ___ NO

Resultados de la evaluación en tiroides: _____ [(cuello) (unidades)] _____ [(muslo) (unidades)]

Razón de conteo. _____ [(fondo) (unidades)] _____ [(final) (unidades)]

Coefficiente de calibración: _____ [Bq/unidad de razón de conteo] Actividad: _____ [Bq]

¿Requiere facilidades para evaluación médica futura?: ___ SI ___ NO

Firma del evaluador: _____

7.4.3. HOJA DE TRABAJO 3. FORMA PARA REGISTRO DE PERSONAS INVOLUCRADAS EN LA EMERGENCIA

<i>Sera completada por:</i> Primer Actuante (Policía)	HOJA DE TRABAJO 4	No. _____
	FORMA PARA REGISTRO DE PERSONAS INVOLUCRADAS EN LA EMERGENCIA	

Nombre Completo: _____ Fecha: _____
 (Primer Actuante)

Proveer copia a: ___ Respondedor de la Emergencia Médica Hora: _____
 ___ Secretario de Salud Pública

Información acerca de las personas involucradas en la emergencia:

Nombre completo: _____

Fecha de nacimiento: _____ Edad: _____ Sexo: ___M ___F

ID tipo and número: _____

Dirección de lugar de trabajo: _____

Número Telefónico de Oficina: _____

Domicilio Particular: _____

Teléfono de casa y/o celular: _____

Miembro de: _____ Público _____ Policias _____ Servicios de Emergencia

¿Se realizó evaluación radiológica? ___ SI ___ NO

Nota: Si se realizó evaluación radiológica llene hoja de trabajo 3 con los resultados

¿Fue descontaminado? ___ SI, a nivel: _____ [_____] ___ NO
Unidades

Distancia a la que se encontraba cuándo sucedió la emergencia: _____

Hora de inicio a la exposición: _____ Hora de finalización de exposición: _____

Duración de exposición: _____ Posición de la persona: _____

Observaciones: _____

Firma: _____

7.4.4. HOJA DE TRABAJO 4. REGISTRO DE EVALUACIÓN RADIOLÓGICA A PACIENTES (NIVEL HOSPITALARIO)

Sera completada por: Equipo de Dosimetría	HOJA DE TRABAJO 5	No. _____
	REGISTRO DE EVALUACIÓN RADIOLÓGICA A PACIENTES (NIVEL HOSPITALARIO)	

Evaluado por: _____ Fecha: _____
(Nombre completo)

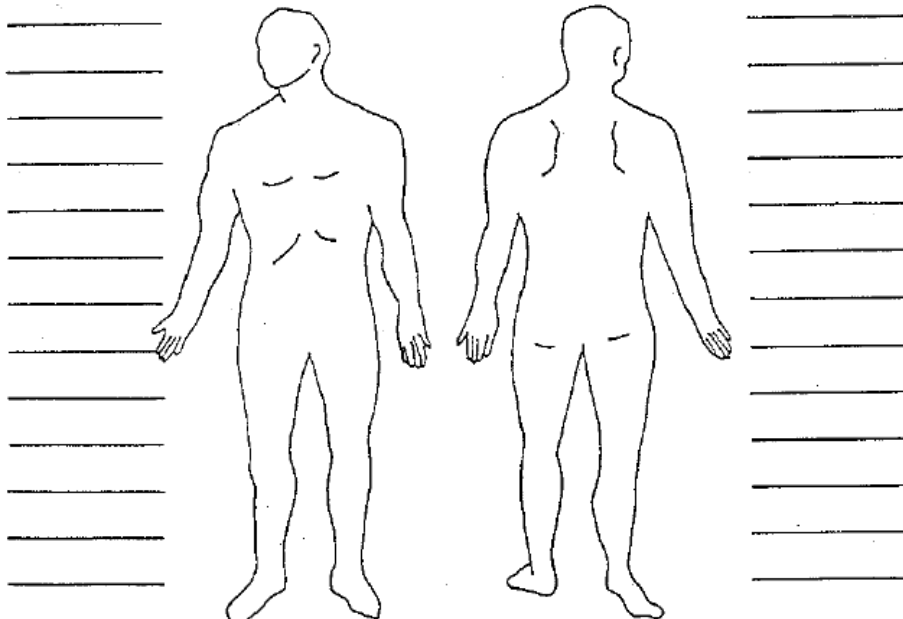
Proveer copia a: ___ Depto. Respuesta Médica Hospitalaria Hora: _____
 ___ Físico Médico

Desarrollado en: ___ Área de recepción de ambulancia ___ Área Hospitalaria de Tratamiento

Nombre de la víctima: _____ Sexo: ___ M ___ F
 Fecha de evaluación: _____ Duración de la evaluación: _____

Evaluación de la contaminación

Tipo de instrumento: _____ Modelo: _____
 Lectura de fondo: _____ Superficie del detector activada: _____ (cm²)



Nota: Indicar las lecturas en las líneas provistas en el diagrama. Indicar con una flecha la localización de la lectura. Sólo registrar las lecturas mayores a la lectura de fondo.

Resultados de la evaluación en tiroides: _____ [_____]
 (cuello) (unidades) (muslo) (unidades)

Razón de Conteo en: _____ [_____]
 (fondo) (unidades) (final) (unidades)

Coefficiente de calibración: _____ [Bq/unidad de razón de conteo] Actividad: _____ [Bq]

¿Requiere facilidades para evaluación médica futura?: ___ SI ___ NO

Firma del evaluador: _____

7.5 Respuesta clínica inicial

En la tabla siguiente se enlista el material que ocupará el Equipo de respuesta médica.

Tabla 26. Lista de útiles para la descontaminación de las víctimas en el Departamento de Emergencia [47, 48].

Categoría	Suministros
Ropa	Ropa de protección completa para cada miembro del equipo de descontaminación: <ul style="list-style-type: none"> • Monos Tyvek ® • Guantes quirúrgicos • Cubiertas de zapato • Máscaras quirúrgicas • Gorros
Equipos de detección	<ul style="list-style-type: none"> • Dosímetros de personal (tipo de ionización de bolsillo) • Dosímetros Termoluminiscentes • Insignias de la película • Medidores Geiger-Mueller - Ludlum modelo #5 con sonda de panqueque (almacenados en el Departamento de medicina nuclear)
Equipo de descontaminación	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicadores de algodón • Grandes bolsas de plástico (colección de ropa) • Cinta adhesiva y etiquetas • Toallas grandes • Cepillos Soft scrub • Láminas de plástico • Agentes de limpieza general: blanqueador con cloro, lavado (no debe ser utilizado para la descontaminación de paciente), jabón • Señales de advertencia de radiación • Copia del protocolo estándar de accidente de radiación • Bolígrafos surtidos • Botellas de muestra (con y sin heparina y etilendiamina ácido etilendiaminotetraacético) • Arena para gatos • Bateas • 50 Cincuenta metros de cuerda • Lona de plástico o de otros revestimientos de plásticos para el piso

Técnicas de control de la contaminación

Los objetivos de Control de la contaminación son evitar la propagación de materiales radiactivos de:

- El paciente: en la mayoría de los casos la víctima será la fuente de la contaminación; sin embargo, en salvamento y rescate, la contaminación puede haber sido transferida a otros.
- El personal de rescate.
- La camilla y equipos utilizados en la atención al paciente (estetoscopio, brazaletes de BP, etc.).
- La ambulancia.

Esta contaminación puede ser transferida a:

- Proveedores de cuidado ya que tocan o mueven al paciente para corregir el problema médico.
- El equipo utilizado para evaluar la condición del paciente y para tratar la emergencia médica.
- El área circundante (camilla de tratamiento, piso, etc.).
- En casos raros donde está presente polvo, el aire puede contener partículas radiactivas.

Preparación del área de tratamiento para el Control de la contaminación

- Si es posible, seleccione una sala de tratamiento cerca de una entrada exterior. Despeje la zona de los pacientes y visitantes. Retire o cubra los equipos que no serán necesarios durante la atención de la emergencia de la víctima del accidente de radiación.
- Se necesitarán varios contenedores de residuos grandes con revestimientos de plástico. La mesa de tratamiento debe cubrirse con varias capas de láminas impermeables, desechables. Bolsas de plástico en todos los tamaños serán necesarias y deben estar fácilmente disponibles.
- Instrumentos de encuesta deben ser revisados y listos para su uso antes de que llegue el paciente. Los niveles de radiación de fondo deben ser documentados.
- El equipo de tratamiento debe estar preparado para cumplir con el paciente en la ambulancia donde el paciente puede ser transferido a la camilla de tratamiento preparado.

Abarca áreas de piso

- Rollos de papel de embalaje marrón o papel de estraza con tres a cuatro metros de ancho pueden ser desenrollados para hacer una ruta desde la entrada de la ambulancia a la sala de descontaminación. Hojas de paño ordinario o absorbentes cuadrados pueden utilizarse si el papel está disponible. Cualquiera que sea la manera de cubrir el piso, debe ser pegado firmemente. Esta ruta debe entonces ser

acordonada y marcada para evitar la entrada no autorizada. El suelo de la zona de la habitación o de tratamiento de descontaminación debe cubrirse en forma similar, si el tiempo lo permite. Esto facilitará la limpieza de la zona.

- Debe establecerse una línea de control en la entrada a la sala de descontaminación. Una amplia tira de cinta en el piso a la entrada de la habitación debe marcar claramente y distinguir el controlado (contaminados) desde el lado (no contaminado) no controlado.

Control de ventilación

- Mientras que puede ser conveniente que la habitación o habitaciones, tengan un sistema de ventilación que este separado del resto del hospital o un medio para evitar que el aire sin filtrar de la zona de emergencia de radiación se mezcla con el aire que se distribuye al resto del hospital, hay muy poca probabilidad que los contaminantes sean convertidos en partículas suspendidas en aire y entren en el sistema de ventilación. Por lo tanto, no se aconsejan precauciones especiales [56].

Técnicas de Control de la contaminación

- Configurar un área controlada lo suficientemente grande para el número esperado de las víctimas.
- Evitar el seguimiento de contaminantes por cubrir las áreas de piso y monitoreo en las salidas de las áreas controladas.
- Restringir el acceso a la zona controlada.
- Monitorear a cualquiera o cualquier cosa que salga de la zona controlada.
- Usar las precauciones de aislamiento estricto, incluyendo ropa de protección y doble embolsado.
- Utilizar una zona de amortiguación o línea de control secundario para mayor seguridad.
- Controlar los residuos mediante el uso de recipientes grandes, revestimiento de plástico para la ropa, sábanas, etc.
- Controlar la ventilación.
- Cambiar instrumentos, guantes exteriores, cortinas, etc., cuando se contaminen.
- Utilizar materiales impermeables para limitar la propagación de líquidos contaminados; por ejemplo, las cortinas de plástico.

Si la contaminación radiactiva es descubierta después que el paciente haya sido admitido

- Continuar atendiendo a las necesidades médicas del paciente.
- Asegurar toda la zona donde ha estado la víctima y el personal de asistencia.
- No permitir que nada ni nadie abandone la zona hasta que sea monitoreado por el encargado de seguridad radiológica.
- Establecer las líneas de control y evitar la propagación de la contaminación.
- Evaluar situación radiológica del paciente.

- El personal debe quitar la ropa contaminada antes de salir del área; deben ser examinados, ducharse, vestirse con ropa limpia y ser monitoreados antes de abandonar el área.

Guía de seguridad de la Sala de operaciones [47]

- Una víctima de un accidente de radiación que requiere cirugía de emergencia o cirugía en una fecha posterior a la **que ha estado expuesta a la radiación externa, pero sin contaminación**, no requiere ningún cuidado especial en la sala de operaciones.
- Para las víctimas de accidente que requieren cirugía de emergencia y **que pueden estar contaminadas externamente o internamente con materiales radiactivos**, el personal de la sala de operaciones debe tomar las siguientes precauciones para minimizar la propagación de la contaminación:
 - Puede utilizarse un quirófano convencional, siempre que haya espacio suficiente para acomodar el personal adicional junto con el personal de quirófano estándar.
 - Todo dentro de la sala de operaciones (es decir, la mesa de operaciones, las pequeñas mesas y piso) debe cubrirse con revestimientos de plásticos desechables.
 - Las medidas de antisepsia de rutinaria garantizan una protección adecuada para el personal de la sala de operaciones contra la contaminación.
 - A menos que el oficial de seguridad de la radiación (RSO) indique lo contrario, no hay ningún peligro de contaminación por la anestesia y el equipo de respiración. Otros artículos (como el equipo quirúrgico, los instrumentos y guantes) deben cambiarse con frecuencia para evitar la propagación de la contaminación. Un suministro adecuado de equipo quirúrgico debe estar presente (es decir, triplicado).
 - El equipo debe ser monitoreado, aseado, encuestado y aprobado por el RSO o la persona designada, después de ser usado. Los artículos contaminados se colocan en un recipiente y se almacenarán en el Departamento de medicina nuclear. Las áreas de contaminación corporal serán delineadas y, si es posible, cubiertas con un plástico antes de la cirugía.
 - Si una lesión está contaminada y requiere ser incidida quirúrgicamente, debe ser lavada con solución salina normal, Betadine, o el peróxido de hidrógeno (según preferencia del cirujano). Para la contaminación persistente, sería apropiado consultar con el RSO sobre el uso de ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA) (1 inyección de DTPA por 100 ml de agua) u otro agente quelante.
 - Los tejidos contaminados de la víctima deben ser colocados en un contenedor debidamente etiquetado y almacenados en el Departamento de medicina nuclear u otra área del hospital designado para el almacenamiento de residuos radiactivos. El RSO debe ser notificado de la ubicación y el tipo de tejido almacenado.
 - Al terminar el procedimiento quirúrgico, el RSO o la persona designada se encargara de la aprobación de la limpieza del equipo quirúrgico restante, el atuendo quirúrgico y las cubiertas plásticas del piso de la sala de operaciones, para determinar su contaminación. Todos los artículos que se encuentran contaminados serán colocados en un recipiente y transportados al Departamento de medicina nuclear para almacenamiento hasta que decaigan adecuadamente. Todo el personal debe

monitorearse con un contador de Geiger-Mueller estándar antes de salir de la sala de operaciones.

Guía de seguridad de las salas de imagen [47]

- Después de que se ha eliminado toda la ropa y descontaminado externamente al paciente, pueden realizarle una radiografía.
- Si el paciente es suficientemente descontaminado al retirarse de la zona de descontaminación, los procedimientos radiográficos pueden realizarse dentro de la sala de emergencias o departamento de radiología.
- Si el médico cree que mover al paciente de la zona de descontaminación es inseguro, pueden realizarse la radiografía con el uso de una unidad portátil de rayos x.
- Si la condición del paciente lo amerita, los procedimientos radiográficos pueden realizarse antes de la descontaminación completa.

Planificación de seguridad [47]

- Es imperativo que el área de descontaminación se mantenga físicamente aislada del resto del hospital.
- La entrada y salida de esta área debe ser restringida y, debe asegurarse que no hay contaminación que pueda transferirse desde esta zona al resto del hospital.
- Un número suficiente de Oficiales de seguridad adecuadamente capacitados deben estar presentes para controlar el perímetro del hospital, la entrada a la ED o área de descontaminación externa del hospital. El acceso y salida de cualquier área contaminada dentro de las áreas de tratamiento, las áreas de admisión, el hospital, la sala de rayos x, el quirófano, la morgue, debe ser controlado si hay personas contaminadas.
- Antes de entrar en las áreas potencialmente contaminadas, el personal debe dar la ropa de protección adecuada y usar dispositivos para el control de radiación de personal.
- Al salir de la zona de descontaminación, se debe quitar la ropa de protección y considerada como contaminada. Se deberá colocar en un contenedor de basura con revestimiento de plástico para su posterior lavado o decaimiento.
- Además, todo el personal debe monitorear sus manos, pies y ropa antes de abandonar el área de descontaminación con un detector de contaminación, para asegurarse que no estén contaminados.

Después de un evento de radiación: gestión de las zonas contaminadas, personal y equipo [47]

- **Antes de abandonar la zona de descontaminación o después de la terminación del tratamiento y descontaminación de las víctimas de un accidente de radiación, todo el personal del equipo médico de triage y equipo usado debe ser examinado por personal de seguridad radiológica.**
- Al final del evento o turno de trabajo, se proporcionarán aparatos de monitoreo personales al oficial de seguridad radiológica para su procesamiento.

- Las víctimas también deben ser examinadas por el oficial de seguridad de la radiación o la persona designada.
- Si la dosimetría precisa no está inmediatamente disponible, el personal de seguridad radiológica debe estimar una dosimetría personal para el paciente.
- El personal de seguridad radiológica y seguridad determinará la mejor ruta para ser utilizada en el transporte de pacientes que podrían no estar completamente descontaminados a diversas áreas de tratamiento del hospital.
- El espacio de descontaminación y otros espacios en contacto con víctimas contaminadas serán monitoreados y aseados para su posterior descontaminación según sea necesario.
- El personal de seguridad radiológica dirigirá la descontaminación de los vehículos de transporte de emergencia, quirófano y ascensores según sea necesario.
- Las víctimas hospitalizadas con contaminación serán examinadas diariamente y evaluadas para una extensión potencial de descontaminación.
- Las sábanas y suministros serán empaquetados y monitoreados.
- Los dispositivos para monitoreo personal de la radiación llevados por miembros del equipo, serán recogidos y analizados.
- Todos los elementos contaminados serán embolsados, etiquetados y almacenados en el área de almacenamiento apropiado bajo la dirección del personal de seguridad de la radiación.
- **Ninguna persona o equipo podrá salir de la zona de descontaminación sin supervisión apropiada.**

Requerimientos iniciales de los laboratorios (campo o ED)

Conteos de cuerpo entero con repeticiones cada 6 horas con el fin de evaluar la cinética de los linfocitos y para calcular la razón neutrófilos/linfocitos.

Amilasa sérica (línea de base y cada día después de 24 horas): un incremento en la dosis depende de la amilasa esperada después de 24 horas al evento de exposición significativa de radiación.

Obtenciones importantes en los laboratorios (si es posible)

Los niveles del ligando FLT-3 en sangre- marcador para daño hematopoyético.

La citrulina en sangre- la disminución de la citrulina indica daño en el sistema gastrointestinal.

La interleucina -6 (IL-6) – el marcador incrementa a dosis de radiación más alta.

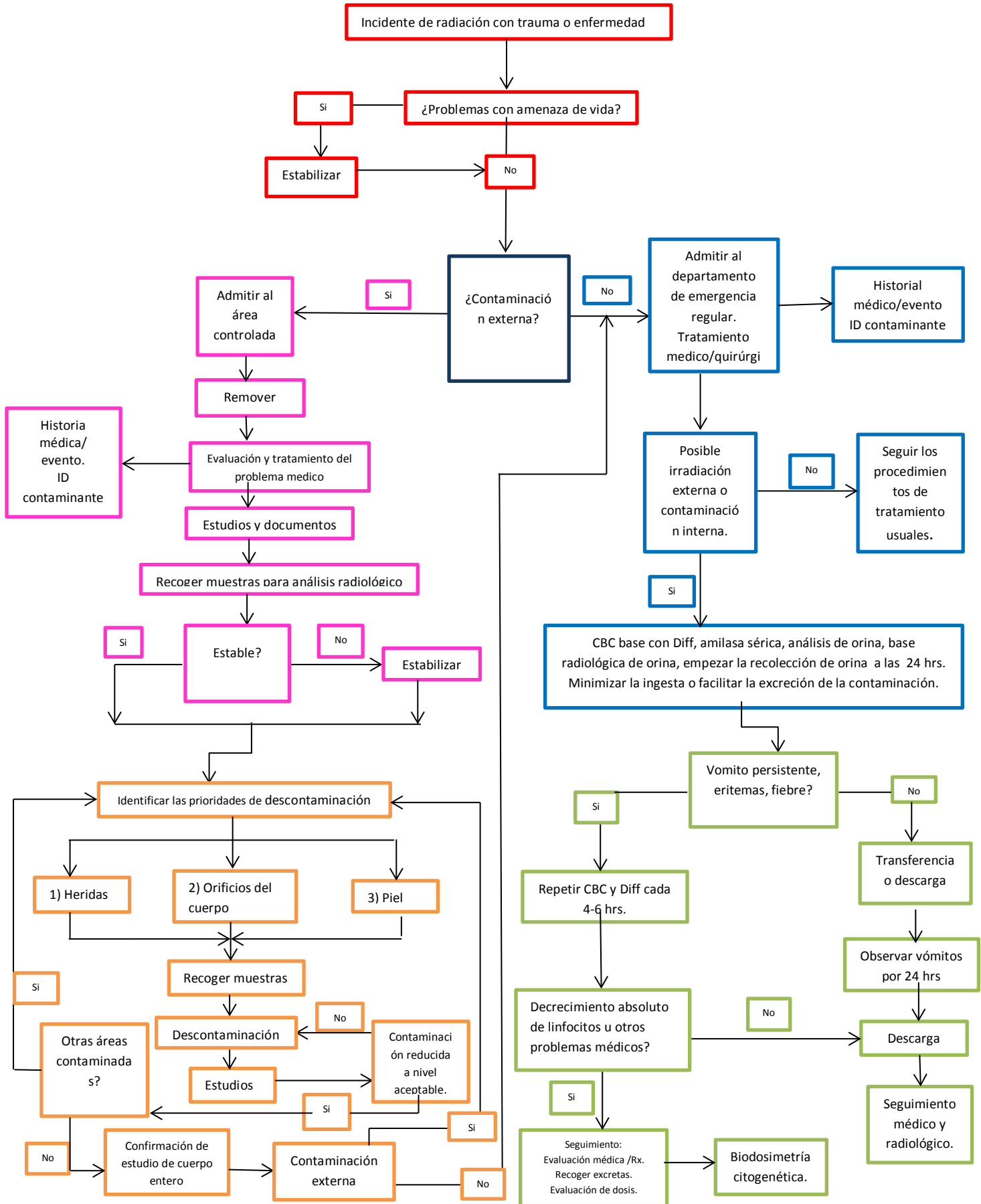
Análisis Cuantitativo de G-CSF- el marcador incrementa a dosis de radiación más alta.

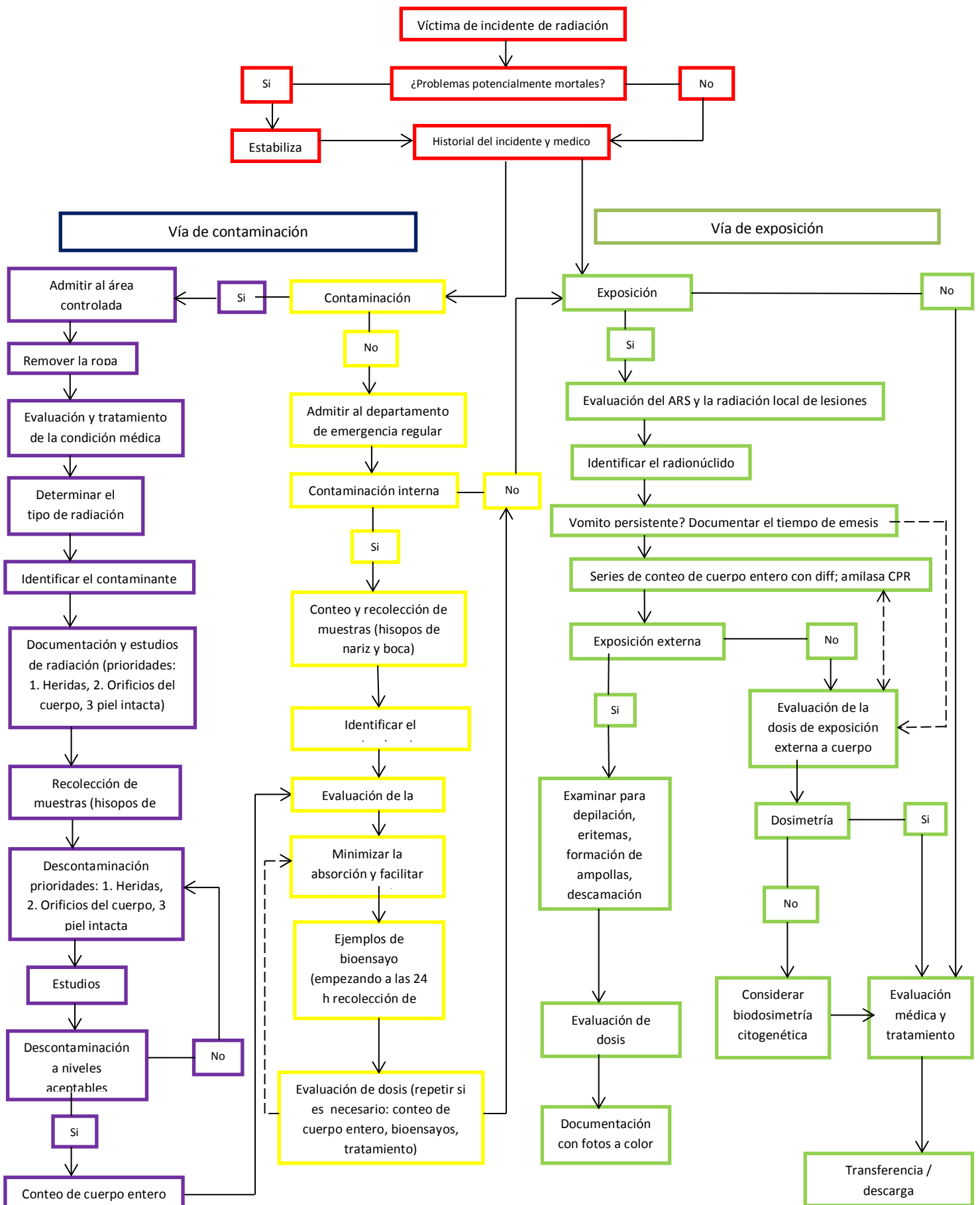
Proteína C reactiva (CRP)- aumenta con la dosis, se muestra prometedor para discriminar entre pacientes mínimamente y muy expuestos.

Estudios citogenéticos con un índice de sobre dispersión para evaluar la exposición a cuerpo parcial.

7.6 Tratamiento del paciente contaminado

Los siguientes diagramas de flujo para el manejo hospitalario de personas irradiadas o contaminadas radiológicamente, son una propuesta de la organización que debería tener un hospital, con el propósito de brindar una atención clínica más eficiente y segura.





CONCLUSIONES

Se identificaron, clasificaron y seleccionaron tratamientos clínicos para acelerar la desincorporación radiactiva de personas con presencia de contaminación interna derivada de accidentes radiológicos y nucleares. Estos tratamientos se clasificaron en función de diferentes variables como son: el radionúclido, tipo de radiación, vida media radiactiva, vida media biológica, órgano crítico, vía de ingestión y la condición médica del paciente.

La correcta identificación del método de descontaminación y el tratamiento clínico, así como la rapidez de aplicación, son factores decisivos en el incremento de la eficiencia de bloqueo o de desincorporación del radionúclido, la disminución de la dosis absorbida y en consecuencia los efectos biológicos estocásticos y determinísticos en el paciente.

Es esta tesis se analizaron diferentes vías de entrada del contaminante al cuerpo humano, a través de los mecanismos de absorción, ingestión e inhalación. Las vías de entrada consideradas fueron: contaminación de la piel, herida contaminada, contaminación a través del aparato digestivo, contaminación a través del aparato respiratorio.

La metodología seleccionada tiene por objetivo: impedir la absorción; impedir la incorporación; disminuir la vida media biológica efectiva; disminuir la dosis absorbida al paciente; y disminuir en lo posible los efectos biológicos de la radiación (estocásticos y determinísticos). Estas metodologías fueron clasificadas en dos tipos: los que permiten reducir el pasaje del radionúclido desde el sitio de entrada, y los que aumentan la excreción del radionúclido contaminante.

Una vez que el material radiactivo ha pasado a la sangre, la aplicación de un tratamiento lo más pronto posible puede prevenir su deposición en los tejidos y reducir la retención de radiactividad en diferentes órganos. Estos tratamientos pueden clasificarse de acuerdo a su mecanismo de acción en: tratamiento con quelantes, dilución isotópica, bloqueo metabólico, administración de agentes movilizadores y técnicas de eliminación extracorpóreas.

El factor tiempo es decisivo para la efectividad de estas metodologías, siendo directamente proporcional a su aplicación preventiva de bloqueo antes del accidente, o bien de desincorporación posterior al accidente, lo más rápido posible. Sin embargo, el diagnóstico clínico oportuno y especializado, es uno de los factores más importantes para lograr altos porcentajes de desincorporación radiactiva en pacientes.

Es por ello que para lograr eficiencias de desincorporación radiactiva mayores al 70%, el tratamiento clínico del paciente deberá iniciarse antes del primer tercio de la vida media biológica del radionúclido que generó la contaminación interna. En el caso de la eficiencia de bloqueo previo a un accidente radiológico, la recomendación es un mínimo de 2 h antes del accidente para que se concentre el isótopo estable en el órgano blanco, con el propósito de saturarlo y minimizar la captación del isótopo radiactivo.

Por otra parte, durante la atención a emergencias radiológicas y nucleares, es indispensable contar con un grupo interdisciplinario que aborde el problema en forma integral e inmediata, con el propósito de: Reconstruir el accidente y la dosis absorbida por el paciente; Determinar clínicamente el grado del daño, de acuerdo al historial clínico y a los efectos biológicos que presente el paciente (Síndrome agudo por radiación); y definir la estrategia terapéutica personalizada.

Referencias

1. ORISE. The Medical Aspects of Radiation Incidents, The Radiation Emergency Assistance Center/Training Site, Oak Ridge Institute for Science and Education, (2009).
2. González-Rodríguez VJ, Paredes-Gutiérrez L, "Accidentes Radiológicos: Identificación y Clasificación", Informe Técnico IT.DIT.02, ININ, México, (2012).
3. Galicia-Aragón Juan, Paredes-Gutiérrez Lydia, "Accidentes Nucleares: Identificación y Clasificación", Informe Técnico IT.DIT.03/2012, ININ, México, (2012).
4. Paredes-Gutiérrez, Lydia, "Evolución y perspectiva de las aplicaciones nucleares no energéticas en México", Informe Técnico IT.DIT.05/2011, ININ, México, (2011).
5. Abrecht P, Arungu-Olende S, Francis JM, Diogo de Gaspar, *et. al.*, "Aceptación pública de la energía nucleoelectrica principios éticos", IAEA, BOLETÍN 19(6).
6. Arshad Khan, Lucille Langlois, Giroux M, "Buenos augurios para el desarrollo sostenible: Contribuciones de la energía nuclear", IAEA, BOLETÍN, 39(1) (1997).
7. Waller DB, "La gestión del dilema nuclear", IAEA, BOLETÍN 49(1) (2007).
8. Muranaka R, "Utilización y gestión eficaces de los reactores de investigación", IAEA, BOLETÍN 26(2).
9. Pierre A, Chantoin M, Finucane J, "El plutonio como fuente de energía: Análisis cuantitativo del panorama comercial", IAEA, BOLETÍN 3 (1993).
10. Stern J, "Hablando de Terrorismo", IAEA, BOLETÍN 48(1).
11. Graef Fernández C, "Instalaciones del reactor TRIGA Mark III", Contacto Nuclear.
12. Brandan M E, Díaz-Perches R, Ostrosky P, "La radiación al servicio de la vida", Fondo de Cultura Económica, México, (1988).
13. Núñez M, "Fundamentos de SPECT", Comité de Tecnólogos de ALASBIMN, Escuela Universitaria de Tecnología Médica, U de la R, Montevideo, Uruguay, (2008).
14. Hellmut Glubrecht, "Tendencias futuras de las aplicaciones de los isótopos y de las radiaciones", IAEA, BOLETÍN 19(6).
15. Bergman C, Pettersson BG, "Aplicaciones de las radiaciones y gestión de desechos: Adopción de medidas definitivas", IAEA, BOLETÍN 1 (1994).
16. Guizerix J, Markovic V, Airey P, "Los radioisótopos y la tecnología de las radiaciones en la industria", IAEA, BOLETÍN 2 (1987).
17. García Ramírez E, "Chernobyl dos décadas: Los datos duros", Contacto nuclear.
18. Asimov I, "Historia de la energía nuclear", Alianza, Madrid, (1985).
19. Brandan ME, "Armas y explosiones nucleares: La humanidad en peligro", Fondo de Cultura Económica, México, (1988).
20. Bryan JC, "Introduction to nuclear science", CRC press, USA, (2009).
21. Martin, Charles Noel, "Promesas y amenazas de la energía nuclear", Ed. Ariel, Barcelona, España, (1982).

22. Sistema Nacional de Protección Civil/ Secretaría de Gobernación, “Plan de Emergencia Radiológico Externo, Comisión Federal de Electricidad, Fuerza de Tarea 82”, PERE 206.- Monitoreo. Clasificación y Descontaminación de Evacuados, Rev. 10, Agosto (2005).
23. Sistema Nacional de Protección Civil/ Secretaría de Gobernación, “Plan de emergencia radiológico externo, secretaría de marina- armada de México, fuerza de tarea 85”, PERE 516.- Procedimiento de Atención Médica Especializada, Rev. 7, Agosto (2005).
24. Di Trano, JL, Pérez M, Gisone PA, “Guía para el tratamiento de personas accidentalmente sobre expuestas a las radiaciones ionizantes – contaminación interna”, Autoridad Regulatoria Nuclear Argentina, (1999).
25. ICRP, “Individual monitoring for internal exposure of workers”, Annals of the ICRP, ICRP publication 78, Pergamon (1997).
26. US Department of Health & Human Services. Radiation Emergency Medical Management (2013). <http://www.remm.nlm.gov>
27. NORMA Oficial Mexicana NOM-005-NUCL-1994, Límites anuales de incorporación (LAI) y concentraciones derivadas en aire (CDA) de radionúclidos para el personal ocupacionalmente expuesto. SECRETARIA DE ENERGIA, (1994).
28. National Council on Radiation Protection and Measurements NCRP, “Management of Persons Contaminated with Radionuclides: Handbook”, Bethesda, MD, Report 1(161) (2008).
29. Tochner ZA, Glatstein E, “Internal contaminant radionuclides: properties and treatment” in "Chapter 216: Radiation Bioterrorism", in Harrison's Principles of Internal Medicine, 17th Edition, Fauci AS, Longo DL, Kasper DL, Braunwald E, Jameson JL, Loscalzo J, Hauser SL, eds., pp. 1358-1364 (Table 216-1), McGraw Hill, (2008).
30. NCRP. “Population monitoring and radionuclide decorporation following a radiological or nuclear incident”, Bethesda, MD, Report (166)(2011).
31. IAEA, “Curso regional de respuesta médica a emergencias con radiaciones ionizantes”, Santo Domingo, República Dominicana, 12-16 marzo (2012).
32. Dainiak N, "Fundamentos y recomendaciones para el tratamiento de la lesión por radiación con citoquinas", Salud Phys, 6:838-42, Junio (2010).
33. Smith TJ, Khatcheressian J, Lyman GH, Ozer H, *et. al.*, “Actualización de recomendaciones para el uso de factores de crecimiento de glóbulos blancos: Una guía de práctica clínica basadas en evidencia”, J Clin Oncol., 24 (19): 3187-205, (2006).
34. Kaushansky KN, “Factores de crecimiento hematopoyéticos de linaje específico”, N Engl J Med, 354 (19): 2034-45, (2006).
35. Kuderer NM, Dale DC, Crawford J, Lyman GH, “Impacto de profilaxis primaria con factor estimulante de colonias de granulocitos en neutropenia febril y la mortalidad en pacientes adultos con cáncer que reciben quimioterapia: una revisión sistemática”, J ClinOncol., 25 (21): 3158-67, (2007).
36. Sung L, Nathan PC, Alibhai SM, Tomlinson GA, *et. al.*, “Meta-analysis: efecto de factores estimuladores de colonias hematopoyéticos profilácticos sobre la mortalidad y los resultados de la infección”, Ann Internmed, 6:400-11, (2007).
37. “Factores de crecimiento mieloide”, revista de la red nacional integral del cáncer, 7(1) (2009).

38. C Herbst, Naumann F, Kruse EB, Monsef I, *et. al.*, “Antibióticos profilácticos o G-CSF para la prevención de infecciones y mejora de la supervivencia en pacientes con cáncer que reciben quimioterapia”, *Cochrane Data base Syst*, (1): CD007107, (2009).
39. Barabanova AJ, “Lesión por radiación Local”, CRC Press, IA Gusev, Guskov AK, Mettler FA Jr, eds.: *la gerencia médica de radiación accidentes*, Boca Raton, pp. 223-240, (2001).
40. Flidner TM, Friesecke I, Beyrer K. “Gestión médica de los accidentes de radiación: Manual sobre el síndrome agudo de la radiación”, *METREPOL:27-32*, publicado originalmente por Oxford: Instituto británico de radiología, Compendio del documento principal de METREPOL, (2001).
41. Peter RU. “Síndrome de radiación cutáneo en falla multiorgánica”, *BJR Suppl*, 27:180-4 (2005).
42. Steinert M, de Weiss M, de Gottlöber P, de Belyi D, *et. al.*, “Efectos de exposición a la radiación cutánea accidental tardíos: Quince años de seguimiento después del accidente de Chernobyl”, *J Am Acad Dermatol*, 3:417-23 (2003).
43. IAEA, “Generic Procedures for Assessments and Response during a Radiological Emergency”, IAEA-TECDOC-1162, Vienna (2000).
44. IAEA, “Generic Procedures for Monitoring in a Nuclear or Radiological Emergency”, IAEA-TECDOC-1092, Vienna (1999).
45. IAEA, “Generic Procedures for Medical Response during a Nuclear or Radiological Emergency”, *EPR-MEDICAL 2005*, IAEA, April (2005).
46. SECRETARIA DE GOBERNACIÓN. GOBIERNO FEDERAL, “Plan de Emergencia Radiológica Externo”, http://pere.proteccioncivil.gob.mx/es/PERE/Esquema_general, México (2013).
47. Dainiak N *et al.*, “Plan de desarrollo de un hospital estatal de emergencias radiológicas”. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1; 1:16-24, (2006).
48. El Hospital y Healthcare sistema desastre Interest Group y el California emergencia médica Services Authority “Paciente descontaminación: recomendaciones para los hospitales”, *EMSA (233): 11-16*, contaminación radiológica, (2005).
49. Centers for Disease Control and Prevention, USA (2013). <http://emergency.cdc.gov>
50. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 4770 Buford Hwy NE, Atlanta, USA (2013). <http://www.atsdr.cdc.gov>
51. Environmental Protection Agency, Radiation Protection, USA (2013). <http://www.epa.gov/radiation>
52. Argonne National Laboratory Environmental Science Division, USA (2013), <http://www.evs.gov>
53. U.S Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services (2012), <http://www.fda.gov/Drugs/EmergencyPreparedness/BioterrorismandDrugPreparedness/ucm063807>
54. IAEA, “Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos”, Colección de normas de seguridad del OIEA, guía de seguridad N° RS-G-1.2 (2004).
55. IAEA, “Diagnosis and treatment of radiation injuries”, *Safety reports series No.2*, Vienna, (1998).
56. AMA, “Una guía para la dirección del Hospital de lesiones derivados de la exposición a o que implican radiaciones ionizantes”, (1984).

Anexo I.

Información Básica para el Tratamiento de la Contaminación Radiactiva Interna

A continuación se lista la información básica para el tratamiento de casos de contaminación radiactiva interna, considerando los siguientes radionúclidos:

1. Azufre (S)	17. Mercurio (Hg)
2. Bromo (Br)	18. Oro (Au)
3. Calcio (Ca)	19. Plomo (Pb)
4. Carbono (C)	20. Plutonio (Pu)
5. Cesio (Cs)	21. Polonio (Po)
6. Cobalto (Co)	22. Potasio (K)
7. Cromo (Cr)	23. Productos de fisión
8. Estroncio (Sr)	24. Radio (Ra)
9. Fosforo (P)	25. Selenio (Se)
10. Gases nobles (Xe, K ₂)	26. Sodio (Na)
11. Hierro (Fe)	27. Tecnecio (Tc)
12. Indio (In)	28. Transplutónidos
13. Yodo (I)	29. Tritio (H ₃)
14. Itrio (Y)	30. Uranio (U)
15. Lantánidos	31. Zinc (Zn)
16. Manganeseo (Mn)	

1. Azufre (³⁵ S)		
Tipo de emisión	β^-	
Período de decaimiento físico	88 días	
Período de decaimiento biológico	7 días	
Período de decaimiento efectivo	6.5 días	
Órgano crítico	Cuerpo entero	
ALI	Ingestión	2.6 E+7 Bq
	Inhalación	1.5 E+7 Bq
Tratamiento	Dilución isotópica. Tiosulfato de sodio 1 x 1 g, vía oral	
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de orina	

2. Bromo (⁸² Br)		
Tipo de emisión	β^-, γ	
Período de decaimiento físico	35.6 horas	
Período de decaimiento biológico	8 días	
Período de decaimiento efectivo	1.27 días	
Órgano crítico	Cuerpo entero	
ALI	Ingestión	3.7 E+7 Bq
	Inhalación	2.3 E+7 Bq
Tratamiento	Aumentar la diuresis. Ingesta de líquidos. Administración de diuréticos	
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de orina	

3. Calcio (⁴⁵ Ca, ⁴⁷ Ca)		⁴⁵ Ca	⁴⁷ Ca
Tipo de emisión		β^-	β^-, γ
Período de decaimiento físico		165 días	4,53 días
Período de decaimiento biológico		1.8×10^4 días	1.8×10^4 días
Período de decaimiento efectivo		164 días	4.54 días
Órgano crítico		Hueso	Hueso
ALI	⁴⁵ Ca	Ingestión	2.6 E+7 Bq
		Inhalación	7.4 E+6 Bq
	⁴⁷ Ca	Ingestión	1.3 E+7 Bq
		Inhalación	9.5 E+6 Bq
Tratamiento	Dilución Isotópica: gluconato de calcio ampollas (10%) de gluconato de calcio en 500 ml de solución glucosada al 5%, por vía intravenosa lenta.		
Monitoreo personal	Orina. Contaje de cuerpo entero (⁴⁷ Ca)		

4. Carbono (¹⁴ C)		
Tipo de emisión	β^-	
Período de decaimiento físico	5730 años	
Período de decaimiento biológico	0.4 días	
Período de decaimiento efectivo	0.4 días	
Órgano crítico	Cuerpo entero	
ALI	Ingestión	3.4 E+7 Bq
	Inhalación	3.4 E+7 Bq
Tratamiento	En vista de la corta vida media biológica generalmente no requiere acción terapéutica.	
Monitoreo personal	Orina. Aire exhalado	

5. Cesio (^{137}Cs)		
Tipo de emisión		β^- , γ
Período de decaimiento físico		30 años
Período de decaimiento biológico		70 días
Período de decaimiento efectivo		70 días
Órgano crítico		Cuerpo entero
ALI	Ingestión	1.5 E+6 Bq
	Inhalación	3.0 E+6 Bq
Tratamiento	<p>Todos los compuestos de cesio deben ser considerados solubles. Son absorbidos rápidamente, por lo que el tratamiento es de urgencia.</p> <p>Precipitar el radionúclido a nivel intestinal, tanto en las contaminaciones con puerta de entrada digestiva, como en las contaminaciones del aparato respiratorio o heridas.</p> <p>AZUL DE PRUSIA (ferrocianuro férrico), 1g disuelto en un vaso con agua (o 2 cápsulas), 3 veces al día.</p>	
Monitoreo personal	Orina. Heces. Contaje de cuerpo entero	

6. Cobalto (Co)	^{57}Co	^{58}Co	^{60}Co
Tipo de emisión	e^- , γ	β^+ , γ	β^- , γ
Período de decaimiento físico	270 días	71.3 días	5.26 años
Período de decaimiento biológico	125 días	125 días	125 días
Período de decaimiento efectivo	85.5 días	45.5 días	117 días
Órgano crítico	PULMÓN: para los compuestos no transportables el órgano crítico es el tracto gastrointestinal		
ALI	^{57}Co	Ingestión	9.5 E+7 Bq
		Inhalación	2.1 E+7 Bq
	^{58}Co	Ingestión	2.7 E+7 Bq
		Inhalación	1.0 E+7 Bq
	^{60}Co	Ingestión	5.9 E+6 Bq
		Inhalación	6.9 E+5 Bq
Tratamiento	<p>Como la mayoría de las sales de cobalto son insolubles, no es necesaria una terapia especial después de la ingestión.</p> <p>Administrar un laxante para acelerar el tránsito gastrointestinal, 10 g de sulfato de magnesio, vía oral.</p> <p>Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca. Inyección endovenosa lenta de 0.5 g de DTPA-Ca (media ampolla) en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. A esta quelación se puede asociar una dilución isotópica por administración de gluconato de cobalto, 2 ampollas de 450 μg por vía intramuscular o sublingual.</p> <p>Contaminación respiratoria: inhalación de un aerosol de DTPA, 1 ampolla (1 g) en un inhalador convencional o 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador tipo Sphinaler.</p>		
Monitoreo personal	Medición directa (CTC). Análisis radiotoxicológico de orina		

7. Cromo (⁵¹Cr)	
Tipo de emisión	e ⁻ γ
Período de decaimiento físico	27.8 días
Período de decaimiento biológico	Pulmón 125 días
Período de decaimiento efectivo	Pulmón 22.8 días
Órgano crítico	Tracto Gastrointestinal. Pulmón
ALI	Ingestión 5.3 E+8 Bq Inhalación 5.6 E+8 Bq
Tratamiento	Quelación: 0.5 g DTPA-Ca (media ampolla), inyección endovenosa lenta. Herida: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca. Tratamiento alternativo: DFOA (desferrioxamina B ó Desferal®), dosis de 1 g por vía intramuscular. Herida: irrigar con solución concentrada de DFOA.
Monitoreo personal	Análisis radiotóxicológico de orina

8. Estroncio (Sr)	⁸⁵ Sr	⁸⁹ Sr	⁹⁰ Sr
Tipo de emisión	γ	β ⁻	β ⁻
Período de decaimiento físico	64 días	52 días	28.1 años
Período de decaimiento biológico	1.8 x 10 ⁴ días	1.8 x 10 ⁴ días	1.8 x 10 ⁴ días
Período de decaimiento efectivo	64 días	52 días	6.4 x 10 ³ días
Órgano crítico	Hueso		
ALI	⁸⁵ Sr	Ingestión Inhalación	3.6 E+7 Bq 2.6 E+7 Bq
	⁸⁹ Sr	Ingestión Inhalación	7.7 E+6 Bq 2.7 E+6 Bq
	⁹⁰ Sr	Ingestión Inhalación	7.1 E+5 Bq 1.3 E+5 Bq
Tratamiento	Herida Contaminada: esparcir 1 g de Rodizonato de sodio o potasio, haciendo que el producto penetre en la zona contaminada. Contaminación del aparato digestivo o respiratorio: administrar por vía oral uno de los siguientes productos 10 g de Alginato de sodio o calcio en suspensión acuosa o 55 g de fosfato de aluminio coloidal o 100 g de sulfato de bario en suspensión acuosa. Se puede administrar 10g de sulfato de magnesio, para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo, determinando una reducción en la absorción del Sr. En todos los casos realizar tratamiento sistémico: Dilución isotópica mediante la administración de una solución conteniendo 2-4 ampollas (10%) de gluconato de calcio en 500 ml de solución glucosada al 5%, por vía intravenosa lenta. Administrar por vía oral cloruro de amonio 2 g cada 8 horas.		
Monitoreo personal	Análisis radiotóxicológico de orina y heces		

9. Fósforo (^{32}P)		
Tipo de emisión	β^-	
Período de decaimiento físico	14.3 d	
Período de decaimiento biológico	1155 d	
Período de decaimiento efectivo	14.1 d	
Órgano crítico	Hueso	
ALI	Ingestión	8.3E+6 Bq
	Inhalación	6.3E+6 Bq
Tratamiento	<p>Dilución Isotópica: administrar fosfato de sodio (NEUTROPHOS) vía oral (2 cápsulas conteniendo 0.5 g de fósforo el primer día y luego 0.5 g/día).</p> <p>Hidróxido de aluminio gel (ALUDROX), vía oral, 100 ml/día, distribuidos en 3 tomas.</p>	
Monitoreo personal	Análisis radiotóxicológico de Orina	

10. Gases nobles (Xe, Kn)
El xenón (emisor β^- , γ) y el Kriptón (emisor β) son gases inertes que no reaccionan con el material biológico, muy poco hidrosolubles y ligeramente liposoluble, por lo que no pueden derivar en una contaminación relevante. El riesgo real es el de la irradiación por exposición a una mezcla que los contenga.

11. Hierro (Fe)		^{55}Fe	^{59}Fe
Tipo de emisión	e^- , x		β , γ
Período de decaimiento físico	2.6 a		45 d
Período de decaimiento biológico	600 días (bazo)		600 días (bazo)
Período de decaimiento efectivo	388 días (bazo)		41.9 días (bazo)
Órgano crítico	Bazo, hígado, médula ósea		
ALI	^{55}Fe	Ingestión	6.1 E+7 Bq
		Inhalación	2.2 E+7 Bq
	^{59}Fe	Ingestión	1.1 E+7 Bq
		Inhalación	5.7 E+6 Bq
Tratamiento	<p>Quelación:</p> <p>En todos los casos: administrar por vía intramuscular 1 g (2 ampollas) de desferoxamina el primer día y 0.5 g/día los días sucesivos. Puede administrarse por vía IV lenta en 250 cc de solución glucosada o fisiológica (Cl Na 0.9%).</p> <p>Tratamiento Alternativo: DTPA en infusión lenta (hasta 1 g/día) en 250 cc de solución glucosada al 5% o fisiológica.</p> <p>Contaminación Respiratoria: inhalación de un aerosol de DTPA, 1 ampolla en un inhalador convencional o 1 cápsula de DTPA micronizado en un turboinhalador.</p> <p>Herida contaminada: lavar la herida con una solución de desferoxamina al 10% o solución concentrada de DTPA al 25%.</p>		
Monitoreo personal	Medición directa (^{59}Fe). Análisis radiotóxicológico de orina		

12. Indio (^{113m}In)		
Tipo de emisión	e ⁻ , x, γ	
Período de decaimiento físico	99.4 minutos	
Período de decaimiento biológico	60 días (riñón)	
Período de decaimiento efectivo	1.61 horas (riñón)	
Órgano crítico	Riñón, tracto gastrointestinal	
ALI	Ingestión Inhalación	7.1 E+8 Bq 6.3 E+8 Bq
Tratamiento	No se requiere acción terapéutica debido al corto período de decaimiento efectivo (^{113m} In). En caso de contaminación con ^{114m} In, debido a su larga vida media (t½ físico 49 días) está indicado el tratamiento quelante con una solución DTPA en infusión lenta (hasta 1 g/día) en 250 cc de solución glucosada al 5% o fisiológica.	
Monitoreo personal	Análisis radiotóxico de orina	

13. Yodo (I)	¹²³ I	¹²⁵ I	¹³¹ I
Tipo de emisión	e ⁻ , x, γ	e ⁻ X	β ⁻ , γ
Período de decaimiento físico	13.3 horas	60.2 días	8.05 días
Período de decaimiento biológico (*)	0.35 días/ 138 días	0.35 días/ 138 días	0.35 días/ 138 días
Período de decaimiento efectivo	0.54 días	41.8 días	7.6 días
Órgano crítico	Tiroides		
ALI	¹²³ I	Ingestión Inhalación	9.5 E+7 Bq 1.8 E+8 Bq
	¹²⁵ I	Ingestión Inhalación	1.3 E+6 Bq 2.7 E+6 Bq
	¹³¹ I	Ingestión Inhalación	9.1 E+5 Bq 1.8 E+6 Bq
Tratamiento	Dilución isotópica. Inicial: administrar por vía oral 1 a 2 comprimidos x 130 mg de yoduro de potasio, sodio o magnesio (100 mg de yodo activo). Días posteriores: 1 comprimido por día.		
Monitoreo personal	Medición directa Análisis radiotóxico de orina		

(*): Dependiente del estado de la función tiroidea.

14. Itrio (⁹⁰Y)		
Tipo de emisión	β ⁻	
Período de decaimiento físico	64 horas	
Período de decaimiento biológico		
Período de decaimiento efectivo		
Órgano crítico	Tracto gastrointestinal	
ALI	Ingestión Inhalación	7.4 E+6 Bq 1.2 E+7 Bq
Tratamiento	Administrar por vía oral 10g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo, determinando una reducción del tiempo de permanencia. DTPA-Ca IV lento 0.5 g en 250 ml de solución fisiológica o glucosada.	
Monitoreo personal	Análisis radiotóxico de orina y Heces	

15. Lantánidos (tierras raras: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)	¹⁴⁰ La	¹⁴⁴ Ce	Hijos ¹⁴⁴ Pm
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo	β^- , γ 40.2 horas ----- -----	β^- , γ 285 días 1500 días 243 días	β^- , γ 17.3 minutos -----
Órgano crítico	G.I.	Hueso	
	¹⁴⁷ Pm	¹⁶⁹ Yb	¹⁷⁷ Lu
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo	β^- , γ 2.62 a 1500 días 570 días	α , γ 31.8 días 1000 días 29.8 días	β^- , γ 6.74 días ----- -----
Órgano crítico	Hueso	Hueso	G.I.
Tratamiento	<p>En todos los casos: Inyectar 0.5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta.</p> <p>a. Herida contaminada: Lavar la herida con solución concentrada de DTPA-Ca (25% = 1 ampolla de 1 g).</p> <p>b. Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con aerosol de DTPA-Ca (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler).</p> <p>c. Contaminación digestiva: débil absorción por esta vía. Eventualmente se puede administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.</p>		
Monitoreo personal	Medición directa. Análisis radiotóxico de orina		

16. Manganeso (⁵⁴Mn)		
Tipo de emisión	x	γ
Período de decaimiento físico	314 días	314 días
Período de decaimiento biológico	125 días (pulmón)	25 días (hígado)
Período de decaimiento efectivo	88.5 días (pulmón)	23 días (hígado)
Órgano crítico	Pulmón e hígado	
ALI	Ingestión	2.8 E+7 Bq
	Inhalación	1.3 E+7 Bq
Tratamiento	<p>a. Mn en forma catiónica: quelación. Inyección IV lenta de 0.5 g de DTPA-Ca (media ampolla) en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. Tratamiento alternativo: 1 g de Desferoxamina IM (2 ampollas de Desferal). Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca (1 ampolla) o solución concentrada de Desferoxamina (1 ampolla) y hacer el tratamiento sistémico correspondiente. Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con un aerosol de DTPACa (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler). Inyectar 0.5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta</p> <p>b. Tratamiento Mn en compuestos aniónicos (ejemplo: permanganato) no hay tratamiento eficaz.</p>	
Monitoreo personal	Medición directa. Análisis radiotóxico de orina	

17. Mercurio (Hg)		¹⁹⁷ Hg	²⁰³ Hg
Tipo de emisión		e ⁻ , x, γ	β ⁻ , γ
Período de decaimiento físico		65 horas	46.6 días
Período de decaimiento biológico		14 días	14 días
Período de decaimiento efectivo		2.3 días	11 días
Órgano crítico		Riñón	Riñón
ALI	¹⁹⁷ Hg	Ingestión	8.7 E+7 Bq
		Inhalación	6.9 E+7 Bq
	²⁰³ Hg	Ingestión	1.1 E+7 Bq
		Inhalación	8.7 E+6 Bq
Tratamiento inicial	<p>Quelación Dimercaptopropansulfonato (DMPS, Dimaval) vía oral, 3 cápsulas de 100 mg cada 3 a 6 horas. Alternativa: 3 mg/kg dimercaprol (BAL 1 ampolla de 200 mg) intramuscular cada 4 horas.</p>		
Monitoreo personal	Medición directa. Análisis radiotóxico de orina		

18. Oro (¹⁹⁸Au)		
Tipo de emisión	β^- , γ	
Período de decaimiento físico	2.7 días	
Período de decaimiento biológico	1.5 días (riñón)	
Período de decaimiento efectivo	1 días (riñón)	
Órgano crítico	Riñón. Tracto gastrointestinal	
ALI	Ingestión	2.0 E+7 Bq
	Inhalación	1.8 E+7 Bq
Tratamiento	Quelación Penicilamina: vía oral, 1-3 cápsulas de 250 mg cada 8 h. Tratamiento alternativo: BAL, 3 mg/kg peso de dimercaprol (BAL: 1 ampolla de 200 mg) por vía intramuscular cada 4 horas.	
Monitoreo personal	Medición directa. Análisis radiotóxico de orina	

19. Plomo (²¹⁰Pb)		
Tipo de emisión	β^- , γ	
Período de decaimiento físico	21.4 a	
Período de decaimiento biológico	1.5 años (riñón) 10 años (hueso)	
Período de decaimiento efectivo	1.2 años (riñón) 6.8 años (hueso)	
Órgano crítico	Riñón y hueso	
ALI	Ingestión	2.9 E+4 Bq
	Inhalación	1.8 E+4 Bq
Tratamiento	Quelación Dimercaptopropansulfonato vía oral (DMPS, Dimaval) 3 cápsulas de 100 mg cada 3 a 6 horas. Alternativa: 3 mg/kg dimercaprol (BAL 1 ampolla de 200 mg) intramuscular cada 4 horas o inyección IV lenta de 0.5 g de DTPA-Ca (media ampolla) en 250 ml de solución fisiológica o glucosada.	
Monitoreo personal	Análisis radiotóxico de orina y heces	

20. Plutonio (Pu)		^{238}Pu	^{239}Pu
Tipo de emisión		α, x	α, x
Período de decaimiento físico		86 años	24 360 años
Período de decaimiento biológico		100 años	100 años
Período de decaimiento efectivo		46.2 años	100 años
Órgano crítico		Hueso	
ALI	^{238}Pu	Ingestión Inhalación	8.7 E+4 Bq 4.7 E+2 Bq
	^{239}Pu	Ingestión Inhalación	8.0 E+4 Bq 4.3 E+2 Bq
Tratamiento		<p>Quelación</p> <p>En todos los casos: administrar por vía IV lenta 0.5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) diluido en 250 ml de solución fisiológica o glucosada.</p> <p>a. Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPACa (1 ampolla).</p> <p>b. Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler).</p> <p>c. Contaminación digestiva: débil absorción por esta vía. Administrar por vía oral 10g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.</p>	
Monitoreo personal		Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina y heces	

21. Polonio (^{210}Po)		
Tipo de emisión		α
Período de decaimiento físico		138.4 días
Período de decaimiento biológico		40 días (riñón) 125 días (pulmón)
Período de decaimiento efectivo		31.7 días (riñón) 65.7 días (pulmón)
Órgano crítico		Riñón y pulmón
ALI	Ingestión	8.3 E+4 Bq
	Inhalación	6.7 E+3 Bq
Tratamiento		<p>Quelación</p> <p>Administrar DMPS (Dimaval) por vía oral 3 cápsulas x 100 mg cada 3 a 5 horas (los días subsiguientes continuar con 1 cada 8 a 12 horas).</p> <p>Tratamiento alternativo: BAL vía IM 3 mg/kg cada 4 horas durante los primeros 2 días. El tercer día bajar la dosis a la mitad. No prolongar el tratamiento más de 3 días. Efectuar prueba de sensibilidad al producto previo al inicio del tratamiento.</p> <p>En casos de contaminación por vía digestiva se puede administrar un adsorbente (hidróxido de aluminio, Aludrox® suspensión) 100 ml por vía oral (6 g de hidróxido de aluminio). Administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.</p>
Monitoreo personal		Análisis radiotoxicológico de excretas

22. Potasio (^{42}K)	
Tipo de emisión Período de decaimiento físico Período de decaimiento biológico Período de decaimiento efectivo	β^- , γ 12.4 h
Órgano crítico	Estómago
ALI	Ingestión 4.7E+7 Bq Inhalación 1.0E+8 Bq
Tratamiento	<p>Dilución isotópica: 4 g diarios de potasio estable por vía oral como bicarbonato de potasio, no más de 3 días. El potasio es absorbido rápidamente, y casi completamente en intestino y es excretado por vía renal.</p> <p>Administrar un adsorbente (hidróxido de aluminio, Aludrox® suspensión) 100 ml por vía oral (6 g de hidróxido de aluminio).</p> <p>Administrar por vía oral 1 a 2 comprimidos de furosemida (Lasix®) inicialmente, seguido de 1 comprimido a las 6 horas.</p>
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina

23. Productores de fisión (^{137}Cs , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{144}Ce , I)	
Tratamiento	<p>Contaminación de piel sana: 130 mg de yoduro de potasio vía oral. Lavar con solución diluída de DTPA cálcico.</p> <p>Herida contaminada: 130 mg de yoduro de potasio por vía oral. Administrar por vía IV lenta 0.5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) diluido en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. Lavar la herida con solución concentrada de DTPA-Ca. Espolvorear sobre la herida 1 g de Rodizonato de potasio. Administrar 1g de Azul de Prusia, vía oral, 3 veces al día.</p> <p>Contaminación del aparato respiratorio: 130 mg de yoduro de potasio por vía oral. Nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler). Inyectar 0.5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta. Administrar por vía oral ferrocianuro férrico (Azul de Prusia) 1 g por vía oral, 3 veces al día.</p> <p>Administrar por vía oral alginato de sodio 10 g/día en una toma única o distribuidos en dos tomas el primer día. Días subsiguientes: 4 g/día. Administrar por vía oral 10g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.</p> <p>Contaminación del aparato digestivo: 130 mg de yoduro de potasio por vía oral. Inyectar 0.5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta. Administrar por vía oral ferrocianuro férrico (Azul de Prusia) 1 g, vía oral, 3 veces al día. Administrar por vía oral alginato de sodio 10 g/día en una toma única o distribuidos en dos tomas el primer día. Días subsiguientes: 4 g/día. Administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.</p>
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotoxicológico de excretas

24. Radio (²²⁶Ra)	
Elemento alcalino térreo emisor α - γ cuyo metabolismo es similar al del calcio, por lo tanto el órgano crítico es el hueso. El tratamiento y monitoreo individual es similar al de la contaminación con estroncio.	
Tratamiento	Contaminación del aparato digestivo o respiratorio: Beber un vaso con agua conteniendo 10 g de alginato de sodio o calcio. Se puede administrar 10 g de sulfato de magnesio, para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo, determinando una reducción en la absorción del radio. En todos los casos realizar tratamiento sistémico: Dilución Isotópica administrando una solución conteniendo 2-4 ampollas (10%) de gluconato de calcio en 500 ml de solución glucosada al 5% por vía intravenosa lenta. Administrar por vía oral cloruro de amonio 2 g cada 8 horas.
Monitoreo personal	Análisis radiotoxicológico de orina y Heces.

25. Selenio (⁷⁵Se)		
Tipo de emisión	e ⁻ , γ	
Período de decaimiento físico	120 d	
Período de decaimiento biológico	125 días (pulmón)	11 días (riñón)
Período de decaimiento efectivo	61 días (pulmón)	10 días (riñón)
Órgano crítico	Pulmón y riñón	
ALI	Ingestión	7.7 E+6 Bq
	Inhalación	1.2 E+7 Bq
Tratamiento	No hay una terapia específica pero una dieta conteniendo 2% de sulfato de sodio incrementa la excreción de selenio tres veces.	
Monitoreo individual	Análisis radiotoxicológico de orina	

26. Sodio (Na)		²² Na	²⁴ Na
Tipo de emisión		β^+ , γ	β^- , γ
Período de decaimiento físico		2,6 años	15 horas
Período de decaimiento biológico		11 días	11 días
Período de decaimiento efectivo		11 días	0.6 días
Órgano crítico		Todo el cuerpo	Gastrointestinal
ALI	²² Na	Ingestión	6.3 E+6 Bq
		Inhalación	1.0 E+7 Bq
	²⁴ Na	Ingestión	4.7 E+7 Bq
		Inhalación	3.8 E+7 Bq
Tratamiento	Dilución isotópica , aporte adicional de cloruro de sodio en la dieta. Facilitar la diuresis mediante la administración oral de furosemida (Lasix®) 1 a 2 comprimidos de 40 mg seguidos de 1 comprimido más a las 6 horas o clortalidona (Hygroton®) 1 comprimido de 100 mg. Alternativa para vía parenteral: furosemida 1 ampolla IV inicial.		
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina		

27. Tecnecio (^{99m}Tc)			
Tipo de emisión	e ⁻ , γ		
Período de decaimiento físico	6 horas		
Período de decaimiento biológico	1.6 días	3.7 días	22días (*)
Período de decaimiento efectivo			
Órgano crítico	Tiroides y gastrointestinal		
ALI	Ingestión	9.1 E+8 Bq	
	Inhalación	6.9 E+8 Bq	
Tratamiento	No requiere terapéutica considerando el corto período de decaimiento físico		
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotoxicológico de orina		

(*): Dependiente del estado de la función tiroidea

28. Transplutonidos (²⁴¹Am, ²⁴⁹Bk, ²⁴²Cm, ²⁴⁴Cm, ²⁵²Cf, ²⁵³Es)			
a) Americio (²⁴¹Am)			
Tipo de emisión	α, γ		
Período de decaimiento físico	457.7 años		
Período de decaimiento biológico	100 años		
Período de decaimiento efectivo	83.9 años		
Órgano crítico	Hueso		
ALI	Ingestión	1.0 E+5 Bq	
	Inhalación	5.1 E+2 Bq	
b) Berkelio (²⁴⁹Bk)			
Tipo de emisión	β ⁻ , γ		
Período de decaimiento físico	314 días		
Período de decaimiento biológico	100 años		
Período de decaimiento efectivo	311 días		
Órgano crítico	Hueso		
ALI	²⁴⁴ Cm	Ingestión	1.7 E+5 Bq
		Inhalación	8.0 E+2 Bq
c) Curio (²⁴²Cm, ²⁴⁴Cm)			
	²⁴² Cm	²⁴⁴ Cm	
Tipo de emisión	α, x	α	
Período de decaimiento físico	162.5 días	17.6 años	
Período de decaimiento biológico	100 años	100 años	
Período de decaimiento efectivo	161.8 días	15 años	
Órgano crítico	Hueso		
ALI	²⁴⁴ Cm	Ingestión	1.7 E+5 Bq
		Inhalación	8.0 E+2 Bq
d) Californio (²⁵²Cf)			
Tipo de emisión	α		
Período de decaimiento físico	2.6 años		
Período de decaimiento biológico	100 años		
Período de decaimiento efectivo	2.5 años		
Órgano crítico	Hueso		
ALI	Ingestión	2.2 E+5 Bq	
		Inhalación	1.1 E+3 Bq
e) Einstenio (²⁵³Es)			
Tipo de emisión	α		
Período de decaimiento físico	20.4 días		
Período de decaimiento biológico	100 años		
Período de decaimiento efectivo	20.4 días		
Órgano crítico	Hueso		
Tratamiento de la contaminación con transplutónidos:	<p>Quelación Administrar por vía IV lenta 0.5 g de DTPA-Ca (½ ampolla) diluido en 250 ml de solución fisiológica o glucosada. De acuerdo a la puerta de entrada completar con: Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca (1 ampolla). Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con un aerosol de DTPA-Ca (1 ampolla) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador (Spinhaler). Contaminación digestiva: Administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo.</p>		
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotóxico de excretas		

29. Tritio (³H)		
Tipo de emisión	β^-	
Período de decaimiento físico	12.3 años	
Período de decaimiento biológico	10 días	
Período de decaimiento efectivo	10 días	
Órgano crítico	Cuerpo entero	
ALI	Ingestión	4.8E+8 Bq
	Inhalación	1.1E+9 Bq
Tratamiento	Hiperhidratación (4 litros/día), promover la diuresis mediante administración de clortalidona (Hygroton®) 1 comprimido de 100 mg o furosemida (Lasix®) 1 a 2 comprimidos de 40 mg seguidos de 1 comprimido más a las 6 horas.	
Monitoreo individual	Análisis radiotóxico de orina	

30. Uranio (U)		²³⁵ U	²³⁸ U
Tipo de emisión	α, γ		e^-, γ, x
Período de decaimiento físico	7.1 x 10 ⁸ años		4.49 x 10 ⁹ años
Período de decaimiento biológico	15 días		15 días
Período de decaimiento efectivo	15 días		15 días
Órgano crítico	Riñón		
ALI	²³⁵ U	Ingestión	4.3 E+5 Bq
		Inhalación	2.6 E+3 Bq
	²³⁸ U	Ingestión	4.5 E+5 Bq
		Inhalación	2.7 E+3 Bq
Tratamiento	Cualquiera sea la vía de contaminación: Administrar por vía IV 250 ml de una solución de bicarbonato de sodio al 1.4% en forma lenta. Contaminación de piel y heridas: lavar con solución bicarbonatada al 1.4%.		
Monitoreo individual	Medición directa. Análisis radiotóxico de orina		

31. Zinc (⁶⁵Zn)		
Tipo de emisión	e^-, β^-, x, γ	
Período de decaimiento físico	245 días	
Período de decaimiento biológico	933 días (todo el cuerpo)	120 días (pulmón)
	195 días (todo el cuerpo)	80.5 días (pulmón)
Período de decaimiento efectivo		
Órgano crítico	Cuerpo entero y pulmón	
ALI	Ingestión	5.1 E+6 Bq
	Inhalación	6.9 E+6 Bq
Tratamiento	Quelación Administrar por vía IV lenta DTPA-Zn 1 ampolla en 250 ml de solución fisiológica o glucosada.	
Monitoreo individual	Medición directa	

Anexo II.

Fármacos Utilizados para el Tratamiento de la Contaminación con Distintos Radionúclidos

Los fármacos empleados son:

1. ALGINATO (Gaviscon)
2. ACETAZOLAMIDA (Diamox)
3. AZUL DE PRUSIA (Ferrocianuro férrico)
4. BICARBONATO DE POTASIO
5. BICARBONATO DE SODIO
6. CLORTALIDONA
7. CLORURO DE AMONIO
8. DESFEROXAMINA B (Desferal)
9. DIMERCAPROL (BAL)
10. DMPS (Dimaval)
11. DTPA (Ácido dietiltriaminopentacético)
12. EDTA (etilendiaminotetracético)
13. FOSFATO DE ALUMINIO
14. FUROSEMIDA
15. GLUCONATO DE CALCIO
16. GLUCONATO DE COBALTO
17. HIDROXIDO DE ALUMINIO (Aludrox)
18. YODURO DE POTASIO
19. LACTATO DE ESTRONCIO
20. PENICILAMINA (Cuprimine)
21. RODIZONATO DE POTASIO
22. SULFATO DE BARIO
23. SULFATO DE MAGNESIO
24. SULFATO DE SODIO
25. TIOSULFATO DE SODIO (Hiposulfito de sodio)
26. FÁRMACOS DE ETAPA EXPERIMENTAL

1. ALGINATO

Se trata habitualmente de alginato de sodio o calcio. Es un producto utilizado para el tratamiento del reflujo gastroesofágico, que tiene la propiedad de formar un gel de alta viscosidad. Estas sustancias inhiben la absorción intestinal de metales alcalinotérreos, estroncio, calcio, bario, radio.

Comercialización: el alginato se comercializa bajo el nombre comercial de **GAVISCON®** en distintas formas:

Polvos granulados (sobres de 1 g)

Tabletas masticables (0.5 g)

Suspensión bebible (0.05 g/ml)

Tratamiento: consiste en la administración de 10 g/día de alginato por vía oral en una toma única o distribuida en dos tomas el primer día. Puede continuarse el tratamiento, de acuerdo a la importancia de la contaminación, a razón de 4 g/día distribuidos en 4 tomas. Las tomas deben producirse preferentemente en ayunas y se recomienda no ingerir alimentos posteriormente en forma inmediata.

Contraindicaciones: No presenta contraindicaciones. No obstante puede presentar inconvenientes asociados al aporte de sodio, particularmente en pacientes sometidos a dietas hiposódicas. Asimismo, en diabéticos se deberá considerar el aporte de azúcar (700 mg por tableta). Excepcionalmente puede inducir constipación.

2. ACETAZOLAMIDA (Diamox)

Se trata de un diurético inhibidor de la anhidrasa carbónica utilizado particularmente en el tratamiento del glaucoma y en la profilaxis del mal de altura. En el caso de una contaminación interna con uranio podría estar indicado con el objeto de disminuir la reabsorción de uranio a nivel de los túbulos renales.

Comercialización: Se comercializa en nuestro país bajo el nombre de **DIAMOX®** en comprimidos de 250 mg.

Tratamiento: La posología habitual es de 1 comprimido 3 a 4 veces por día. Si se dispusiera de formas inyectables puede administrarse por vía I.V. o I.M. una ampolla.

3. AZUL DE PRUSIA (Ferrocianuro férrico)

El Azul de Prusia no atraviesa la barrera intestinal. Está indicado en todas las formas de contaminación con cesio radiactivo, rubidio y talio.

Previene la absorción inicial en la contaminación del tracto digestivo y rompe el ciclo secreción-reabsorción del cesio que ocurre en todas las formas de contaminación. Actúa como intercambiador de iones frente a ciertos cationes monovalentes. Es más eficaz en su forma coloidal soluble.

Comercialización: el Azul de Prusia se comercializa en Alemania como: **RADIOGARDASE HEYL®**

Tratamiento: La vía de administración es oral con una posología recomendada de 3-4 g de Azul de Prusia, en 3 dosis divididas durante el día.

Este tratamiento puede ser continuado en los días sucesivos, de acuerdo a la severidad de la contaminación. La experiencia más importante con este producto fue la realizada durante el tratamiento de las víctimas del accidente ocurrido en Goiania, Brasil. En esa ocasión se alcanzaron dosis muy superiores sin observar efectos adversos severos, excepto constipación. No presenta contraindicaciones.

4. BICARBONATO DE POTASIO

Se utiliza para el tratamiento de la contaminación con potasio radiactivo. El tratamiento consiste en la dilución isotópica. El potasio es absorbido rápidamente y casi completamente en intestino y es excretado por vía renal.

Posología: 4 g diarios de potasio estable por vía oral como bicarbonato de potasio, no más de 3 días.

5. BICARBONATO DE SODIO

Se trata de una solución acuosa isotónica de 14 g/l (1.4%) de bicarbonato de sodio.

El uso principal del bicarbonato de sodio es el tratamiento de la contaminación con uranio. En los fluidos corporales, el uranio se encuentra en forma de ión uranilo UO_2^{++} .

La alcalinización por bicarbonato de sodio genera la formación de un complejo aniónico, probablemente $UO_2(CO_3)_3$ el cual es rápidamente eliminado por orina.

Comercialización: El bicarbonato de sodio isotónico se comercializa por varios laboratorios. Se presenta en frascos de 150, 500 y 1000 ml y en ampollas de 10 y 20 ml.

Administración sistémica: 250 ml de solución isotónica (1.4%) por infusión intravenosa lenta.

Lavados cutáneos: en contaminación de piel intacta o heridas con uranio, realizar lavados con solución de bicarbonato de sodio al 1.4%. El tratamiento se continuará los días subsiguientes según la importancia de la contaminación. La posología debe ser adaptada en función de los siguientes elementos de apreciación:

Precauciones: se deberá controlar el pH sanguíneo y la concentración de electrolitos. La administración de bicarbonato de sodio puede producir hipokalemia o agravar una hipokalemia ya existente. Esto puede prevenirse mediante la administración de un suplemento de potasio. Se deberán controlar posibles asociaciones medicamentosas: existen numerosas incompatibilidades relacionadas con la alcalinidad de la solución.

Contraindicaciones:

- Alcalosis
- Acidosis respiratoria
- Pacientes con retención de sodio

Riesgo de sobredosis de bicarbonato de sodio: alcalosis metabólica con depresión respiratoria, hipokalemia, edema agudo de pulmón, e insuficiencia cardíaca.

6. CLORTALIDONA

Es una sal diurética que favorece la eliminación urinaria de sodio, tritio y otros radionúclidos.

Comercialización: bajo el nombre de **HYGROTON®** en comprimidos de 50 y 100 mg.

Tratamiento: La dosis habitual es de 100 mg en una toma única el primer día, seguido de 50 mg/día (o 100 mg día por medio) los días subsiguientes, dependiendo de la importancia de la contaminación.

Contraindicaciones: Está contraindicado su uso en pacientes con insuficiencia renal grave, encefalopatía hepática, hipersensibilidad a las sulfamidas, lactancia (pasa a la leche materna). Se deberá controlar el equilibrio hidroelectrolítico (particularmente medir periódicamente natremia y kalemia). En diabéticos, controlar estrictamente la glucemia. Se recomienda disminuir las dosis en pacientes con antecedentes de gota (no administrar durante las crisis). No recomendado en pacientes bajo tratamiento con litio, antihipertensivos, antidiabéticos, digitálicos o corticoesteroides.

La sobredosis de clortalidona puede producir hiponatremia, hipokalemia, pancreatitis aguda y neutropenia.

Efectos colaterales: Se han descrito efectos colaterales luego de la administración prolongada y a altas dosis.

7. CLORURO DE AMONIO

Libera iones hidrógeno y cloruro, lo que acidifica el medio y favorece así la forma ionizada de los iones alcalino-térreos. Esto resulta en una excreción urinaria aumentada de estos radioelementos.

Comercialización: Se comercializa bajo la forma de grageas de 0.5 g.

Tratamiento: Se recomienda una dosis de 6 g (12 grageas) por vía oral en 3 tomas repartidas en el día (4 grageas por toma), si es posible durante las comidas. El tratamiento se continuará los días subsiguientes según la importancia de la contaminación, a razón de 3 a 6 g por día.

Contraindicaciones: El tratamiento está contraindicado en todos los estados de acidosis, litiasis de uratos, insuficiencia hepática grave con hiperamonemia, nefritis urémicas y acidosis renal hiperclorémica. La sobredosis con cloruro de amonio produce acidosis metabólica que puede ser tratada con perfusiones IV de soluciones alcalinizantes (bicarbonato de sodio) bajo control constante de la kalemia.

8. DESFEROXAMINA B (Desferal)

Se presenta como metan-sulfonato de desferoxamina B. Su mecanismo de acción es la quelación seguida de la eliminación del complejo radionúclido-desferoxamina en la orina. Está indicada en el tratamiento de la contaminación con manganeso, hierro y cromo.

Comercialización: Se comercializa bajo el nombre de **DEFERAL**[®] en frascos de 500 mg liofilizados acompañados de una ampolla de 5 ml de agua estéril para inyección IM o SC o infusión IV lenta.

Tratamiento: La posología recomendada es de 1 g/día (2 ampollas) el primer día seguido de 500 mg los días subsiguientes según la importancia de la contaminación. La forma de administración puede ser:

- a. En perfusión IV muy lenta, diluido en 250 ml de una solución isotónica de NaCl al 0.9%.
- b. En perfusión IV muy lenta, diluido en 250 ml de una solución isotónica de glucosa al 5%.
- c. Inyección IM (en una o dos veces).
- d. Por sonda nasogástrica, hasta 8 g (16 ampollas).

La administración subcutánea es más adecuada para tratamientos prolongados (mediante bomba portátil de infusión continua).

Efectos adversos: taquicardia, hipotensión, pseudo-shock, eritema, urticaria, trastornos digestivos, vértigos, convulsiones, alteraciones visuales y auditivas. La desferoxamina se reveló como teratogénica en modelos de experimentación animal.

9. DIMERCAPROL (BAL)

Se trata de un agente en cuya estructura química presenta grupos sulfhidrilos. Está indicado en el tratamiento de intoxicaciones con metales pesados tales como plomo, polonio, antimonio, bismuto, arsénico, cadmio, cobre, mercurio, oro, etc.

Comercialización: Existe en forma de ampollas de 2 ml conteniendo 200 mg de dimercaprol.

Reacciones adversas: Su efectividad es variable y puede presentar numerosas reacciones adversas por lo que no se recomienda prolongar su administración más allá de tres días. La acción del fármaco tiene lugar en sangre periférica.

Tratamiento: La dosis recomendada es de 3 mg/kg peso vía IM cada 4 horas. Se presenta en ampollas de 2 ml (200 mg). La posología para un adulto medio es 1 ampolla cada 4 horas. El tratamiento debe hacerse bajo estricto control clínico (condiciones hospitalarias). Se deberá testear la sensibilidad individual administrando la primera vez un cuarto de ampolla.

Se ha propuesto el uso alternativo del Dimercaptopropansulfonato (**DMPS**), **DIMAVAL® HEYL** que tendría menos efectos adversos.

10. DMPS (DIMERCAPTOPROPANSULFONATO)

Indicado para el tratamiento de la contaminación interna con mercurio, plomo y polonio. Hay algunas evidencias de su efectividad para el tratamiento de la contaminación con arsénico, cobre, antimonio, cromo y cobalto. Se presenta en forma de sal sódica (dimercaptopropansulfonato de sodio, forma monohidratada). Su mecanismo de acción es la quelación.

Comercialización: Existe en forma de cápsulas de 100 mg de DMPS sal sódica (**DIMAVAL®**) cajas x 20 Heyl Lab) y en ampollas de 5 ml conteniendo 250 mg de DMPS sal sódica (**DMPS®** cajas x 5 ampollas Heyl Lab).

Posología: dependerá de la severidad de la contaminación. Se recomiendan 3 cápsulas cada 3 a 6 horas el primer día. Los días subsiguientes cada 8 a 12 horas. Sólo si no fuera posible la administración oral se indicará tratamiento parenteral:

Primer día: 250 mg (1 ampolla) vía IV lenta cada 3 a 4 horas (1.5 a 2 g/día).

Segundo día: 250 mg de DMPS IV lento cada 4 a 6 horas (1 a 1.5 g/día).

Tercer día: 250 mg de DMPS IV lento o intramuscular cada 6 a 8 horas (0.75 a 1 g/día).

Cuarto día: 250 mg de DMPS IV lento o intramuscular cada 8 a 12 horas (0.5 a 0.75 g/día).

Días subsiguientes: de acuerdo a la condición del paciente 1 a 3 veces 250 mg por vía parenteral o cambiar por la vía oral (Dimaval cápsulas).

La duración del tratamiento se ajustará de acuerdo a las condiciones clínicas y al monitoreo de la excreción urinaria del radionúclido.

Contraindicaciones: hipersensibilidad.

Efectos adversos: ocasionalmente, fiebre, escalofríos, reacciones cutáneas, mareos, vértigos, vómitos, aumento transitorio de las transaminasas, hipotensión arterial. Se vigilará la función renal y el balance mineral en tratamientos prolongados.

11. DTPA (ÁCIDO DIETILTRIAMINOPENTACÉTICO)

El DTPA es usado como sal trisódica de calcio o zinc (DTPA-Ca o DTPA-Zn), es un agente quelante que actúa formando complejos con ciertos radionúclidos.

El DTPA está indicado en la contaminación con plutonio y, en general, para transuránidos, lantánidos y conveniente para manganeso, hierro, plomo, cobalto, zirconio, rutenio, itrio, indio y cromo. Excepcionalmente puede quelar mercurio en su forma química de valencia 2 (Hg^{2+}).

El DTPA-Zn está indicado en el tratamiento de la contaminación con zinc.

Comercialización: El DTPA existe en algunos países con diferentes presentaciones:

- Solución concentrada estéril al 20-25% (0.20 – 0.25 g de DTPA por ml) en ampollas de 2 ml y de 4 ml.
- Cápsulas de DTPA micronizado para aerosol (50-100 mg por cápsula).
- Solución ácida al 1% (pH 4) (1g de DTPA-Ca por 100 ml de solución, en frascos de 500 ml).

Tratamiento: DTPA, vías de administración y dosis usual.

Vías de administración:

- Sistémica
- Respiratoria
- Oral
- Infiltración local
- Lavados cutáneos

Administración sistémica: la dosis usual de 0.5 g de DTPA (para una persona de aproximadamente 70 kg de peso) puede ser administrada como inyección intravenosa lenta o diluida en 250 ml de solución isotónica de cloruro de sodio al 0.9% o solución glucosada al 5%, por infusión intravenosa.

En caso de accidentes severos, la dosis puede ser duplicada en la primera administración después de ocurrido. El **DTPA-Ca (DITRIPENTAT®-HEYL)** es más eficaz al comienzo del tratamiento. Si el tratamiento debe ser continuado más allá de la primera semana, dependiendo de la severidad del accidente, sería aconsejable continuar con **DTPA-Zn (ZINK-TRINATRIUMPENTETAT®)**, pues es potencialmente menos tóxico.

La dosis no debe exceder de 0.5 g/día para los tratamientos prolongados, y en los casos que sea necesario, la dosis de DTPA-Zn debe ser reducida en este tipo de tratamientos.

Administración respiratoria: se puede utilizar inhalación durante 30 minutos de un aerosol de DTPA (1 ampolla de DTPA en 4 ml de solución fisiológica) o 1 cápsula de polvo micronizado para ser utilizadas en un turboinhalador tipo **SPINHALER**.

Esta terapia puede ser repetida por varios días.

Administración oral: en caso de pacientes que deben ser tratados por largos períodos de tiempo, es posible el uso de cápsulas de DTPA-Zn micronizado, a razón de 1g/día. Por períodos cortos de tiempo se pueden administrar hasta 5 g/día.

Lavados cutáneos:

- Lavados de piel intacta con solución ácida (pH 4-5) de DTPA-Ca al 1-2%.
- Heridas, con solución estéril de DTPA-Ca al 20-25%.
- Superficies mucosas con solución de DTPA-Ca al 1-2%.

DTPA: toxicidad y contraindicaciones

El DTPA-Ca está contraindicado en:

- Enfermedades
 - Renales
 - Intestinales
 - Hemopoyéticas
- Embarazo

El DTPA no debe ser usado en casos de contaminación masiva con uranio, debido al riesgo de producir una nefritis aguda por precipitación del uranio en el riñón. Durante la infusión con solución de DTPA, se debe controlar la tensión arterial. Debido a su potencial daño renal, hepático y gastrointestinal, en pacientes tratados con DTPA, especialmente DTPA-Ca, por períodos prolongados de tiempo, deben ser monitoreadas las funciones renal, hepática y gastrointestinal

12. EDTA (ETILENDIAMINOTETRACÉTICO)

La sal cálcica de ácido etilendiaminotetracético (EDTA-Ca) es el quelante más usado en el hombre, primariamente para el tratamiento del envenenamiento con plomo. Puede ser usado asimismo para quelar plutonio, zinc, cobre, cadmio, cromo, manganeso y níquel. Tiene cierta efectividad como quelante de otros metales y para la dilución isotópica en casos de contaminación con calcio. El DTPA es significativamente más efectivo que el EDTA por lo cual éste último no es considerado un fármaco de primera elección.

13. FOSFATO DE ALUMINIO

Es usado como un adsorbente en el tracto gastrointestinal. Reduce la absorción de alcalinos térreos, tales como radio, bario y estroncio.

Comercialización: El fosfato de aluminio coloidal se comercializa en algunos países, bajo la forma de sobres conteniendo 11 g de fosfato de aluminio (**FOSFALUGEL®**).

Vía de administración: oral.

Dosis: en la emergencia se administran 5 sobres (55 g de fosfato de aluminio) en una sola toma. El tratamiento debe ser continuado en días siguientes con 1-2 sobres, 2-3 veces al día, dependiendo de la severidad de la contaminación.

Precauciones: Se deben tomar precauciones con los diabéticos, ya que cada sobre de fosfato de aluminio contiene 3 g de glucosa.

Efectos colaterales: El efecto colateral más frecuente que se puede presentar es la constipación. Puede haber interacciones medicamentosas que induzcan un retardo o disminución de la absorción de furosemida, tetraciclinas, digoxina, isoniazida, indometacina y anticolinérgicos.

14. FUROSEMIDA

Droga de acción diurética utilizada para el tratamiento de la contaminación con sodio, potasio, cloro y tritio.

Comercialización: la furosemida se comercializa en algunos países como **LASIX®**, bajo la forma de comprimidos conteniendo 40 mg y ampollas de 20 mg.

Vía de administración: oral y parenteral.

Dosis: se recomiendan de 20 a 80 mg/día por vía oral y dosis mínima parenteral de 20 mg/día.

Contraindicaciones: insuficiencia renal con anuria, coma hepático, hipokalemia, hiponatremia, hipovolemia, hipotensión, hipersensibilidad a las sulfonamidas.

Efectos colaterales: trastornos del equilibrio electrolítico (hipokalemia, hiponatremia), aumento de la eliminación del calcio, reacciones alérgicas, alteraciones hematopoyéticas, trastornos auditivos y gastrointestinales.

15. GLUCONATO DE CALCIO

Está indicado en el caso de contaminación por alcalinos térreos (calcio, estroncio, bario, radio). El mecanismo de acción es la dilución isotópica y la competición resultante de la analogía química. El ciclo metabólico de los alcalinos térreos es así acelerado y desviado hacia la excreción.

Comercialización: Se comercializa en forma en ampollas inyectables y bebibles de 5 y 10 ml, a razón de 100 mg de gluconato de calcio por ml de agua (solución al 10%), lo que equivale a 9 mg/ml de calcio.

Tratamiento: Puede administrarse por vía oral, en dosis de 6-10 g por día repartidos en 3 tomas, durante las comidas (6 a 10 ampollas de 10 ml). Por vía IV se deben infundir en forma lenta de 1 a 5 g (1 a 5 ampollas de 10 ml) diluidos en 500 ml de una solución glucosada al 5%. El tratamiento se continúa los días subsiguientes según la importancia de la contaminación.

Contraindicaciones: Está contraindicado en la hipercalcemia, hipercalciuria, litiasis cálcica, nefrocalcinosis. No administrar a pacientes digitalizados pues podría potenciar la toxicidad de la droga (en casos excepcionales hacerlo bajo estricta vigilancia). Vigilar la calcemia y calciuria en casos de administración prolongada. Pueden observarse síntomas y signos debidos a sobredosis tales como sed, poliuria, polidipsia, náuseas, vómitos, deshidratación, hipertensión arterial, trastornos vasomotores, constipación.

16. GLUCONATO DE COBALTO

Actúa por el mecanismo de dilución isotópica que acelera el ciclo metabólico del cobalto aumentando de este modo su excreción.

Comercialización: Existe en algunos países bajo la forma de ampollas de 2 ml conteniendo 450 µg (0.45 mg) de gluconato de cobalto que corresponden a 59 µg de cobalto (**COBALT OLIGOSOL**).

Tratamiento: Se administran 900 µg de gluconato de cobalto (dos ampollas), por vía IM o sublingual. El tratamiento puede continuar los días siguientes, según la importancia de la contaminación, a razón de 1 a 2 ampollas por día. No se ha descrito toxicidad hasta la fecha.

17. HIDROXIDO DE ALUMINIO (Aludrox)

Indicado para el tratamiento de la contaminación con potasio, polonio, mercurio y fósforo.

Comercialización: gel de hidróxido de aluminio (**ALUDROX®**).

Posología: 100 ml/día distribuidos en 3 tomas.

Contraindicaciones: hipofosfatemia, insuficiencia renal.

Efectos adversos: constipación.

18. YODURO DE POTASIO

El yodo estable bloquea en un 98% el ingreso de radioyodos a la glándula tiroidea si se lo administra unos minutos antes de la incorporación. Si la administración es simultánea la eficacia desciende al 90% siendo del orden del 50% cuando el yodo se administra entre 4 y 6 horas post-incorporación.

Mediante un mecanismo de dilución isotópica compite con el radioyodo por el ingreso al compartimiento tiroideo. A su vez una sobrecarga de yodo estable puede saturar parcialmente el mecanismo de transporte interno del yodo y causar el llamado fenómeno de Wolff-Chaikoff, disminuyendo finalmente el nivel circulante de hormona tiroidea.

La eficacia del bloqueo por yodo estable depende de factores intrínsecos de la glándula tiroidea relacionados con su estado funcional y con el aporte alimentario de yodo estable en la dieta. Esta diferencia se refleja en una avidéz distinta por los radioyodos y en la sensibilidad de la glándula al bloqueo con yodo estable.

Reacciones adversas: el bloqueo prolongado de la captación del yodo necesario para la síntesis de la hormona tiroidea puede llevar a la disminución de la actividad metabólica y al eventual aumento compensatorio del tamaño glandular. En términos generales no se observan tales efectos en individuos normales, luego de una administración a dosis adecuadas y por un período no mayor de dos semanas. Una sobrecarga de yodo estable

puede desencadenar reacciones tiroideas autoinmunes en individuos predispuestos o agravar el curso de tiroiditis preexistentes.

Se sabe que existe hipersensibilidad al yodo particularmente por administración endovenosa de medios de contraste iodados con fines diagnósticos. Las reacciones no son tan frecuentes ni tan severas luego de la administración oral. Se estima que el riesgo de efectos adversos debidos a la administración de yodo estable es de 5×10^{-7} .

Contraindicaciones: Hipersensibilidad conocida al yodo, tiroiditis de Hashimoto, enfermedad de Basedow, otras tiroideopatías autoinmunes, vasculitis hipocomplementémica, dermatitis herpetiforme.

Forma farmacéutica: La tableta de yoduro de potasio es la forma más ampliamente usada. No se recomiendan las soluciones por la falta de precisión en las dosis y por las dificultades que presentan para su almacenamiento y distribución. La forma más utilizada son las tabletas de yoduro de potasio de 130 mg conteniendo 100 mg de yodo activo.

Posología: Ante la sospecha de una contaminación con radioyodo, se deben administrar inmediatamente 100 - 300 mg de yoduro de potasio o sodio. La dosis recomendada es 130 mg de yoduro de potasio (100 mg de yodo activo) por vía oral en una toma única. Hay consenso internacional acerca de la conveniencia de adecuar las dosis al grupo etario a fin de minimizar los riesgos de efectos adversos. La Organización Mundial de la Salud propone el siguiente esquema:

GRUPO ETARIO	MASA DE IODO ACTIVO (dosis diaria)
Menos de 1 mes	12,5 mg (*)
1 mes a 3 años	25 mg
3 a 12 años	50 mg
Adolescentes y adultos	100 mg

(*) En la emergencia se le podrían administrar 25 mg como dosis única con seguimiento posterior de la función tiroidea del recién nacido.

Duración del tratamiento: en el caso de una exposición única bastaría una sola dosis. Si se trata de obtener una protección frente a una exposición prolongada se mantendrá la profilaxis con una sola toma diaria durante varios días, manteniendo el esquema de dosis propuesto. No se recomienda prolongar el tratamiento más allá de un día en los recién nacidos y dos días en las mujeres gestantes: de acuerdo al caso particular se evaluará la necesidad de otras contramedidas en estos grupos.

19. LACTATO DE ESTRONCIO

Su mecanismo de acción es la dilución isotópica que acelera el ciclo metabólico del estroncio y de ese modo acelera también su excreción. El lactato de estroncio se administra por vía oral. Existe otra sal, el gluconato de estroncio que se administra por vía parenteral.

La posología recomendada es:

- Lactato de estroncio: 500 a 1500 mg por vía oral por día, repartidos en varias tomas, durante las comidas.
- Gluconato de estroncio: perfusión IV lenta, a razón de 600 mg en 500 ml de una solución isotónica de glucosa al 5%.

El tratamiento puede continuar los días subsiguientes, según la importancia de la contaminación, con igual posología diaria. No se ha descrito toxicidad asociada al tratamiento.

20. PENICILAMINA (Cuprimine)

Indicada para quelar cobre, cobalto, plomo, polonio, oro, hierro, mercurio y otros metales pesados.

Comercialización: se comercializa bajo el nombre de **CUPRIMINE®**, cápsulas de 250 mg.

Posología: 1-3 cápsulas cada 8 horas.

Contraindicaciones: embarazo, lactancia, anemias, enfermedades renales.

Efectos adversos: Reacciones hematológicas, renales, dermatológicas. Epigastralgias, náuseas, vómitos.

21. RODIZONATO DE POTASIO

Se presenta en forma de sal sódica y potásica, ambas eficaces. Es un fármaco de uso externo que se aplica en el caso de heridas contaminadas con estroncio, con el objeto de insolubilizarlo *in situ* a fin de evitar su absorción. Debe ser por lo tanto aplicado en forma inmediata, previo a cualquier manipulación quirúrgica de la herida.

Es un polvo cristalino de color violeta, hidrosoluble (vira su color al naranja al disolverlo en agua), insoluble en alcohol. Las soluciones son inestables aún refrigeradas. Se aplica esparciendo 1 g de rodizonato a nivel de la herida contaminada.

No presenta contraindicaciones.

22. SULFATO DE BARIO

Produce con el estroncio y el radio sulfatos insolubles que disminuyen considerablemente la absorción intestinal de estos radionúclidos. Es un medio de contraste utilizado en exámenes radiodiagnósticos del tubo digestivo, comercializado por varios laboratorios.

Se administra por vía oral una dosis única de 300 mg de sulfato de bario en suspensión acuosa. No presenta toxicidad ni contraindicaciones.

23. SULFATO DE MAGNESIO

Es un laxante salino que acelera el tránsito intestinal y por consecuencia la evacuación de radionúclidos presentes en el tracto digestivo. Está particularmente indicado en la contaminación por radio y estroncio, pues la formación de sulfatos insolubles provoca una disminución neta de su absorción intestinal. Está indicado también para acelerar la eliminación de cobalto, polonio, plutonio y transplutónidos.

Comercialización: bajo la forma de solución concentrada al 25% (0.25 g por ml) ampollas de 5 ml (1.25 g) y de 10 ml (2.5 g).

Posología y vías de administración: Se administra por vía oral, 10 a 15 g por día (4 a 6 ampollas de 10 ml) el primer día. El tratamiento puede continuarse durante algunos días según la importancia de la contaminación y la susceptibilidad individual a la acción laxativa. En ese caso se continuará los días subsiguientes con 5 a 10 g por día (2 a 4 ampollas de 10 ml).

Contraindicaciones: el sulfato de magnesio está contraindicado en insuficiencia renal grave, enfermedades inflamatorias del colon y obstrucción de vías biliares.

24. SULFATO DE SODIO

Está indicado para el tratamiento de la contaminación con selenio. Su administración oral incrementa su excreción.

25. TIOSULFATO DE SODIO (Hiposulfito de sodio)

Produce dilución isotópica en casos de contaminación con azufre.

Se puede administrar por vía oral o por vía parenteral en solución al 10%. Dosis única de 1g.

26. FÁRMACOS DE ETAPA EXPERIMENTAL

Existe un grupo de fármacos análogos de los sideróforos cuya aplicabilidad en el tratamiento de la contaminación interna con radionúclidos está siendo actualmente estudiada.

La 3,4,3, hydroxypiridinona (LIHOPO) ha demostrado su utilidad en la descontaminación de americio, torio, neptunio y plutonio, con una eficacia mayor a la que presenta el DTPA, tanto en administración por vía sistémica como en la administración local en el caso de heridas contaminadas. La eficacia de su administración en forma de aerosol no ha sido aún demostrada. Se encuentran en marcha estudios de toxicidad que deberán completarse antes de evaluar su aplicabilidad en humanos.

Se comenzaron los ensayos preliminares con un nuevo análogo sideróforo (TREN-3,2-HOPO) que sugieren una efectividad similar al anterior. Otros análogos han sido descartados debido a su toxicidad renal (3,4,3,-LICAM).

Anexo III.

Dosis Recomendadas para las Modalidades de Medicamento o Tratamiento

Dosis recomendadas para las modalidades de medicamento o tratamiento	
modalidades de medicamento o tratamiento	Dosis
Acetilcisteína (NAC)	No especifica la edad. IV 300 mg/kg en 5% dextrosa con agua durante 24 hrs para la sobredosis de acetaminofeno
Deferoxamina (DFOA)	No especifica la edad. Inyección de mesilato de deferozamina (DFOA), preferentemente IM. 1 g de IM o IV (2 ampolletas) lentamente (15 mg/kg h). Repetir como se indica 500 mg IM o IV cada 4 hrs por 2 dosis, luego 500 mg de IM o IV cada 12 hrs durante 3 días.
Dimercaprol (BAL)	FDA no especifica la edad. IM 300 mg por vial para uso de IM profunda. 2.5 mg/kg (o menos) cada 4 hrs durante 2 días, luego dos veces al día durante 1 día después al día durante 5 a 10 días.
Dietilentriaminopentaacético (DTPA, calcio o zinc)	Adultos: IV 1g en 5 ml IV en 3 o 4 min o infusión IV durante 30 min diluidas en 250 mL dextrosa en agua salina al 5% Inhalación nebulizada: 1g en dilución 1:1 con agua esteril o solución salina Niños menores de 12 años: alrededor de 14 mg/kg IV no exceder de 1g. IM: 1g puede ser dar con procaina para reducir el dolor (no aprobado por la FDA)
Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)	FDA no especifica la edad. Ca-EDTA (edetato de disódico), 1 mg/m ² d a 500 ml de D ₅ NS infusiones durante 8-12 hrs.
Penicilánima	FDA no especifica la edad. Oral: 250 mg al día entre las comidas y al acostarse. Puede aumentar a 4 o 5 g al día en dosis divididas.

Terapia de fósforo, fosfato de potasio dibásico	Oral: pastillas de 250 mg de fosforo Adultos: 1-2 pastillas orales 4 veces al día con un vaso de agua cada vez, con las comidas y antes de acostarse. Los niños mayores de 4 años: 1 pastilla vía oral 4 veces al día.
Yoduro de potasio (KI)	Oral: pastillas o líquido. La dosis del medicamento varía entre 16 mg y 130 mg al día en función de la edad, nivel de exposición de tiroides, y si la mujer está o no embarazada o en periodo de lactancia.
Propiltiouracilo (PTU)	Oral: pastillas de 50 mg, 2 pastillas 3 veces al día durante 8 días. FDA no especifica la edad.
Azul de Prusia	Oral adultos y adolescentes de 3g tres veces al día Niños 2-12 años: 1g 3 veces al día.
Bicarbonato de sodio (solo para uranio)	Oral o IV
Terapia de radio y estroncio	Hidroxilo de aluminio: PO: 60 -100 ml una vez. Suspensión de cloruro de calcio al 10%. Adultos: IV: 200 mg a 1g de 1-3 al día, lenta IV, no exceder 1ml/min.
Succimer o ácido dimercaptosuccínico (DMSA) (Chemet)	La FDA aprobó dosis pediátrica. Empezando las dosis con 10 mg/kg y 350 mg /m ² vía oral cada 8 hrs durante 5 días. Reducir la frecuencia de administración a 10 mg/kg o 350 mg/m ² cada 12 hrs (dos tercios de la dosis diaria inicial) durante 2 semanas de tratamiento. Un ciclo de tratamiento dura 19 días.
Agua	Oral: líquidos más de 3-4 L/d

Dosis recomendada de yoduro de potasio.

Dosis recomendada de yoduro de potasio.	
Adultos >40 años de edad, con exposición de tiroides ≥ 5 Gy	130 mg/d
Adultos 18-40 años de edad, con exposición de tiroides ≥ 0.1 Gy	130 mg/d
Mujeres embarazadas o en lactancia con exposición de tiroides ≥ 0.05 Gy	130 mg/d
Niños y adolescentes de 3-18 años de edad con exposición de tiroides ≥ 0.05 Gy	65 mg/d
Infantes de 1 mes-3 años de edad con exposición de tiroides ≥ 0.05 Gy	32 mg/d
Los recién nacidos-1 mes con exposición de tiroides ≥ 0.05 Gy	16 mg/d

Anexo IV.

Administración de Yodo Estable en Accidentes Nucleares

INTRODUCCIÓN

Las contramedidas aplicables en la fase temprana de un accidente radiológico han sido objeto de numerosos análisis en función de evaluar su utilidad y precisar las indicaciones precisas para su aplicación. Si bien la Comisión Internacional sobre Protección Radiológica (ICRP) recomienda niveles de intervención, dada la emergencia para evitar los efectos determinísticos la Autoridad Regulatoria argentina ha establecido que una serie de contramedidas, y entre ellas el bloqueo de la glándula tiroidea, no se efectivice en base a niveles de intervención sino en base a estados de planta y datos meteorológicos. Por tal motivo la distribución de los comprimidos de yoduro de potasio se realizará cuando se tenga la certeza o presunción fundada de inminente emisión masiva de productos de fisión al ambiente.

El accidente ocurrido en 1986 en la Unidad 4 de la central nuclear de Chernobyl con la consecuente emisión de varios miles de PBq de ^{131}I , planteó divergencias de opinión respecto a la profilaxis con yodo estable.

Hoy, a la luz del análisis de las consecuencias, a más de 10 años de aquel evento pueden hacerse nuevas consideraciones. Ya existen evidencias epidemiológicas acerca de un incremento en la tasa de incidencia de cáncer tiroideo infantil en la población de Ucrania y Bielorrusia. Se pudo evaluar que se administró yodo estable al 62% de la población de esas regiones y que sólo el 45% lo recibió durante el primer día del accidente. Al propio tiempo los estudios realizados sobre la población de Polonia sólo registraron 3 reacciones adversas severas entre aproximadamente 18 millones de personas que recibieron yoduro de potasio en forma profiláctica.

MECANISMO DE ACCIÓN DEL YODO ESTABLE

La contaminación interna con radioyodos es posible a través de 3 vías: inhalación, ingestión y absorción por piel. Una vez incorporado, el yodo es rápidamente absorbido y pasa a sangre desde donde alcanza en un corto tiempo su órgano blanco: la glándula tiroidea y se incorpora a la molécula de triiodotironina (T3) y tiroxina (T4). Se considera que el 50% de la dosis máxima en tiroidea se alcanza durante las primeras 6 horas post-incorporación.

El yodo estable bloquea en un 98% el ingreso de radioyodos a la glándula tiroidea si se lo administra unos minutos antes de la incorporación. Si la administración es simultánea la eficacia desciende al 90% siendo del orden del 50% cuando el yodo se administra entre 4 y 6 horas post-incorporación.

Mediante un mecanismo de dilución isotópica compite con el radioyodo por el ingreso al compartimiento tiroideo. A su vez una sobrecarga de yodo estable puede saturar parcialmente el mecanismo de transporte

interno del yodo y causar el llamado fenómeno de Wolff-Chaikoff, disminuyendo finalmente el nivel circulante de hormona tiroidea.

SCREENING DEL STATUS GLANDULAR DE GRUPOS POTENCIALMENTE EXPUESTOS

La eficacia del bloqueo por yodo estable depende de factores intrínsecos de la glándula tiroidea relacionados con:

a. Media de aporte de yodo por regiones: el depósito de radioyodos en la tiroidea depende de su estado funcional y particularmente en los eutiroides, del aporte alimentario de yodo estable. Existe una relación inversa entre el aporte diario de yodo en la dieta y la captación tiroidea del mismo. Mientras que el “uptake” es del orden del 20% en las zonas de alto aporte pasa a ser del orden del 60% en regiones de bajo aporte.

Esta diferencia se refleja en una avidéz distinta por los radioyodos y en la sensibilidad de la glándula al bloqueo con yodo estable.

El conocimiento previo del aporte medio de yodo por región, la determinación de zonas de bocio endémico y la prevención de la deficiencia de yodo mediante la yodinación de sales u otros alimentos son factores a tener en cuenta.

b. Sensibilidad individual: el bloqueo prolongado de la captación del yodo necesario para la síntesis de la hormona tiroidea puede llevar a la disminución de la actividad metabólica y al eventual aumento compensatorio del tamaño glandular. En términos generales no se observan tales efectos en individuos normales, luego de una administración a dosis adecuadas y por un período no mayor de dos semanas.

Se ha postulado que una sobrecarga de yodo estable puede desencadenar reacciones tiroideas autoinmunes en individuos predispuestos o agravar el curso de tiroiditis preexistentes.

Se sabe que existe hipersensibilidad al yodo particularmente por administración endovenosa de medios de contraste iodados con fines diagnósticos. Las reacciones no son tan frecuentes ni tan severas luego de la administración oral. Se estima que el riesgo de efectos adversos debidos a la administración de yodo estable es de 5×10^{-7} .

Estas son las situaciones individuales en las que la administración de yodo estable podría estar contraindicada:

- a. Hipersensibilidad conocida al yodo.
- b. Enfermedad tiroidea activa actual o previa en tratamiento: tiroiditis de Hashimoto, enfermedad de Basedow, otras tiroideopatías autoinmunes.
- c. Vasculitis hipocomplementémica.
- d. Dermatitis herpetiforme.

ASPECTOS POBLACIONALES

Se definen dos grupos poblacionales desde el punto de vista de la proximidad a la fuente de emisión y en base a dosis potenciales involucradas: un grupo cercano (“near field”) y un grupo alejado (“far field”).

En el **grupo cercano** la exposición es inmediata a la emisión, con una gran contribución de los isótopos de vida media corta y con predominio de la vía inhalatoria. Las dosis potenciales pueden ser bastante altas. Se requiere una acción rápida y no se debe demorar la toma de decisiones respecto de la administración de yodo estable.

En el **grupo alejado** la exposición es tardía y más prolongada, principalmente debida a isótopos de vida media más larga incorporados a través de la ingesta de alimentos. Se trata de dosis potenciales más bajas que pueden ser adecuadamente controladas mediante restricciones y control de alimentos.

CASOS PARTICULARES

Se deberán considerar los siguientes casos:

a. Mujeres embarazadas: durante el primer trimestre se deberá proteger la tiroides materna, a partir del segundo trimestre se considerará prioritaria la protección de la tiroides fetal. Se recomienda la yodoprofilaxis de todas las embarazadas en el grupo cercano. En la población alejada estaría indicada a partir del segundo trimestre de gestación.

b. Mujeres en período de amamantamiento: proteger como a otro miembro del público limitando el tiempo de tratamiento. La protección de la madre no excluye la profilaxis en el lactante.

c. Recién nacidos: proteger siempre mediante administración de yodo estable con dosis adecuadas. Puede sobrevenir hipotiroidismo transitorio por lo que se recomienda el monitoreo de la función tiroidea durante varias semanas posteriores.

d. Niños y adolescentes: constituyen un grupo de alto riesgo de inducción de cáncer tiroideo y bajo riesgo asociado al uso de yodo estable. La yodoprofilaxis está recomendada tanto en el grupo cercano como en la población alejada.

e. Adultos: el riesgo de cáncer tiroideo radioinducido disminuye con la edad. La frecuencia de patología tiroidea aumenta con la edad, particularmente en el sexo femenino. Se recomienda yodoprofilaxis en el grupo cercano y considerar el control de alimentos como medida protectora en el grupo alejado.

ASPECTOS FARMACOLÓGICOS

a. Forma farmacéutica: cualquiera sea la presentación o forma química utilizada, lo que cuenta para la dosificación es la cantidad ponderada de yodo activo.

Las tabletas pueden ser de yoduro o yodato (de sodio o más comúnmente de potasio) con una relación masa total del compuesto / masa de yodo activo de 1.3 para el yoduro y 1.7 para el yodato).

Puede administrarse el yodo en forma de soluciones tales como solución de lugol, tintura de yodo o alcohol iodado.

Varios factores deben considerarse en la decisión acerca de la forma a utilizar:

- Facilidad de almacenamiento.
- Rapidez de la distribución.
- Flexibilidad de la dosificación.
- Estabilidad del producto.

La tableta de yoduro de potasio es la forma más ampliamente usada. No se recomiendan las soluciones por la falta de precisión en las dosis y por las dificultades que presentan para su almacenamiento y distribución.

El esquema de administración puede facilitarse con la fabricación de tabletas de 50 mg de yodo activo, doblemente ranuradas. La dosis óptima para un adulto es de 100 mg de yodo activo en una sola toma diaria, la que podría administrarse con dos tabletas de este tipo. En el caso de los niños se administrarían fracciones de un medio o un cuarto de tableta disuelta en un líquido (en cuyo caso la solución debe ser administrada inmediatamente después de su preparación).

b. Almacenamiento y renovación de stock: las tabletas de yoduro de potasio deben ser conservadas al abrigo de la luz y de la humedad, con rótulos donde conste la fecha de producción y la masa de yodo activo que contienen.

Sería recomendable contar con ensayos periódicos de biodisponibilidad que permitan precisar el tiempo de máxima efectividad de las mismas y establecer en consecuencia un programa de control y renovación del stock.

c. Esquema de dosificación diferenciada por edad: hay consenso internacional acerca de la conveniencia de adecuar las dosis al grupo etario a fin de minimizar los riesgos de efectos adversos. La OMS propone el siguiente esquema:

GRUPO ETARIO	MASA DE IODO ACTIVO (dosis diaria)
Menos de 1 mes	12.5 mg (*)
1 mes a 3 años	25 mg
3 a 12 años	50 mg
Adolescentes y adultos	100 mg

(*) En la emergencia se le podrían administrar 25 mg como dosis única con seguimiento posterior de la función tiroidea del recién nacido.

d. Duración del tratamiento: en el caso del pasaje aislado de una nube radiactiva bastaría una dosis única. Si se trata de obtener una protección frente a una exposición prolongada se mantendrá la profilaxis con una sola toma diaria durante varios días, manteniendo el esquema de dosis propuesto. La duración del tratamiento dependerá de factores tales como: características del accidente, tiempo de la emisión, condiciones meteorológicas y aplicación de otras contramedidas. La decisión será tomada de acuerdo a las sugerencias de la Autoridad Regulatoria.

No se recomienda prolongar el tratamiento más allá de un día en los recién nacidos y dos días en las mujeres gestantes. De acuerdo al caso particular se evaluará la necesidad de otras contramedidas en estos grupos

LOGÍSTICA DE ADMINISTRACIÓN

Es conveniente que exista un stock centralizado permanente de tabletas a nivel de los centros primarios (instalaciones relevantes, autoridad regulatoria, autoridades sanitarias) a fin de asegurar el control, recambio y aprovisionamiento fuera de los períodos de crisis.

En la emergencia, los lotes necesarios arribarían al puesto de comando operacional o a los centros de distribución preestablecidos.

Hay países que proponen la existencia de una dotación mínima pre-distribuida en el grupo crítico con el objeto de acelerar su administración. Esto implica riesgo de extravío, ingesta inadecuada, almacenamiento inapropiado y dificultades de control.

Son posibles centros de distribución: hospitales regionales, municipios, escuelas, organismos de defensa civil, oficinas de correos. Entre los agentes afectados a esta tarea se considerarán: policía, bomberos, médicos, enfermeras, docentes, etc., los que deberían recibir un mínimo entrenamiento previo (participación en ejercicios, charlas, etc.).

SEGUIMIENTO DE GRUPOS DE RIESGO

Sería conveniente contar con un screening tiroideo previo de la población del grupo cercano. Una vez ocurrido un accidente se determinarán prioridades para el control posterior a fin de evaluar las consecuencias de la yodoprofilaxis, así como de las eventuales dosis recibidas.

En este sentido se considerarán:

1. Niños que recibieron yodo estable in útero o durante el primer mes de vida
2. Mujeres gestantes

3. Niños menores de 3 años

4. Niños mayores de 3 años

Se realizará una evaluación periódica clínica, ecográfica, y hormonal (TSH y T4), durante un período no inferior a dos semanas. Los estudios radioepidemiológicos prospectivos son estudios a largo plazo (varias decenas de años).

DIVULGACIÓN DE INSTRUCTIVOS E INFORMACIÓN

Es conveniente diseñar instructivos dirigidos al personal afectado a la distribución y administración del yodo. Serán breves, claros y precisos en cuanto a la normativa que se deberá seguir, contemplando todas las situaciones posibles a fin de maximizar la eficacia y rapidez de esta contramedida.

Anexo V.

Artículo Enviado y Comprobante de Envío

Metodologías de desincorporación de radionúclidos.

^a Edgar Armando Jiménez-Figueroa, ^b Lydia Paredes-Gutiérrez, ^c Alejandro Cortés-Carmona

^a Facultad de Medicina,

Universidad Autónoma del Estado de México

Paseo Tollocan s/n, esquina Jesús Carranza

Colonia Moderna de la Cruz

C.P. 50180 Toluca, Méx., MÉXICO.

Cel. (+52 045) 722 2940191

^b Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares,

Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa

C.P.52750 Ocoyoacac, Méx., MÉXICO.

Tel. (+52 55) 5329 7214

³ Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias,

Dr. José María Barragán No. 779

Colonia Narvarte

C.P. 03020, Delegación Benito Juárez, México, D.F., MÉXICO.

Tel. (+52 55) 5095 3200

Metodologías de desincorporación de radionúclidos

Resumen

Objetivo: Identificar tratamientos clínicos de desincorporación radiactiva en función del radionúclido, tipo de radiación, vida media radiactiva, vida media biológica, órgano crítico, vía de ingestión y la condición médica del paciente, con el propósito de disminuir la dosis absorbida y los efectos biológicos asociados.

Método: Se analizaron las metodologías de desincorporación radiactiva por las técnicas de: Reducción y/o inhibición de absorción del radionúclido en el tracto gastrointestinal, bloqueo de la absorción del órgano blanco, dilución isotópica, alteración química de la sustancia, desplazamiento del radionúclido receptor, técnicas de quelación, lavado broncoalveolar y descontaminación de heridas.

Resultados: El factor tiempo es decisivo para la efectividad del tratamiento de desincorporación seleccionados en las etapas de bloqueo (antes del accidente) o desincorporación (después del accidente); este factor está relacionado con las vidas medias radiactiva y biológica. Es por ello que para lograr eficiencias de desincorporación mayores al 70%, el tratamiento clínico del paciente deberá iniciarse antes del primer tercio de la vida media biológica del radionúclido que generó la contaminación interna.

Conclusiones: Se identificaron las metodologías de desincorporación para los radionúclidos más importantes en caso de accidentes radiactivos y nucleares. La correcta identificación del método y el tratamiento clínico y su rapidez de aplicación, son factores decisivos en el incremento de la eficiencia de bloqueo o de desincorporación del radionúclido, la disminución de la dosis absorbida y en consecuencia los efectos biológicos estocásticos y determinísticos en el paciente.

Palabras clave: Desincorporación radiactiva, accidentes radiológicos, quelantes.

Abstract

Objective: Identify clinical treatments of radioactive disincorporation depending on the radionuclide, kind of radiation, radioactive half- life, biological half-life, the acute organ, way of ingestion, and the patient's medical condition, with the purpose of reducing the adsorbed dose and the associated biological effects.

Method: The radioactive disincorporation methodologies will be analyzed using the reduction techniques and/or inhibition of the radionuclide absorption in the gastrointestinal tract, blocking of the target organ absorption, isotopic dilution, chemical alteration of the substance, displacing the receptor's radionuclide, chelation techniques, bronchoalveolar wash, and decontamination of wounds.

Results: The time factor is decisive for the affectivity of the disincorporation treatment selected in the blocking stages (before the accident) or in the disincorporation (after the accident). This factor is related to the radioactive and biological half-lives. That is why in order to achieve disincorporation efficiencies above 70 %, the patient's clinical treatment should be started before the first third of the biological radionuclide half-life which generated the internal contamination.

Conclusion: The disincorporation methodologies for the most important radionuclides in the cases of radioactive and nuclear accidents were identified. The correct identification of the method, and the clinical treatment and its application speed, they are decisive factors in the increase of the blocking efficiency or the radionuclide disincorporation, the decrease of the adsorbed dose, and as a consequence the stochastic and deterministic biological effects in the patient.

Key words: Radioactive disincorporation, radiological accidents, chelants.

Introducción

En los accidentes que producen una contaminación interna¹⁻³, los radionúclidos son ingresados al organismo a través de diferentes vías, como son la inhalación, la ingestión y la absorción a través de la piel. La incorporación de radionúclidos en el cuerpo comprende cuatro etapas sucesivas.

La primera es la deposición en la puerta de entrada, cuando el material radiactivo se queda en la vía de ingreso que pueden ser: la piel sana, heridas, en las mucosas, en el tubo digestivo o en el aparato respiratorio. La segunda comprende la transferencia del contaminante desde el punto de deposición a la sangre o en forma genérica, al líquido extracelular. La tercera es la deposición en el órgano blanco, por razones fisiológicas o físico químicas donde el factor determinante es la concentración del radionúclido. La cuarta es la eliminación del organismo, que puede ser directa o indirecta (por la recirculación a partir de los tejidos y la sangre)^{1,4-6}.

La comprensión de los modelos biocinéticos⁶⁻⁸ que representan la ingesta, transferencia y excreción del material radiactivo en el cuerpo, son esenciales para en la determinación de la cantidad de los contaminantes, la vida media biológica, órgano blanco, la actividad, la dosis absorbida, etc.

En la figura 1 se resumen las vías de ingesta, transferencias internas y vías de excreción⁶⁻⁸. El tracto respiratorio, el tracto gastrointestinal, la piel intacta y las heridas son las principales vías de entrada al organismo. Una proporción de la actividad es absorbida por la sangre (compartimento de transferencia). La actividad entonces experimenta varias y complejas transferencias que determinan su distribución dentro del cuerpo y su ruta y velocidad de eliminación. La eliminación del material radiactivo incorporado en el cuerpo se produce principalmente por la excreción urinaria y fecal. La mayor ruta de ingesta de material radiactivo se presenta en las vías de inhalación e ingestión.

Método

Se realizó un análisis detallado de diferentes vías de incorporación radiactiva; ingestión, inhalación y absorción por piel y heridas, así como las diferentes etapas de ingestión, transferencia, absorción y excreción de los radionúclidos. Se revisaron los modelos biocinéticos aplicables y se seleccionaron las siguientes metodologías de desincorporación de radionúclidos^{1,6-8}:

- *Reducción y/o inhibición de absorción* del radionúclido en el tracto gastrointestinal.
- *Bloqueo de la absorción del órgano de interés*. Ejemplo: Administración de pastillas de yoduro de potasio para bloqueo de la glándula tiroides.
- *Dilución isotópica*. Ejemplo: Administrar suero vía intravenosa para aumentar el líquido de hidratación, en el caso de contaminación interna con H-3.
- *Alteración química de la sustancia*. Ejemplo: Prevenir la formación de iones uranio en los riñones, empleando el bicarbonato de sodio.
- *Desplazando el Radionúclido del receptor*. Ejemplo: Administrando oralmente yodo estable para desplazar al Tc-99m.
- *Técnicas de quelación tradicional*. Ejemplo: Administrando el quelante DTPA para desincorporación interna del plutonio.
- *Lavado broncoalveolar* para los casos graves de contaminación con partículas radiactivas insolubles inhaladas.
- *Descontaminación rápida de radionúclidos en el caso de heridas*, con el propósito de minimizar la absorción.

En la contaminación interna la dosis no se entrega en el momento del accidente sino posteriormente, durante el tiempo de presencia del radionúclido en el organismo. La eficiencia

del tratamiento de diferentes radionúclidos depende de su forma química y la manera de entrada al organismo. Los objetivos prioritarios del tratamiento ante una contaminación interna son: el impedir la absorción, impedir la incorporación y disminuir la vida media efectiva (cuando sea posible).

Los métodos de tratamiento aplicados^{1,4-6} varían según la vía de entrada del contaminante. Deben ser consideradas diferentes posibilidades:

Contaminación de la piel: Debe impedirse la diseminación del contaminante en el organismo y no debe hacerse nada que pueda favorecerla. La regla es evitar toda escoriación de la piel, por más pequeña que sea, y el uso de productos que puedan facilitar el pasaje a través de la misma. El radionúclido es removido por lavados, solubilización, etc. Hay indicaciones especiales para cada tipo de radionúclido.

Herida contaminada: Una vez que un compuesto franquea la barrera cutánea puede ser directamente transferido hacia el líquido extra celular o ser retenido localmente en los tejidos subcutáneos y en los ganglios linfáticos regionales. Si el contaminante es un elemento transferible, debe hacerse insoluble en el sitio de la herida, para evitar su difusión.

Si el contaminante es un elemento no transferible y hay solamente una pequeña extensión local de la contaminación, puede ser tratado como un agente terapéutico de aplicación local (ejemplo un agente quelante). En determinados casos es necesario considerar el tratamiento quirúrgico de la lesión.

Contaminación a través del aparato digestivo: En la contaminación del aparato digestivo una parte del radionúclido es transferido hacia el líquido extracelular y el resto es directamente excretado por heces. En el caso de un elemento no transferible, insoluble al nivel del tracto gastrointestinal, la pequeña fracción absorbida no justifica generalmente un tratamiento.

Si se trata de un elemento transferible, absorbible a nivel del tracto digestivo, se debe realizar un intento de insolubilizarlo, usando fármacos como el azul de Prusia en el caso del cesio, alginato de calcio para el estroncio, etc.

Contaminación a través del aparato respiratorio: En este caso es difícil realizar una evaluación del grado de contaminación. Primeramente el aerosol inhalado se deposita a nivel de las diversas regiones del árbol respiratorio. Varios mecanismos son puestos en práctica para asegurar la eliminación de las partículas depositadas en el árbol respiratorio: la transferencia directa hacia el líquido extracelular, la transferencia hacia los ganglios linfáticos pulmonares y la transferencia hacia el tracto digestivo. Por lo tanto, después de un accidente en el que se sospeche una importante contaminación pulmonar por radionúclidos altamente absorbibles en el tracto digestivo, se debe tratar de hacerlos insolubles a nivel gastrointestinal. En el caso de emisores β , la exposición de la mucosa puede ser reducida mediante la administración de un laxante.

Los métodos de desincorporación pueden clasificarse⁶ en:

- Procedimientos destinados a reducir el pasaje del radionúclido desde el sitio de entrada.
- Procedimientos destinados a aumentar la excreción del radionúclido contaminante.

1. Procedimientos destinados a reducir el pasaje del radionúclido desde el sitio de entrada

Piel sana: Se efectúa un lavado no traumatizante con soluciones acuosas. A veces la eficacia de este tratamiento puede ser reforzada por la utilización de productos destinados a solubilizar el contaminante en el líquido utilizado para lavar. (DTPA para los transuránicos y tierras raras, bicarbonato para el uranio).

Heridas: Las acciones inmediatas frente a una herida contaminada comprenden: la irrigación con agua estéril o salina, el libre sangrado y la disminución del retorno venoso. Y si se requiere tratamiento quirúrgico.

Tracto respiratorio:

- *Inhalación de DTPA*: La quelación de estos elementos por el DTPA conduce a la formación de complejos rápidamente eliminados por vía urinaria. (transuránicos y especialmente plutonio o de tierras raras).
- *Lavado pulmonar*: se utiliza para remover del pulmón partículas relativamente insolubles. el lavado pulmonar es un tratamiento relativamente seguro que debe ser realizado por un especialista.

Tracto digestivo: La acción terapéutica consiste en insolubilizar el contaminante para evitar la absorción hacia el líquido extracelular y acelerar el tránsito intestinal para limitar la irradiación del tubo digestivo. Compuestos tales como absorbentes, antiácidos, laxantes, etc. Son administrados como primera medida para reducir la incorporación del radionúclido. El lavado gástrico puede considerarse solo frente a una incorporación importante y muy reciente. Los eméticos actúan por estimulación central o gástrica del vómito, no recomendándose su uso en caso de ingesta de productos corrosivos o en individuos con alteraciones de la conciencia.

2. Procedimientos destinados a aumentar la excreción del radionúclido contaminante

Una vez que el material radiactivo ha pasado a la sangre, la aplicación de un tratamiento lo más pronto posible puede prevenir su deposición en los tejidos y reducir la retención de radiactividad en diferentes órganos. Estos procedimientos pueden clasificarse de acuerdo a su mecanismo de acción⁶:

- *Tratamiento quelante*: Los quelantes son compuestos con capacidad de formar complejos con radionúclidos que pueden ser posteriormente excretados por vía renal o intestinal. El agente complejante puesto en circulación en el líquido extracelular actúa sobre el elemento que ya está presente o que está en vías de absorción. El elemento es así desviado de los órganos o tejidos hacia los cuales lo conducirá su metabolismo normal. Diferentes agentes quelantes son utilizados para diferentes elementos, Ácidos Poliaminopolicarbónicos, DTPA (Ácido Dietilentriamino-pentaacético, sales de calcio o zinc), EDTA (Ácido Etilendiaminotetraacético, sal cálcica), Tioles (Son agentes que en su

estructura química presentan grupos sulfhídricos), BAL (3,4 dimercaprol), DMPS (Dimercaptopropansulfonato), PA(penicilamina).

Son útiles para aquellos radionúclidos que están firmemente ligados al calcio, tales como tierras raras o actínidos. Estos agentes también remueven algunos biometales (hierro, magnesio y zinc). En el tratamiento de la sobreexposición ocupacional a sustancias radioactivas como plutonio, torio, uranio e itrio se utiliza el ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA). Son útiles para el tratamiento de intoxicaciones con metales pesado o radionúclidos como: antimonio, arsénico, bismuto, cadmio, cobre, oro, mercurio, polonio, etc.

- *Dilución isotópica:* Consiste en la administración de grandes cantidades de un elemento estable análogo. Se acelera el ciclo metabólico del radionúclido y de este modo se acelera su excreción
- *Bloqueo metabólico:* Un agente bloqueante satura el proceso metabólico en un tejido específico mediante un elemento estable, reduciendo así la captación del radionúclido.
- *Administración de agentes movilizadores:* Son compuestos que aumentan el proceso natural “entrega”, acelerando la eliminación del radioelemento.
- *Técnicas de eliminación extracorpóreas:* Se trata de un método usado en toxicología convencional que puede ser aplicado para la remoción de radionúclidos durante su tiempo de tránsito en el torrente circulatorio.

Resultados y Discusión

Se identificaron, clasificaron y seleccionaron las metodologías de tratamiento clínico para acelerar la desincorporación radiactiva de personas^{1,4-6}, con presencia de contaminación interna derivada de accidentes nucleares o radiológicos. La metodología seleccionada tiene por objetivo:

- Impedir la absorción
- Impedir la incorporación

- Disminuir la vida media biológica efectiva
- Disminuir la dosis absorbida al paciente
- Disminuir en lo posible los efectos biológicos de la radiación (estocásticos y determinísticos)

La efectividad de estas metodologías es directamente proporcional a su aplicación preventiva de bloqueo antes del accidente, o bien de desincorporación posterior al accidente, lo más rápido posible. Sin embargo, el diagnóstico clínico oportuno y especializado, es uno de los factores más importantes para lograr altos porcentajes de desincorporación radiactiva en pacientes^{1,4-6}. Es por ello que para lograr eficiencias de desincorporación mayores al 70%, el tratamiento clínico del paciente deberá iniciarse antes del primer tercio de la vida media biológica del radionúclido que generó la contaminación interna. En el caso de la eficiencia de bloqueo previo a un accidente radiológico, la recomendación es un mínimo de 2 h antes del accidente para que se concentre el isótopo estable en el órgano blanco, con el propósito de saturarlo y minimizar la captación del isótopo radiactivo, este es un ejemplo típico del método de bloqueo de tiroides para I-131 con pastillas de yoduro de potasio⁷⁻⁸.

Es por ello que es indispensable contar con un grupo interdisciplinario¹ que aborde el problema en forma integral e inmediata considerando los siguientes aspectos:

- Reconstruir el accidente y la dosis absorbida por el paciente
- Determinar clínicamente el grado del daño, de acuerdo al historial clínico y a los efectos biológicos que presente el paciente (Síndrome agudo por radiación)
- Definir la estrategia terapéutica personalizada

Las decisiones acerca de la conducta terapéutica frente a la incorporación accidental de un radionúclido deben ser analizadas en el marco de un adecuado balance riesgo/beneficio.

Existe un riesgo de daño asociado a la exposición a la radiación, que las metodologías de desincorporación pretenden disminuir, pero no debe olvidarse que este tratamiento en sí mismo implica ciertos riesgos.

El beneficio de la terapia descontaminante se evalúa en base a la reducción de la dosis absorbida. La carga incorporada y la consecuente dosis comprometida constituyen un parámetro decisivo, que junto a ciertas consideraciones tales como la edad del paciente y su estado de salud, permiten ajustar la decisión a las características particulares de cada caso.

En términos generales pueden considerarse 4 situaciones:

- e. Incorporación de menos de 1 ALI (Límite Anual de Incorporación)^{7,8}: No está indicado tratamiento alguno.
- f. Incorporación de 1-5 ALI: Sin probable tratamiento, o bien, tratamiento a criterio del médico.
- g. Incorporación de 5-10 ALI: No se esperan consecuencias clínicas pero podría considerarse el tratamiento con el objeto de disminuir la probabilidad de efectos estocásticos. En esas consideraciones son apropiados los tratamientos de dosis únicas o a corto plazo. Particularmente se indica el tratamiento en el caso de la incorporación de actínidos, especialmente plutonio.
- h. Incorporación mayor a 10 ALI: Está indicado el tratamiento descontaminante más prolongado. La intensidad y duración del tratamiento se decidirá en base a la potencia de reducción de las dosis comprometidas.

En la tabla 1 se listan los principales radionúclidos con mayor probabilidad de producir contaminación interna en casos de accidentes radiológicos y nucleares. Se indican el tipo de decaimiento radiactivo, la vida media radiactiva y biológica, las vías de incorporación más probable y los órganos blancos de concentración del mismo, así como los tratamientos de desincorporación radiactiva recomendados, de acuerdo al radionúclido, el tipo de accidente y la condición médica del paciente¹.

La vía de incorporación es un factor importante para la definición de la metodología clínica de desincorporación¹, por consiguiente los resultados de la biometría hemática y los ensayos biológicos de las muestras del paciente (saliva, mucosa, orina y excretas) son de vital importancia para la estimación de la dosis absorbida, la sección del tratamiento y la urgencia del inicio de la atención clínica a seguir.

Conclusiones

Se identificaron las metodologías de desincorporación para los radionúclidos más importantes en caso de accidentes radiactivos y nucleares. La correcta identificación del método de tratamiento y su rapidez de aplicación, son factores decisivos en el incremento de la eficiencia de bloqueo o de desincorporación del radionúclido, la disminución de la dosis absorbida y en consecuencia los efectos biológicos estocásticos y determinísticos en el paciente.

Bibliografía

¹Jiménez-Figueroa E. A. Metodología de desincorporación de radionúclidos en personas relacionadas con accidentes nucleares y radiológicos. Tesis de Maestría en Ciencias en Física Médica, UAEM, Febrero 2014.

²Paredes-Gutiérrez L., Galicia-Alarcón J.F., González-Rodríguez V.J. Tendencia mundial e impacto de los accidentes nucleares y radiológicos”, Proceeding of the IX Latin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety - *IRPA (2013)*, Rio de Janeiro, Brasil, 15-19 Abril.

³Astudillo A.J., Paredes L., Ambriz J.J. Guía de recomendaciones en accidentes radiológicos para primeros respondedores: personal paramédico. e-Proceeding of the XII Internacional Symposium, XXII National Congress on Solid State Dosimetry, ISSSD (2011). Mexico. pp: 25-28. 5-9 September.

⁴U.S Department of Health & Human Services. Radiation emergency medical management. 2013. <http://www.remm.nlm.gov>

⁵The Radiation Emergency Assistance Center (2009). The medical aspects of radiation incidents. Training site.

⁶Di Trano J.L., Pérez M. del R., Gisone P.A. Guía para el tratamiento de personas accidentalmente sobre expuestas a las radiaciones ionizantes: contaminación interna. Autoridad Regulatoria Nuclear Argentina 1999.

⁷International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP. Individual monitoring for internal exposure of workers. Pergamon. Publication 78.

⁸National Council on Radiation Protection and Measurements (2008). Management of persons contaminated with radionuclides: handbook. Bethesda. MD Report 1(161).

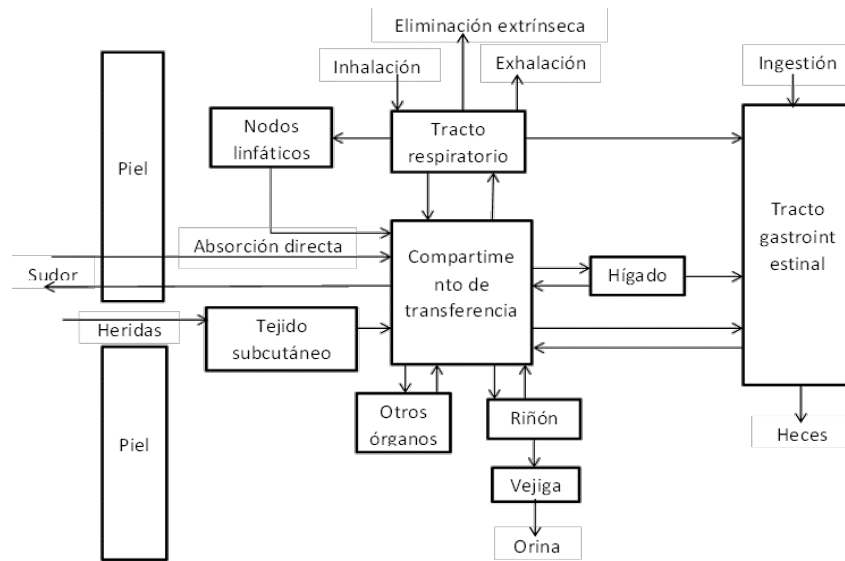


Figura 1. Este modelo representa las vías de ingestión, la transferencia y excreción de materiales radiactivos.

Tabla 1. Tratamiento para la desincorporación radiactiva en casos de accidentes

Isótopo	Radiación	Vida media radiactiva	Vida media biológica	Principales vías de exposición	Órgano blanco	Tratamiento de desincorporación
Cesio (¹³⁷ Cs)	β^- , γ	30 años	70 días	Inhalación Ingestión	Sigue la vía del potasio. Excreción renal	Azul de Prusia, insoluble
Cobalto (⁶⁰ Co)	β^- , γ	5.26 años	9.5 días	Inhalación Ingestión	Hígado	Succimer (DMSA) (medicamento diario), DTPA, EDTA, N-Acetil-L-cisteína. Administrar una laxante para acelerar el tránsito gastrointestinal Herida contaminada: lavar con solución concentrada de DTPA-Ca Contaminación respiratoria: inhalación de un aerosol de DTPA
Estroncio (⁹⁰ Sr)	β^-	28 años	18 000 días	Inhalación Ingestión	Hueso	Inhalación: Gluconato de calcio, Sulfato de bario Ingestión: Rx es el mismo que para el radio (véase ²²⁶ Ra), Rx adicional puede incluir compuestos de estroncio estables: lactato de estroncio, Gluconato de estroncio Herida contaminada: Rodizonato de sodio
Fosforo (³² P)	β^-	14.3 días	1,155 días	Inhalación Ingestión Piel	Hueso Medula ósea Células de rápida replicación	Medicamentos Hidratación + fosfato • Glicerofosfato de sodio • Fosfato sodio • Fosfato de potasio • Carbonato de calcio • Hidróxido de aluminio • Carbonato de aluminio • Sevelamer (medicamento diario)
Iridio (¹⁹² Ir)	β^- , γ	74 días	50 días	N/A	Bazo	DTPA, EDTA
Yodo (¹²³ I)	e^- , x , γ	13.3 horas	0.35 días/ 138 días ⁷	Inhalación Ingestión Piel	Tiroides	Dilución isotópica. Inicial: administrar por vía oral 1 a 2 tabletas x 130 mg de yoduro de potasio, sodio o magnesio (100 mg de yodo activo). Días posteriores: 1 tableta por día
Yodo (¹²⁵ I)	e^- , x	60.2 días				
Yodo (¹³¹ I)	β^- , γ	8.1 días	138 días			Yoduro de potasio Solución saturada de yoduro de potasio Propiltiouracilo Metamizol Yoduro de potasio
Lantánidos (tierras raras: La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)	¹⁴⁰ La β^- , γ	40.2 horas			Gastrointestinal.	En todos los casos: Inyectar 0.5 g de DTPA-Ca (½ inyección) / 250 ml de solución fisiológica o glucosada por vía IV lenta a. Herida contaminada: Lavar la herida con solución concentrada de DTPA-Ca (25% 1 inyección de 1 g) b. Contaminación del aparato respiratorio: nebulizar con aerosol de DTPA-Ca (1 inyección) en un generador convencional o utilizar 1 cápsula de DTPA micronizado en un generador turboinhalador c. Contaminación digestiva: débil absorción por esta vía. Eventualmente se puede administrar por vía oral 10 g de sulfato de magnesio en 100-200 ml de agua para acelerar el pasaje a través del tracto digestivo
	¹⁴⁴ Ce β^- , γ	285 días	1500 días		Hueso	
	Hijos ¹⁴⁴ Pm β^- , γ	17.3 minutos				
	¹⁴⁷ Pm β^- , γ	2.62 años	1500 días		Hueso	
	¹⁶⁹ Yb x , γ	31.8 días	1000 días		Hueso	
	¹⁷⁷ Lu β^- , γ	6.74 días			Gastrointestinal	

⁷ Dependiente del estado de la función tiroidea

De:ees.remnim.0.272c45.a3161bc7@eesmail.elsevier.com

[mailto:ees.remnim.0.272c45.a3161bc7@eesmail.elsevier.com] En nombre de Revista Española de Medicina Nuclear

Enviado el: lunes, 10 de febrero de 2014 03:03 a.m.

Para: Lydia Concepción Paredes Gutiérrez; lparedes.gutierrez@gmail.com

Asunto: REMNIM-D-14-00033: código de referencia de su artículo / Your Submission Ref. No.

Estimado/a Dr. Paredes-Gutierrez:

Le confirmamos que se ha iniciado el proceso de revisión de su artículo "Metodologías de desincorporación de radionúclidos" (ref. REMNIM-D-14-00033), enviado a Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular para su posible publicación.

Para consultar el estado de su artículo debe seguir los siguientes pasos:

1. Acceda a la página <http://ees.elsevier.com/remnim/>.
2. Introduzca sus datos de registro.
Si no sabe o no recuerda su password, entre en:
http://ees.elsevier.com/REMNIM/automail_query.asp.
3. Acceda como autor al sistema (esto le llevará a su menú principal).
4. Entre en "Submissions Being Processed".

Muchas gracias por el interés mostrado por nuestra revista.

Reciba un cordial saludo,

Silvia Bofill
Journal Manager
Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecula

Si tiene alguna duda sobre el uso del programa, póngase en contacto con el departamento de Ayuda-EES por teléfono (932 406 176) o correo electrónico (ayuda-ees@elsevier.com).