

CAPITULO 12

PLANEAMIENTO Y PREPARACION PARA UN ACCIDENTE RADIOLOGICO

M.Sc. PATRICIA MORA

En las últimas décadas, el uso de materiales radioactivos en los campos de la industria, medicina, enseñanza e investigación han ido creciendo paulatinamente. Todos conocemos que accidentes han ocurrido durante la producción, transporte o uso de estos materiales. Al ocurrir un accidente nuestro objetivo será la pronta restauración a condiciones normales, para así mitigar las exposiciones a la población y posibles contaminaciones. Debemos por lo tanto, contar con planes de emergencias para poder hacer frente a estas situaciones. Necesitamos estudiar los diferentes tipos de accidentes con los que nos podremos ver involucrados, analizar sus magnitudes y posibles consecuencias. A la vez, contar con el personal capacitado y la infraestructura necesaria que garanticen una respuesta pronta y efectiva.

En este capítulo daremos los lineamientos generales de como planear y prepararnos para una emergencias radiológica. Todo accidente debe en primera instancia ser prevenido por el usuario, pero si éste, aún así ocurre debemos estar capacitados para identificarlo, analizarlo y responder rápidamente. Si queremos responder prontamente, debemos contar con planes y procedimientos de emergencia ligados a personal calificado y recursos materiales disponibles.

POSIBLES TIPOS DE ACCIDENTES

Los posibles accidentes con los que podríamos vernos involucrados se dividen en tres grandes grupos. Alguna combinación de ellos también es factible.

- 1) La fuente radioactiva puede ser perdida, robada o desplazada de su lugar habitual.
- 2) La fuente radioactiva puede quedar sin su blindaje o parte de él, debido a fallas en su operación.
- 3) El material radioactivo puede ser dispersado.

CLASIFICACION DE ACCIDENTES

Dependiendo de la severidad del accidente y magnitud de sus consecuencias, es importante clasificar los accidentes. Existen dos clasificaciones, una por lugar geográfico y otra por consecuencias radiológicas.

EXTENSION GEOGRAFICA:

- | | |
|-----------|---|
| Nivel #1: | Las consecuencias se limitan a un solo cuarto, laboratorio o edificio. |
| Nivel #2: | Las consecuencias se limitan al perímetro de las facilidades (hospital, universidad, etc.). |
| Nivel #3: | Las consecuencias pueden ser significativas afuera del perímetro de las facilidades. |
| Nivel #4: | Las consecuencias pueden tener significados transfronterizos. |

CONSECUENCIAS RADIOLOGICAS:

- contaminación interna
- exposición externa
- situación potencialmente significativa por la dosis colectiva producida

VÍAS DE EXPOSICION A LA RADIACION

Las vías de exposición más importantes después de un accidente son:

- 1) Irradiación directa de la fuente o de la instalación o directamente de la nube radioactiva de una emisión al ambiente.
- 2) Inhalación del material transportado por el aire (gases, aerosoles, particulares).
- 3) Irradiación directa del material depositado sobre el piso u otras superficies.
- 4) Contaminación de la piel o ropas.

De estas vías de exposición, la exposición directa es la mayor contribuyente a la dosis recibida. En caso de accidentes en reactores nucleares la ingestión de alimentos contaminados sería importante.

CRITERIOS PARA FIJAR LOS NIVELES DE INTERVENCION

- 1) Los efectos no-estocásticos deben evitarse por la introducción de acciones que limiten las dosis individuales por debajo de los umbrales de dichos efectos.
- 2) El riesgo de efectos estocásticos debe ser mantenido bajo un cierto nivel por la introducción de contramedidas que hagan logable un beneficio neto positivo para los individuos involucrados.
- 3) La incidencia total de los efectos estocásticos debe ser mantenida bajo un cierto nivel reduciendo tanto como sea razonablemente practicable la dosis colectiva.

MEDIDAS DE PROTECCION A TOMARSE DESPUES DE UN ACCIDENTE

Las medidas de protección que con mayor probabilidad deberán tomarse después de ocurrido un accidente son:

- 1) Control de accesos y egresos:

La principal ventaja de controlar el acceso al área afectada es el de minimizar el número de personas que se podrán ver expuestas a las radiaciones ionizantes y su posible interferencia con las autoridades encargadas de la emergencia.

La ventaja de controlar el egreso es el de minimizar si lo hay, el traslado de posible contaminación a otras áreas no afectadas, también permitirá controlar a las personas involucradas en el accidente.

Este control de accesos y egresos puede ser muy complicado si el área en cuestión es muy grande o bien afecta áreas públicas. Aquí intervendrían muchas organizaciones (policías, cuerpo de bomberos, etc.), trabajando coordinadamente. Un análisis del costo beneficio de estas acciones deberá llevarse a cabo antes de implantar cualquier medida.

- 2) Blindaje y puesta a cubierto:

En caso de liberaciones atmosféricas de material radioactivo la puesta a cubierto de las personas será una buena medida de protección radiológica. El permanecer dentro de edificios mitigará el impacto de las radiaciones.

Si una fuente se encontrara fuera de su blindaje, se deberán tomar las medidas necesarias para restablecerlo lo más pronto posible.

3) Evacuación:

La evacuación de los trabajadores del sitio del accidente debe ser una de las primeras medidas tomadas. Si el accidente involucra materiales radioactivos provenientes de la industria, medicina o investigación, la evacuación de los vecinos del área será pocas veces necesaria.

4) Medidas de protección personal:

A. Medidas de protección a exposiciones externas: en un accidente radiológico el peligro más frecuente provendrá de exposiciones de radiación gamma debido a su alto poder de penetración. Si se tratara de radiaciones beta los órganos con riesgo radiológico serán la piel y los ojos. Las radiaciones alfa generalmente no constituyen un peligro en exposiciones externas. Recordemos que fuentes alfa en conjunto con berilio se utilizan para producir neutrones y con éstos si debemos tomar precauciones. Para reducir cualquier exposición externa podemos hacer uso de conceptos ya antes explicados: tiempo, distancia y blindaje.

B. Medidas de protección a exposiciones internas: los materiales radioactivos entrarán a nuestro cuerpo por medio de inhalación, ingestión y absorción por la piel o heridas.

En los accidentes radiológicos si hay material radioactivo disperso en el ambiente, la vía más probable de incorporación es la inhalación. Para limitar esta exposición se utilizarán mascarillas protectoras cuando la concentración en el ambiente sea alta. Existen actualmente muchos tipos de mascarillas protectoras en el mercado dependiendo de los requerimientos específicos a la situación.

C. Medidas de protección ante la contaminación de la piel: utilizando ropa protectora adecuada lograremos reducir la contaminación a nuestra piel cuando estamos en un accidente. Ejemplos de esta ropa son: ropas de trabajo, chalecos plásticos, cascos para la cabeza, botas de hule, covertores de zapatos y guantes del algodón o plástico.

5) Descontaminación personal

Si en un accidente nos encontramos con personas contaminadas la descontaminación debe ser casi inmediata. Si existiera algún tipo de herida, la descontaminación debe esperar hasta tener el consentimiento de personal médico especializado. En general se debe remover la contaminación localizada con agua y jabón teniendo cuidado de no contaminar otras áreas. Las ropas del usuario deben ser guardadas cuidadosamente. Mucho cuidado debe tenerse con los ojos, nariz y boca.

6) Descontaminación de áreas:

La descontaminación de un área se llevará una vez el accidente esté bajo control. Se deberá meditar en los mejores métodos para descontaminar y solo personal calificado realizará estas tareas. A continuación se presenta una tabla que resume los métodos de descontaminación empleados en cada tipo de superficies.

Tabla 12.1:

METODOS DE DESCONTAMINACION DE AREAS

METODO	SUPERFICIE	ACCION
Aspiración	Superficies secas contaminadas	Remoción de polvo contaminado por aspiración
Agua	Toda superficie no porosa (metal, pintura, plástico, etc.) No es adecuada para materiales porosos, tales como madera, concreto, loneta.	Solución y erosión
Vapor	Superficies no porosas (Especialmente superficies pintadas o engrasadas)	Solución y erosión
Detergentes	Superficies no porosas (Especialmente laminados plásticos)	Agentes emulsionantes Agentes humectantes
Agentes Complejantes (Oxalatos Carbonatos Citratos)	Superficies no porosas (Especialmente superficies no expuestas a la intemperie: p.e. sin óxido o depósitos calcáreos).	Forma compuestos solubles con el material contaminado
Solventes Orgánicos	Superficies no porosas (Engrasadas, enceradas, pintadas o con terminados plásticos).	Disolución de material orgánico
Ácidos Inorgánicos	Superficies metálicas especialmente aquellos con depósitos porosos.	Poder disolvente Intenso sobre metales y depósitos con poros.
Mezclas Ácidas: Clorhídrico Sulfúrico Acético Cítrico Acetatos Citratos	Superficies no porosas (Especialmente aquellas que tienen depósitos en poros). Sistemas de cañerías en circulación.	Acción disolvente
Cáusticos: Hidróxido de sodio Hidróxido de calcio Hidróxido de potasio Fosfato trisódico	Superficies pintadas horizontales	Poder disolvente sobre pinturas blandas (método duro)
	Superficies pintadas verticalmente	Poder disolvente (método blando)
Abrasión: abrasión húmeda por arena Abrasión por aspiración	Superficie no porosa	Remoción de la superficie
	Superficies porosas y no porosas	Abrasión con remoción controlada por aspiración al vacío.

- 7) **Control de agua y alimentos:**
Este tipo de medida protectora solo será necesaria en caso de accidentes donde grandes cantidades de material radioactivo se liberen al medio ambiente. Los accidentes ocurridos de la industria, medicina o investigación en nuestro país difícilmente producirían estos efectos.
- 8) **Cuidados y tratamientos médicos:**
En caso de accidentes severos grandes dosis pueden ser dadas, sobrepasando así los límites de aparición de los efectos no-estocásticos, deberán entonces tomarse las medidas necesarias para tratar los efectos del síndrome agudo de las radiaciones. El personal médico capacitando en las enfermedades causadas por la radiación deberán ser los únicos en manipular a las víctimas. Deberá contarse con las facilidades médicas que puedan hacerse cargo de dicho tratamiento. Todos los procedimientos de descontaminación interna son muy delicados y deberán realizarse bajo la debida vigilancia y dirección médica.

OBJETIVOS DE LOS PLANES DE EMERGENCIA

Dependiendo del tipo de accidentes en que nos veamos involucrados, así serán los objetivos de nuestra emergencia, como se demuestra en la siguiente tabla.

Tabla #12.2

OBJETIVOS DE LA RESPUESTA

I.	Pérdida o robo de fuente	a) Localizar la fuente b) Mantener las dosis tan bajas como sea razonablemente logable dentro de los límites legales.
II.	Pérdida de blindaje, trabajo o exposición de la fuente	a) Restaurar la fuente a una posición segura y blindada. b) Mantener las dosis tan bajas como sea razonablemente logable dentro de los límites legales.
III.	Pérdida de confinamiento, contaminación de áreas, equipo o personal	a) Descontaminación y limpieza b) Recolección y disposición de los residuos radioactivos c) Mantener las dosis tan bajas como sea razonablemente logable dentro de los límites legales.

NOTIFICACION DE UN ACCIDENTE RADIOLOGICO

Si el accidente es pequeño, está restringido y no produjo exposición al personal no deberá notificarse, pero si requiere de notificación a la autoridad competente la información suministrada deberá ser la adecuada y exacta. Esta información deberá incluir:

- a. Nombre y dirección del establecimiento en el que ocurre el accidente.
- b. La hora exacta en que ocurrió o fue descubierto.
- c. La naturaleza del accidente (Ej.: Pérdida de fuente, robo, contaminación, etc.).
- d. La naturaleza del material radioactivo involucrado (Ej.: Cs-137, Co-60).
- e. La cantidad de material radioactivo involucrado. Se recomienda utilizar el Sistema Internacional.
- f. En el caso de contaminación:
 - i: Actividad original de la fuente.
 - ii Estimación de la emisión o derrame.
- g. Información física y química:
 - i: Forma química.
 - ii: Volumen involucrado.
 - iii Toda propiedad química asociada al material involucrado.
 - iv: Toda información del sitio que puede caracterizar la emisión o derrame.
- h. Descripción del equipo o confinamiento en el cual la fuente estaba ubicada antes y durante el accidente:
 - i. Resultados de mediciones disponibles de radiación o contaminación.
 - j. Información sobre víctimas, radiológicas o no radiológicas.
 - k. Si hay miembros de la población bajo riesgo si hay emisión al ambiente.
 - l. Que asistencia se requiere.

PREPARACION DE PLANES DE EMERGENCIA

Para brindar la información necesaria en caso de accidentes de las diferentes responsabilidades, los procedimientos y acciones requeridos por el usuario, los servicios de emergencia local y las autoridades competentes, presentamos las siguientes tres tablas:

Tabla #12.3

RESPUESTA DE EMERGENCIA FRENTE A PERDIDA O ROBO DE FUENTES O MATERIAL RADIOACTIVO

	USUARIO	PERSONAL LOCAL DE EMERGENCIA	AUTORIDAD COMPETENTE
Responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad física • Control de inventario • Notificación • Comenzar a localizar la fuente • Proveer asistencia al personal local de emergencia y a la autoridad competente 	<ul style="list-style-type: none"> • Asistir a la localización de la fuente 	<ul style="list-style-type: none"> • Proveer guías en la preparación del plan • Capacidad de 24 hrs. al día para recibir pedidos de asistencia al usuario.
Procedimientos escritos	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad física • Control de Invent. • Notificación 	<ul style="list-style-type: none"> • No son necesarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos generales para la respuesta • Procedimientos para localizar al personal clave • Aprobar los planes
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamiento para detección de radioactividad y dosimetría 	<ul style="list-style-type: none"> • No son necesarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumental, incluyendo al de alta sensibilidad • Acceso a medios de monitoreo móvil y aéreo • Dosímetros
Entrenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Para los procedimientos 	<ul style="list-style-type: none"> • No es necesario entrenamiento general 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrenamiento en protección radiológica general • Ejercitación en localización de muestras
Evaluación de riesgo	<ul style="list-style-type: none"> • Si 	<ul style="list-style-type: none"> • Recibe evaluación del usuario y de la autoridad competente 	<ul style="list-style-type: none"> • Si
Control de accesos	<ul style="list-style-type: none"> • N.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • N.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • N.A.
Niveles de intervención	<ul style="list-style-type: none"> • Todas las pérdidas y robos deben ser notificados 	<ul style="list-style-type: none"> • N.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzo en localizar la fuente debe ser decidido en un estudio de riesgo potencial caso por caso.

Tabla # 12.4

RESPUESTAS DE EMERGENCIA EN EL CASO DE FUENTES TRABADAS O EXPUESTAS

	USUARIO	PERSONAL LOCAL DE EMERGENCIA	AUTORIDAD COMPETENTE
Responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Proceder a a recuperación • Asegurar el área • Notificar a la autoridad competente si ocurren sobreesposiciones o la fuente no puede retornarse a posición segura en el blindaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Normalmente ninguna • Asistir si es requerido 	<ul style="list-style-type: none"> • Proveer guías para la confección de los planes de emergencia • Capacidad de respuestas a los requerimientos de ayuda • Evaluación de dosis después de la recuperación
Procedimientos escritos	<ul style="list-style-type: none"> • Para fuentes trabadas o expuestas • Para recuperación • Para notificación 	<ul style="list-style-type: none"> • No son necesarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos generales de respuestas • Procedimientos de localización de personal clave • Aprobación de planes
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Herramientas especiales • Blindajes portables 	<ul style="list-style-type: none"> • No son necesarios 	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso a blindajes portables • Instrumental de vigilancia radiológica
Entrenamiento y ejercicios	<ul style="list-style-type: none"> • Entrenamientos en procedimientos de emergencia escritos • Prácticas periódicas 	<ul style="list-style-type: none"> • No es necesario entrenamiento especial 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrenamiento en protección radiológica en general
Evaluación del riesgo potencial	<ul style="list-style-type: none"> • Debe evaluar el riesgo antes de intentar la recuperación 	<ul style="list-style-type: none"> • Recibe evaluación de la autoridad competente 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar las evaluaciones del usuario
Control de accesos	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo procedimiento escrito 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede asistir si es requerido 	<ul style="list-style-type: none"> • Coordina con el personal local de emergencia
Niveles de intervención	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de límites ocupacionales y para Público 	<ul style="list-style-type: none"> • N.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establece los límites de dosis normales para público y ocupacionales
Médico	<ul style="list-style-type: none"> • Posterior al aviso a la autoridad competente. 	<ul style="list-style-type: none"> • N.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proveen asesoramiento técnico si es necesario

Tabla # 12.5

RESPUESTA DE EMERGENCIA PARA ACCIDENTES POR CONTAMINACION

	USUARIO	PERSONAL LOCAL DE EMERGENCIA	AUTORIDAD COMPETENTE
Responsabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar el accidente • Establecer el área afectada • Notificación al personal de emergencia y a la autoridad • Identificación de personal contaminado • Descontaminación de trabajadores • Prevenir la dispersión de la contaminación • Descontaminación de áreas en la instalación • Estimación de dosis a los trabajadores • Disposición de desechos • Acciones correctivas 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de accesos • Lucha contra incendio • Asistir en la prevención de la dispersión de la contaminación • Transporte de heridos o contaminados • Notificación al público y a la prensa 	<ul style="list-style-type: none"> • Proveer guías para la preparación de emergencia • Establecer el área afectada fuera de la instalación • Capacidad de respuesta a la solicitud de ayuda • Identificación de personal contaminado fuera de la instalación • Descontaminación de miembros del público • Descontaminación de áreas fuera de la instalación • Estimación de dosis a trabajadores y público • Proveer tratamiento médico • Control de alimentos • Establecer límites para la descontaminación • Asistir en la notificación al público y medios de prensa
Procedimientos escritos	<ul style="list-style-type: none"> • Notificación • Descontaminación 	<ul style="list-style-type: none"> • No 	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimientos generales para la respuesta • Localización de expertos • Aprobación de planes
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de detección • Instrumentación especializada apropiada al material usado 	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere instrumental especial 	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos de vigilancia radiológica general • Instrumentación especial • Capacidad de medición de muestras del ambiente
Entrenamiento y Ejercicios	<ul style="list-style-type: none"> • Entrenamiento especial en descontaminación • Ejercicios periódicos 	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere entrenamiento especial • NA 	<ul style="list-style-type: none"> • Entrenamiento especial en descontaminación y monitoreo ambiental

	USUARIO	PERSONAL LOCAL DE EMERGENCIA	AUTORIDAD COMPETENTE
Evaluaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de dosis en el sitio 		<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de dosis en el sitio y fuera de él
Niveles de Intervención	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplir con los niveles fijados por la autoridad 	<ul style="list-style-type: none"> • N.A. 	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer niveles de contaminación superficial
Servicios Médicos	<ul style="list-style-type: none"> • Avisar a la autoridad 	<ul style="list-style-type: none"> • Proveer transporte de individuos afectados que lo requieran 	<ul style="list-style-type: none"> • Proveer tratamiento médico cuando sea requerido

RESUMEN PRACTICO SOBRE LAS PRIMERAS ACCIONES A SEGUIR EN UN ACCIDENTE RADIOLOGICO

Se pretende presentar las primeras acciones a tomar cuando el personal de emergencia llega a una institución para enfrentarse con un accidente radiológico. El personal de emergencia puede encontrarse ante:

- accidente con radiación externa ó
- accidente con contaminación.

Pero también se puede ver obligado a comenzar los procedimientos de descontaminación de víctimas del accidente.

I. ACCIDENTES CON RADIACION EXTERNA

Si existe la posibilidad de altas dosis, tomar las siguientes medidas:

1. Evacuación y cierre del área afectada.
2. Señalamiento con rótulos de advertencia sobre material radioactivo en el área.
3. Estimación de las dosis recibidas por el personal
4. Planeamiento para restaurar las condiciones de trabajo normal por personal especializado en el tema.

II. ACCIDENTES CON CONTAMINACION

El material radioactivo puede ser accidentalmente dispersado por el usuario o por una ruptura en la fuente. Tomar medidas para detener contaminación y reducir exposiciones de trabajadores.

Pasos a seguir:

1. Las personas en las cercanías del derrame que pudieran recibir contaminación interna o externa deben recibir atención médica inmediata.
2. La protección del personal y detención de la dispersión debe ser el objetivo primario.
3. Las personas directamente contaminadas deben inmediatamente quitarse las ropas, lavar sus manos y áreas del cuerpo afectadas.
4. Si hay peligro de inhalación, las personas no involucradas con el accidente deben retirarse del lugar.
5. Si se necesita hacer una evacuación, deberá moverse lo mínimo dentro del cuarto. No deberá moverse, hasta conocer bien que va a hacer y a donde se dirige.
6. Si hay posibilidad de contaminación en el aire se debe contener la respiración y en lo posible utilizar los aparatos protectores.
7. Estando todas las personas fuera del lugar, pudiera ser necesario prevenir que la contaminación salga del cuarto, por lo tanto sellar las puertas y ventanas con papel adhesivo.
8. Las personas que han inhalado o ingerido material radioactivo deberán recibir atención médica.
9. Las personas envueltas en un accidente no deberán retirarse del lugar (solo en caso necesario) hasta no ser monitoreadas para asegurar que no aumente la dispersión del material radioactivo.
10. El área contaminada se debe cercar y proceder al señalamiento con rótulos de advertencia de material radioactivo.
11. Se deben de iniciar los procedimientos de descontaminación para el área y las personas involucradas.
12. El trabajo normal no será restituido hasta estar seguros que las acciones de descontaminación han sido llevadas satisfactoriamente.

PROCEDIMIENTOS EN LA DESCONTAMINACIÓN DEL PERSONAL

CONTAMINACION INTERNA:

1. Resultan de ingestión, inhalación o penetración a través de la piel, si existe la contaminación deberá ser comunicado al responsable de la protección radiológica.

2. Todo procedimiento deberá llevarse a cabo al lado de un médico capacitado.
3. **Qué se quiere lograr?**
 - A. *Tratar de eliminar lo más rápido posible el contaminante y prevenir o reducir su introducción al sistema sanguíneo.*
 - B. *Tratar de prevenir la fijación del contaminante en el cuerpo y aumentar su razón de salida del cuerpo.*
4. Si el personal de primeros auxilios tiene que actuar con medidas de acción inmediatas, deberán de tratar de eliminar el contaminante por medio del vómito o la expectoración.
5. En caso de contaminación de una herida, ésta debe ser lavada y hasta podría inducirse el sangrado de la misma en casos muy especiales, debe paralelamente efectuarse el monitoreo de la herida. Es mejor esperar al médico.
6. Cuando deban realizarse medidas más drásticas, deberá estar presente el médico capacitado en accidentes radioactivos.

CONTAMINACION EXTERNA:

La contaminación externa se puede volver peligrosa porque:

- a. puede producir una exposición local en la piel.
 - b. puede penetrar la piel intacta (debido a la presencia de solventes orgánicos).
 - c. puede ser introducida al cuerpo por ingestión o inhalación.
1. Lo primero que debe hacerse es lavar con agua y jabón suave. Puede usarse un cepillo, siempre y cuando no se rompa la piel. Paralelamente se debe ir monitoreando la piel.
 2. Si los niveles de radiación todavía son altos, usar un jabón más fuerte, pero tener mucho cuidado.
 3. Tener cuidado con los pliegues de la piel, el pelo, las uñas y cualquier tipo de grieta.
 4. Si se tiene que descontaminar la cara, poner mucho cuidado con los ojos, boca y oídos.
 5. Si aún así no se descontamina hacerlo en la presencia de médicos.

CAPITULO 13

ALGUNOS EJEMPLOS DE ACCIDENTES RADIOLOGICOS.

M.Sc. Patricia Mora R.

I. EL ACCIDENTE RADIOLOGICO DE GOIANIA (Brasil)

INTRODUCCION:

El accidente radiológico que ocurrió en Goiania ha sido uno de los mayores y de más serias consecuencias que hasta la fecha han ocurrido en el mundo.

Los hechos tienen comienzo a fines del año 85, cuando el Instituto Goiano de Radioterapia (IGR) se trasladó a sus nuevas instalaciones y dejó abandonado un equipo de teleterapia de Cs-137, sin notificar previamente a las autoridades competentes. A esto, se une posteriormente el hecho de que el antiguo edificio fue demolido, con lo que el equipo quedó sin ninguna seguridad adicional aparte de su propio blindaje.

El 13 de setiembre de 1987 dos individuos roban el cabezal del equipo y logran romper la cápsula que contenía cerca de 51 TBq (^{137}Cs) de Cs-137. El radionucleido estaba en forma de sal (Cloruro de Cesio).

La intervención se dividió en tres fases:

- a- Emergencia
- b- Descontaminación
- c- Supervisión post-accidente.

El objetivo en la primera fase fue la atención a las víctimas e impedir que más personas pudieran contaminarse o bien irradiarse.

La segunda fase terminó el día 19 de diciembre, casi 3 meses después de constatado el accidente.

La tercera fase, continúa hasta hoy y no se vislumbra plazo para acabar, puesto que los residuos generados en la descontaminación, se encuentran en un almacén intermedio, mientras se decide dónde y cómo disponerlos definitivamente.

CRONOLOGIA DEL ACCIDENTE:

Como se mencionó en la introducción, la fuente se encontraba en forma de cloruro de cesio, en un volumen de 31 cm³ y una masa de 93 gramos.

Hay distintas versiones sobre lo que ocurrió para precipitar el accidente, derivada de varias entrevistas con distintas personas. Aunque existen algunas inconsistencias en las versiones, la secuencia de eventos presentada es la descripción más acertada de los hechos. Los nombres de las personas involucradas, se presentan con sus iniciales.

10-13 Set.87. RA y su compañero WP lograron sustraer de la Clínica el cabezal del equipo, el cual es llevado a la casa de RA. Mediciones posteriores en la Clínica no detectaron ninguna contaminación, por lo que se presume que la fuente estaba intacta, no así ellos que estuvieron expuestos potencialmente en el momento de sacar el cabezal, ya que éste presentaba una tasa de dosis de 4.6 Gy/h a 1 metro. Ese mismo día ambas personas presentaron vómitos y ciertos malestares.

14 Set. WP presentó diarreas, malestar y una de las manos estaba hinchada (edema). Posteriormente tuvo quemaduras en dicha mano, lo cual concordaba con el hecho de haber sostenido el portafuente con la mano, enfrente del haz.

15 Set. WP buscó atención médica, y se le diagnosticó que esos síntomas eran una alergia causada por una mala comida.

18 Set. El cabezal fue dejado debajo de un árbol de mango en el patio de la casa RA. R, tratando de sacar el portafuente del cabezal, logró perforar la cápsula y parte del polvo se regó por el suelo, creyendo que se trataba de pólvora le prendió fuego.

Mediciones efectuadas el 2 de octubre, revelaron una tasa de dosis de 1.1 Gy/h a 1 metro del suelo, debido a la contaminación. Toda la casa de RA estaba ampliamente contaminada, así como el patio.

18 Set. Las piezas del portafuente fueron vendidas a DF, quien vivía cerca de la chatarrera que poseía. Siendo de noche DF notó cierto brillo azul que emanaba de la fuente, creyendo que se trataba de algo sobrenatural o de una piedra preciosa, se llevó la cápsula para la casa a fin de que sus amigos y vecinos observaran el fenómeno. Tanto DF como su esposa MF1 examinaron durante bastante tiempo el polvo de cloruro de cesio, MF1 recibió una dosis de 5.7 Gy para posteriormente fallecer. DF recibe 7 Gy, sin embargo sobrevive, posiblemente debido al hecho de que su dosis fue fraccionada.

21 Set. EF1, un amigo de DF, le visita y saca pequeños fragmentos de Cloruro de Cesio de la fuente y le regala a su hermano EF2 algunos de esos fragmentos, llevándose el resto para su casa. Lo mismo hizo DF, quien distribuyó fragmentos a su familia. Varias personas frotaron el polvo en su piel, debido a la luminosidad que tenía.

21-23 Set. MF1 tuvo vómitos y presentaba diarrea, luego de que se le examinó, se le diagnosticó una alergia debida a la mala alimentación y se le mandó reposo.

Su madre MA1 vino para cuidarla durante 2 días, luego retorna a su ciudad, cerca de Goicania. Se lleva consigo una cantidad significativa de contaminación. Ella tuvo una ingestión inicial de 10 MBq (270 uCi), a pesar de haber estado críticamente enferma, sobrevivió.

22-24 Set. Dos empleados de DF, IS y AS, con el objeto de quitar el plomo de cabezal, recibieron dosis de 4.5 Gy y 5.3 Gy respectivamente. Ambos mueren debido a que las exposiciones fueron agudas durante el tiempo que estuvieron trabajando en la fuente sin blindaje.

23 Set. WP fue internado en el hospital Santamaría y luego es enviado al Hospital de Molestias Tropicales.

24 Set. IF, el hermano de DF, llevó algunos fragmentos de la fuente a su casa (cerca de la chatarrera II). Pedazos de la fuente estuvieron sobre la mesa durante el almuerzo. Su hija de 6 años LF2, manipuló el Cloruro de Cesio mientras comía, así como el resto de la familia aunque en menor grado.

Posteriormente LF2 muere, teniendo una ingestión de 1GBq (27 nCi) y recibiendo una dosis estimada de 6 Gy.

25 Set. DF vende el plomo y las piezas del cabezal al propietario de la chatarrera II.

26 Set. KS junto con otra persona, se llevan el resto del equipo de la clínica IGR para la chatarrera II.

28 Set. MF1 con la ayuda de un empleado de la chatarrera I, GS, convencida de que el polvo luminoso de la cápsula era el responsable del malestar que presentaban los miembros de su familia, traslada el portafuente hasta la Oficina de Sanidad de dicho lugar.

La fuente fue transportada en autobus en una bolsa plástica durante un período de 20 minutos.

Una vez en esta oficina le comunica al Dr. PM, que éso estaba "matando a su familia". GS presentó una quemadura de radiación en su hombro y una dosis estimada en todo el cuerpo de 3Gy. La ingestión estimada fue de 100 MBq (2.7 nCi).

28 Set. El Dr. PM deja la pieza en la bolsa de plástico y la traslada al patio, dejándola sobre una silla.

MF1 y GS son enviados al Hospital de Molestias Tropicales, donde una gran cantidad de personas con diagnósticos similares estaban bajo tratamiento. Uno de los médicos empezó a sospechar que las lesiones recibidas por muchos de estos pacientes, se podrían deber a sobreexposiciones a las radiaciones.

28 Set. Ese mismo día se logra hacer contacto con el físico WF, quien estaba visitando Goiania.

29 Set. Se le pide a este físico que realice algunas mediciones en un embalaje sospechoso que se encuentra en la Oficina de Sanidad, con un detector de la Nuclebrás. El se encontraba realizando una prospección de Uranio en esa región. Al efectuar las mediciones su detector se salía de escala. Creyendo que el equipo estaba descalibrado o en mal estado, se regresa a Nuclebrás, a fin de cambiar el equipo.

Dos horas después, luego de haber comprobado que el contador estaba bien y utilizando otro contador, al cual mantiene conectado desde que sale de la Nuclebrás, constata que había una fuente intensa de radiación en la vecindad. Mientras tanto el Dr. PM había llamado a la brigada de incendios, con el fin de que éstos se hicieran cargo de la bolsa de plástico con el portafuente; ésta se pensaba lanzar al río. Afortunadamente esto fue impedido por WF al llegar justo a tiempo al lugar.

Una vez determinada la gravedad del accidente se toman las previsiones del caso. Se informa al Hospital de Molestias Tropicales de la contaminación y la exposición de pacientes tratados allí. Se puso en estado de alerta a los bomberos, la policía, las ambulancias y los hospitales.

Finalmente, se blindó la fuente, colocándola en un tubo prefabricado de 1.20 m. de diámetro y llenándolo de hormigón.

DETECCION DE FOCOS DE CONTAMINACION

Con el fin de averiguar la existencia de otros focos importantes de radiación en el lugar, se procedió a realizar un monitoreo, desde un helicóptero volando a 50 m. de altura con equipo utilizado en prospecciones geológicas. También se colocaron contadores en autos para detectar áreas secundarias de contaminación. Se encontró una importante vía de diseminación de contaminación, por medio de las resmas de papel de rezago que eran producidas en las chatarrera I y II. De este modo la contaminación llegó hasta ciudades 1000 kms distantes de Goiania.

Se encontró contaminación en 85 casas, de las cuales 41 tuvieron que ser evacuadas. Se encontró también contaminación en 45 locales en las calles, plaza y calzadas lejos de los focos principales, así como cerca de 50 vehículos presentaron niveles de contaminación importantes.

En los focos principales se verificó, que en la mayoría de los casas y edificios, los objetos en su interior y una capa superficial de suelo, debían ser removidos y considerados residuos radiactivos. También árboles y animales presentaban niveles de contaminación elevados.

En los locales llamados focos secundarios, la mayoría de los objetos, los pisos y el repello en las paredes, y gran parte de los animales (gallinas, patos y cerdos) estaban contaminados.

DESCONTAMINACION.

Los trabajos de descontaminación fueron los que más recursos exigieron, en un momento dado había cerca de 550 personas trabajando en Goiania, en estas labores. Este trabajo hubo de ser postergado hasta mediados de noviembre, debido a que primero se debía construir el almacén temporario para los residuos. Otro de los factores que influyó en el retraso fue la no existencia de tambores (estaciones) en Goiania, los cuales tuvieron que ser traídos desde Sao Paulo.

Focos secundarios: la descontaminación empezó por las residencias contaminadas alejadas de los focos principales. Los principales puntos de contaminación lo constituían los marcos de puertas y ventanas, los lavatorios y piezas del baño.

Una descontaminación a niveles aceptables de piezas y superficies fue en general alcanzada con el uso de ácido acético y con azul de Prusia (ferro-cianuro férrico).

Focos principales: estos focos presentaban niveles altos de dosis, algunas puertas tenían hasta 1.5 Sv/h, se necesitó de equipos especiales para la demolición de las casas y remoción de grandes cantidades de suelo contaminado. En algunos de los puntos hubo necesidad de remover el suelo hasta una profundidad de 1.5 m.

Gestión de los residuos de Goiania:

Se logró un acuerdo entre la Comisión Nacional de Energía Atómica de Brasil y el Gobierno de Goiás para almacenar los residuos durante 2 años. Posteriormente serán trasladados a otro repositorio definitivo. Este lugar se encuentra a 20 Kms de distancia de Goiania.

II. ACCIDENTES POR IRRADIADORES.

En las plantas de irradiación de alimentos se han presentado varios accidentes serios causados por la sobreexposición de los operarios a las fuentes radioactivas.

El siguiente es un resumen muy breve de como ocurrieron los hechos y las consecuencias derivadas de ellos.

A- Parsippany, New Jersey, USA: 13 Julio 1987

Fuente	Actividad (Ci)	Tiempo de Exposición	Dosis(Gy)
Co-60	120000	3-10 s.	1.85-4

Un operador entró sin usar procedimientos de seguridad el cuarto día que había trabajado de 10-12 horas diarias. No había sistemas automáticos que lo impidieran. Tras 6 semanas de hospitalización, el cuadro sanguíneo retornó a la normalidad. En enero de 1975, desarrolló hepatitis viral. Situación posterior desconocida.

B. Italia 13 de mayo 1975

Fuente	Actividad (Ci)	Tiempo de exposición	Dosis (Gy)
Co-60	30000	?	10

Un operador se subió a la cinta de transmisión para hacer un ajuste y la cinta lo arrastró bajo la unidad. Cuando su compañero lo oyó quejarse de un intenso dolor de cabeza, intentó sacarle, pero movió la cinta de transmisión hacia adelante en vez de hacia atrás, exponiendo todo su cuerpo a la fuente sin blindaje. Falleció 12 días después.

C- Rockaway, New Jersey, USA: 23 Sept. 1977

Fuente	Actividad Ci	Tiempo de Exposición	Dosis (Gy)
Co-60	500000	10 s.	1.5-3

Con todos los sistemas de seguridad bloqueados (por orden gerencial), un operario entró a arreglar la cinta de transmisión dentro de las salas de irradiación. Al notar "cosquilleo" en los brazos, salió inmediatamente.

D- Noruega: 23 Sept. 1982

Fuente	Actividad Ci	Tiempo de Exposición	Dosis (Gy)
Co-60	64000	?	10

La cinta de transmisión se atascó y las fuentes quedaron expuestas. Un microinterruptor en el círculo de indicación de la posición de la fuente falló y permitió que un operador entrara cuando el monitor de radiación ambiental estaba reparándose. El operador falleció 13 días después.

E- San Salvador, El Salvador: 5 Febrero 1989.

Una fuente se quedó atascada y un operador trató de colocarla en su lugar, como no puede, llama a dos compañeros más para que le ayuden.

Operador 1: dosis recibida 8.2 Gy, muere después de 190 días.

Operador 2: dosis recibida 3.6 Gy, no muere, se le amputan las 2 piernas.

Operador 3: dosis recibida 3 Gy, no muere.

III. ACCIDENTES MORTALES CON UNIDADES DE RADIOTERAPIA

Fallas Mecánicas:

<i>Fecha</i>	<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Problema</i>
Entre 1960 y 1970	AECL	Theratron-80	Falla el movimiento con aplicador de ascenso de la Fletcher mesa de tratamiento y la paciente muere aplastada
1987	AECL	El Dorado 6	Falla el engranaje del cabezal el cual desciende descontrolado y aplasta al paciente.

ACCIDENTES CON ACELERADORES LINEALES

Fallas Eléctricas.

Acelerador: AECL Therac 25

Fecha	Lugar	Dosis	Fallecimiento
?	Hamilton Ontario, Canadá	?	No
?	Yakima, Washington	?	No
3-6- 1985	Matarrieta, Georgia USA	?	No, atrofia brazo derecho
21-3- 1986	Tyler, Texas, USA	165-220	Después de 6 meses debido a absceso en cerebro
11-4- 1986	Tyler, Texas, USA	165-220	Después de 3 sema- nas debido a con- vulsiones epilépticas de gran mal.

Acelerador: Siemens

?	Texas, USA	?	Si
---	------------	---	----

IV. ACCIDENTES RADIOLOGICOS EN MEXICO.

El siguiente es un resumen de un trabajo de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias Mexicana, donde se describen los accidentes ocurridos entre 1979-1989. Las aplicaciones de las radiaciones ionizantes tienen diversos usos pero se ha encontrado que la gran mayoría de los accidentes provienen de la radiografía industrial (utilizando fuentes gamma de radiación).

Uso	Casos	Porcentaje
Medidores de nivel espesor o humedad	2	2.9%
Medicina	3	4.4%
Fuentes Móviles	61	88.4%
Otros	3	4.3%
	69	100%

Como se puede observar un 88% de los accidentes ocurrieron con fuentes de gamagrafía industrial. En gamagrafía industrial estamos utilizando una fuente de rayos gama para radiografiar equipo. El principio es el mismo de una radiografía solo que recordemos, un tubo de Rayos X emite radiaciones ionizantes solo cuando está encendido, mientras que en gamagrafía trabajamos con material radioactivo que en todo momento emite radiaciones ionizantes. Este material radioactivo se encuentra encapsulado en un buen blindaje para efectos de protección radiológica. Las principales causas de estos accidentes son: falta de entrenamiento al personal que maneja el equipo (37%), el técnico no se cerciona de que la fuente este bien guardada en su blindaje (17%), falta de mantenimiento del equipo (13%), detectores de radiación no funcionan correctamente (8%) y otro menores. Todos estos accidentes pueden minimizarse teniendo mejores prácticas de protección radiológica. Es importante recalcar que nuestro país no cuenta actualmente con fuentes de radiografía gama. Solo equipos generadores de rayos X.

V. ACCIDENTE EN EL REACTOR NUCLEAR DE CHERNOBYL, RUSIA.

El accidente ocurrido en Chernobyl el 26 de abril de 1986, se debió en su totalidad a fallas humanas. Los operadores del reactor nuclear querían probar la seguridad de la planta cuando todas las fuentes de poder fallaran. Ellos querían probar de que podrían obtener suficiente energía de las cuchillas rotatorias aún teniendo las turbinas apagadas y el generador de vapor desconectado. Desafortunadamente desconectaron el sistema de enfriamiento de emergencia del reactor 12 horas antes del accidente, esto bajo la seguridad del reactor notablemente. Cuando empieza su "experimento" y se dan cuenta que las cosas no resultan como esperaban, el operador al mando comete una serie de seis errores fatales seguidos. Se produce así una gran explosión que destruye las paredes y el techo del edificio #4 del reactor, a su vez comienza un gran incendio en la zona. Grandes cantidades de material radioactivo y materiales incendiados salen al medio ambiente dando comienzo a más fuegos en otras partes de la planta.

La planta nuclear tenía 444 trabajadores, la mayoría de ellos estaban a cubierto durmiendo pues eran la 1:23 am, lo mismo ocurrió con los pobladores de pueblos vecinos. Esto favoreció a que los niveles de radiación recibidos fueran menores. La mayoría de los trabajadores que se encontraban cerca sufrieron quemaduras térmicas y por radiación. Dos trabajadores murieron en el momento de la explosión por objetos que cayeron sobre ellos.

La señal de alarma automática se dispara en la estación de bomberos de Pripjat, a 12 millas de la central nuclear, 1 minuto después de ocurrido el accidente. También reciben posteriormente aviso telefónico. Se solicita refuerzos a la estación de bomberos de Chernobyl.

Ambas brigadas de emergencia, con un total de 30 hombres habían recibido entrenamiento para posibles accidentes dentro de la central y conocían los riesgos asociados. Pero no estaban preparados para un accidente de dicha magnitud. La planta nuclear tenía entre 5 y 10 bomberos propios .

Al llegar al sitio de la emergencia, es difícil decidir por donde se debe empezar. Finalmente se decide que el sitio con el peor fuego era la sala de turbinas, ellos no portaban dosímetros personales pero si se les avisa que las cantidades de radiación son altas en la sala, entran con mascarillas. Personal de las Brigadas de Emergencia describen como todo el edificio donde se encontraba el reactor en el edificio #4, parecía el cráter de un volcán.

Un bombero designado a apagar el fuego desde el techo de la sala de turbinas relata que su principal preocupación era conseguir agua y apagar el incendio y no los efectos a las radiaciones ionizantes. El comandante en jefe también relata como ellos tenían varios planes de emergencia pero ninguno de ellos se podía aplicar debido a la gravedad del accidente. Al edificio #4 del reactor se encontró que no se podía salvar, había así que procurar salvar los otros 3 edificios de la planta nuclear. La mayoría de los bomberos no tenía equipo especial de protección radiológica y al cabo de 2 horas y media 28 bomberos se encontraban muy enfermos debido a las radiaciones (dolor de cabeza, debilidad, vómitos, cansancio). Estos 28 bomberos fueron trasladados a un hospital especializado en tratamiento a sobreexpuestos.

A las 5 am. todos los fuegos habían sido extinguidos excepto los del edificio #4, ya habían llegado el área otros cuerpos de bomberos. Se establece una estación de mando donde se toman decisiones tanto políticas como técnicas. Durante el día, helicópteros sobrevuelan el reactor para estudiar la situación, se decide llenar al reactor "en llamas" con arena, barro, plomo, dolomita y boro. El día 6 de mayo la temperatura del reactor empieza finalmente a disminuir, para 10 de mayo 5500 toneladas de material cubrían el reactor. Se puede entonces enfriar las bases del reactor con nitrógeno líquido y remover el agua contaminada.

La primera ciudad en ser evacuada fue Pripyat (12 millas al noroeste) debido a los altos niveles de radiación en el medio ambiente. 40000 personas fueron evacuadas utilizando 2172 buses y 1786 camiones. La evacuación duró cerca de 4 horas. Luego siguieron 4 ciudades más: Chernobyl, Glinka, Zamostji y Bytja. Días después 26000 cabezas de ganado. Un total de 135000 personas fueron evacuadas.

Las principales problemas que enfrentaron las autoridades fue el proveer zapatos y ropas, pues las que llevaban los pobladores estaban contaminadas, también el proveer comida y alimentos libres de contaminación. Pero el problema más engorroso fue la "radiofobia" pues todos los evacuados decían estar enfermos por las radiaciones.

Se reportaron un total de 31 muertes, dos de ellas debido a la explosión inicial. Seis personas de los 31 pertenecían a los cuerpos de bomberos de Pripyat y Chernobyl, los restantes 25 trabajaban en el reactor. Un total de 309 personas fueron hospitalizadas debido a los efectos de las radiaciones, practicándoles transfusiones de sangre y dándoles antibióticos.

Para febrero de 1987, 90 de estos 309 estaban recuperados y trabajando normalmente. Otros 150 estaban fuera del hospital pero aún no trabajaban. Unos 40 fueron trasladados a centros de convalecencia y solo unos 20 permanecían en el hospital.

Aquellos que presentaban serias complicaciones debido a las radiaciones recibieron dosis superiores a los 100 rad. Veintidós personas fueron expuestas entre 600 y 1600 rad., todas ellas murieron. Veintitrés personas recibieron entre 400 y 600 rad y solo 7 murieron. Otros 158 recibieron entre 100 y 400 rad y solo 1 murió. Es importante recordar que en muchas de estas muertes las quemaduras juegan un papel importante. Cerca de 18000 personas fueron examinadas para ver si presentaban lesiones de radiación pero todas recibieron dosis menores a los 100 rad.

Los niveles de exposición en un radio de 20 millas eran entre 200 y 600 mR/hr hasta el 5 de mayo de 1986. La contaminación superficial era de 30 millones de bequerelios por metro cuadrado.

Las medidas para limpiar el área afectada fueron enormes, más de 100000 personas trabajaron en ellas. Más de 500 especialistas, físicos, biólogos, geólogos, y expertos en computación ayudaron en la parte intelectual del accidente. El 27 de febrero de 1987 se crea un instituto que estudiará los efectos a largo plazo de 80000 personas.

La ciudad de Pripjat es una ciudad deshabitada, se construyó una nueva ciudad. Cada familia recibió entre \$10500 y \$15000 dólares por daños. Doce mil edificios residenciales fueron construidos.

La Unión Soviética parece que manejó bastante bien el accidente, no tanto por su preparación hacia un accidente como este, sino por la gran cantidad de recursos con los cuales pudieron contar. Todas las consecuencias que del accidente de Chernobyl se deriven con el tiempo todavía se desconocen.