



Tema 7:

DAÑOS A LA SALUD Y LECCIONES APRENDIDAS DE INCIDENTES



7. DAÑOS A LA SALUD Y LECCIONES APRENDIDAS DE INCIDENTES

7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía



7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

Interacción de la Radiación con el Tejido Biológico

La radiación ionizante afecta al tejido biológico a través de dos mecanismos:

- ✓ **Ionización de las moléculas biológicas:**
 - Se libera un electrón y se genera una partícula con carga positiva (catión)
 - La ionización del agua forma radicales libres químicamente activos
 - Los radicales libres explican la mayor parte del daño porque el 70% del cuerpo humano es agua

- ✓ **Alteración del ADN de las células, con tres posibilidades:**
 - Algunas células son capaces de detectar y reparar el daño
 - Algunas células son incapaces de reparar el daño y mueren (apoptosis)
 - Algunas células sufren una mutación no letal del ADN que pasa a la siguiente división celular y contribuye a la formación de un cáncer



7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

Tipos de Efectos Biológicos y Cómo Prevenirlos

Los efectos biológicos producidos por la radiación se clasifican en Estocásticos y Deterministas:

✓ **Efectos Estocásticos:**

- No requieren una dosis umbral para su aparición
- Si se duplica la dosis de radiación, la probabilidad de que aparezca el efecto se multiplicará por dos
- Un ejemplo es la inducción de cáncer
- Para evitarlos se deben recibir dosis tan bajas como sea posible

✓ **Efectos Deterministas:**

- Se producen cuando la dosis de radiación supera un valor umbral determinado
- A partir del umbral, la gravedad del efecto aumentará con la dosis
- Ejemplos son esterilidad, caída de cabello, cataratas, eritema, quemaduras, etc.
- Para evitarlos se deben recibir dosis inferiores a los límites de dosis reglamentarios



7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

Daños a la Salud por Exposición Accidental

Si un trabajador recibe como consecuencia de un accidente radiológico dosis de radiación superiores a los límites establecidos legalmente, podría sufrir un daño de tipo determinista

- ✓ **La Gravedad del Daño** dependerá de:
 - **Valor de la dosis:** a mayor dosis, mayor gravedad
 - **Rapidez de exposición:** la misma dosis recibida en una sola exposición produce más daño que si se recibe fraccionada en un lapso mayor
 - **Tejidos y órganos afectados:** a mayor radiosensibilidad e importancia vital, mayor gravedad
 - **Extensión del órgano afectado:** a mayor porcentaje de órgano dañado, mayor gravedad, y más difícil su recuperación



7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

Daños a la Salud por Exposición Accidental

- ✓ **Síndrome Agudo de Radiación (SAR): conjunto de daños producidos por una irradiación que afecte a todo el cuerpo, con dosis superior a 1 Gy recibida en una exposición única**
 - Con dosis entre 0.8 y 1 Gy puede haber daños moderados pero el paciente no requerirá hospitalización y se recuperará en el 100% de los casos
 - En la tabla 1 se indican los daños producidos en un Síndrome Agudo de Radiación en función de la dosis absorbida

- ✓ **Radiolesiones localizadas: daños producidos por una irradiación que afecte a una parte del cuerpo que aunque pueda ser severa no implica un cuadro sistémico de SAR**
 - En la tabla 2 se indican los daños producidos por una irradiación localizada en función de la dosis absorbida
 - En la figura 1 se muestran fotos de un eritema producido en una mano

7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

Daños producidos en un Síndrome Agudo de Radiación

Dosis absorbida (Gy)	Sistema afectado	Daños producidos
1-8	Hematopoyético	Destrucción de la médula ósea
3	Cutáneo	Efectos locales
1	Gastrointestinal	10% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
2		33% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
3.5		66% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
6		95% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
9-10		100% de casos con vómitos, náuseas y diarreas
3.5 – 4.0	Varios	Sobreviven el 50% de casos
6	Respiratorio	Similares al “síndrome de dificultad respiratoria aguda”. Es intratable.
> 30	Nervioso central y cardiovascular	No hay supervivencia



7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

Daños producidos por una Irradiación Localizada

<u>Dosis absorbida (Gy)</u>	<u>Órgano afectado</u>	<u>Daños producidos</u>
0.15 – 3.50	Testículos	Esterilidad, de temporal a permanente, según la dosis
2.5 – 6.0	Ovarios	Esterilidad permanente
0.5	Médula ósea	Depresión del proceso de formación de células sanguíneas
2.0 – 6.0	Piel	Efectos según la dosis: enrojecimiento reversible (2.0), caída temporal del pelo (3.0 - 5.0), eritema o necrosis de piel (5.0 - 6.0)
3.0	Tracto Gastrointestinal	Vómitos



7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

Daños producidos por una Irradiación Localizada

- ✓ Si **un órgano** recibe una alta dosis de radiación, un porcentaje de sus células quedan dañadas, impidiendo que el órgano siga realizando su función
- ✓ Si se irradia la **médula ósea**, y se producen daños irreversibles a las células madre y precursoras que generan las células sanguíneas (linfocitos, leucocitos, hematíes y plaquetas), el efecto clínico serán infecciones, hemorragias y anemia
- ✓ Si se irradia **el intestino**, además de vómitos, náuseas y diarreas, se producirán infecciones porque se habrán dañado las células que impiden el paso de bacterias a la sangre

7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

Daños producidos por una Irradiación Localizada



Eritema producido en la mano de un trabajador que sufrió una Irradiación.

Tuvo que tomar analgésicos potentes hasta los 2 años siguientes a la exposición. Siguió experimentando fuerte dolor en las zonas más afectadas durante 4 años después. 142



7.1. Daños a la salud producidos por la radiación

Tratamiento de un Irradiado por Exposición Externa

En general, el **objetivo de los tratamientos** es **recuperar la función del órgano** deprimido y a la vez evitar o **controlar las complicaciones clínicas que ocasiona la falta de funcionamiento de dicho órgano**

Para **mejorar el diagnóstico y tratamiento posterior debe estimarse la dosis recibida por el trabajador**. El método más preciso de dosimetría biológica es la dosimetría citogenética que consiste en medir el porcentaje de aberraciones cromosómicas en los linfocitos de la sangre periférica, que es función de la dosis media absorbida



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

Bases de Datos de Incidentes en Radiografía Industrial

- ✓ **Principales bases de datos de incidentes ocurridos en radiografía industrial:**
 - Safety Reports Series nº 7, del Organismo Internacional de Energía Atómica
 - European ALARA Network, de la Comisión Europea
 - IRID: Ionising Radiations Incident Database, del Reino Unido

- ✓ **Para qué sirven las bases de datos de incidentes:**
 - Para recoger la mayor información posible de los incidentes
 - Analizar la información
 - Aplicarla en la mejora de la legislación
 - Darla a conocer a las instalaciones radiactivas para la mejora de los procedimientos de trabajo



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

Accidentes Más Graves en Gammagrafía

- ✓ **Tres casos conocidos que ocasionaron fallecimientos:**
 - Casablanca (Marruecos): 8 muertes
 - Setif (Argelia): 2 muertes, 8 amputaciones
 - Meet Halfa (Egipto): 2 muertes, 5 graves

- ✓ **Fallo común:** El porta-fuentes quedó en el suelo, el operador no lo supo porque no utilizó el monitor portátil para confirmar la posición de la fuente, y tiempo después un miembro del público cogió el porta-fuentes y se lo llevó sin saber lo que era

- ✓ **Principal lección aprendida:** Tras cada exposición, el operador debe usar el monitor de radiación para confirmar que la fuente ha quedado completamente blindada dentro del gammógrafo. Los equipos han de disponer de un sistema de recogida y bloqueo de la fuente en su posición de seguridad, que incorpore un sistema que informe de la posición de la fuente.



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

Incidentes Más Frecuentes con independencia del Equipo Utilizado

- ✓ **El operador permanece en una zona en la que se sobrepasan los niveles de radiación admisibles**
 - **Errores cometidos:** Mala planificación del trabajo, utilización incorrecta de los medios de protección tales como monitor de radiación, DLD, alarmas acústicas...
- ✓ **Se producen altos niveles de radiación al utilizar blindajes de espesor no calculado correctamente**
 - **Errores cometidos:** no tener en cuenta en el cálculo los efectos de dispersión de la radiación
- ✓ **Un miembro del público invade la zona de acceso prohibido en radiografía móvil o entra en el interior de un búnker durante una exposición**
 - **Errores cometidos:** no mantener un control de accesos eficaz durante todo el tiempo que duran los trabajos de radiografía, (funcionamiento incorrecto de los enclavamientos del bunker, estar utilizando un bunker sin enclavamientos de seguridad...)



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

Últimos incidentes ocurridos en España

Suceso catalogado como 3 en la escala INES (incidente importante con efectos para la salud del trabajador)

Un trabajador sufrió una **sobreexposición accidental**, con superación de límites de dosis permitida (718 mSv) , mientras realizaba operaciones de gammagrafía, debido al **uso de un búnker** de radiografiado **en condiciones de seguridad deficientes**. El trabajador permaneció 10 min. en el interior del bunker en exposición con una fuente de Co-60 de más de 50 Ci, sin percatarse de ello.

Errores cometidos:

- 1) **Seguridad del búnker:** El sistema de enclavamiento de la puerta de acceso por el laberinto y la señal luminosa exterior estaban fuera de servicio. Por lo tanto, se operó con sistemas averiados. Permaneciendo operativas las dos señales luminosas internas del búnker y un radiómetro en el acceso de laberinto que se había colocado adicionalmente mientras no venían a solucionar el problema
- 2) **Medidas personales:** El radiómetro y el dosímetro de lectura directa no funcionaron con normalidad, lo que hizo que el operario tardara en percatarse de la sobreexposición a la que se estaba sometiendo
- 3) **Operación:** Se han producido también varios fallos en el procedimiento de operación, como entrar en el búnker sin cortar la exposición y no verificar el funcionamiento de los equipos de protección radiológica, y no haber comunicado al supervisor los problemas de funcionamiento, para su sustitución.



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

Últimos incidentes ocurridos en España

Un trabajador presentó **lesiones en tres de los dedos de su mano derecha** como consecuencia de la exposición a la radiación emitida por una fuente radiactiva de Iridio-192.

Se encontraba realizando radiografías en el interior de un recinto blindado que no contaba con las medidas de seguridad requeridas para el equipo que estaba siendo utilizado.

Al acceder al recinto con el objetivo de cambiar el equipo de posición para realizar la siguiente radiografía, **desenroscó la manguera de salida del equipo y observó que la fuente había quedado unos centímetros fuera de su contenedor de blindaje al no haberse retirado hasta la posición de seguridad.**

No se percató de esa situación porque **no oyó la alarma acústica de su dosímetro de lectura directa**, ya que llevaba una protección auditiva para evitar el nivel de ruido en el exterior del recinto.

Errores cometidos:

- 1) **Seguridad del búnker:** utilización incorrecta ó mal funcionamiento de los sistemas de seguridad del bunker (enclavamientos, alarmas ópticas, alarmas acústicas);
- 2) **Medidas personales:** uso de protecciones auditivas incompatibles con la alarma acústica del DLD;
- 3) **Operación:** Mala planificación del trabajo; inexistencia del sistema de seguridad automático de la posición de la fuente y/o no giró el mecanismo del equipo a la posición de LOCK antes de quitar las mangueras; utilización incorrecta ó mal funcionamiento de los equipos de protección radiológica personal (dado que había mucho ruido, el operador debió entrar al bunker observando la pantalla de su DLD y Radiómetro portátil),



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

Incidentes más frecuentes con Gammágrafos

- ✓ Desenganche del porta-fuentes
- ✓ Atasco del porta-fuentes en algún punto de las mangueras
- ✓ Retracción incompleta de la fuente
- ✓ Olvido del operador de retraer la fuente al finalizar una exposición

Incidentes más frecuentes con equipos de rayos X

- ✓ El equipo radia en dirección incorrecta
- ✓ El generador de rayos X está activado cuando se supone que está apagado



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

Causas de los Accidentes

- ✓ **Incumplimiento de los procedimientos operativos**
- ✓ **Formación y Entrenamiento periódicos inadecuados**
- ✓ **Mantenimiento inadecuado**
- ✓ **Errores humanos**
- ✓ **Incumplimientos intencionados**
- ✓ **Mal funcionamiento o defecto del equipo**



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

- ✓ La **mayoría de los accidentes se habrían evitado** si el operador hubiera seguido unos procedimientos escritos de operación, adecuadamente redactados y si el equipo y equipamiento fueran adecuados y estuvieran bien mantenidos
- ✓ El procedimiento de operación crítico para evitar accidentes, o reducir las consecuencias si ya se ha producido, es que el operador **use el monitor portátil de radiación** tras cada exposición para confirmar la posición de la fuente o que el equipo de rayos X está apagado
- ✓ La **formación en seguridad** fue deficiente en la mayoría de los accidentes, tanto en formación inicial, así como en procedimientos de emergencia. Los operadores deben estar entrenados permanentemente y preparados para los accidentes



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

- ✓ Es imprescindible el **control del CSN** a la instalación radiactiva: evaluación, inspección y régimen sancionador
- ✓ El titular puede perder el control sobre el nivel de conocimientos y comportamiento de los operadores si no hace **sistemáticamente supervisiones, evalúa la formación y reentrena a los trabajadores**
- ✓ Si la instalación radiactiva tiene **mala “cultura de seguridad”**, es decir si las necesidades de producción u otros factores prevalecen, se degrada la seguridad



7.2. Lecciones aprendidas de incidentes en radiografía

Conclusiones

- ✓ **Los accidentes pueden tener graves consecuencias** para la salud del operador y la de otros trabajadores ajenos a la instalación radiactiva
- ✓ **El mantenimiento incompleto o defectuoso** del equipamiento ha sido el origen de fallos mecánicos que han ocasionado el 25% de los accidentes
- ✓ **El incumplimiento de los procedimientos de trabajo** o los errores cometidos por el operador han ocasionado el 75% de los accidentes
- ✓ En consecuencia, lo más importante para evitar accidentes en radiografía lo debe hacer **el operador**, siendo esencial que **no se confíe** porque ha hecho cientos o miles de radiografía y no ha tenido ningún accidente
- ✓ Un adecuado **mantenimiento** por parte del **Titular, de equipos, equipamiento y accesorios**, así como la adecuada **implantación de procedimientos** de trabajo por parte del **Supervisor** puede evitar accidentes

AUTORES

- ✓ Jesús Alegría Alonso – CSN
- ✓ Ignacio Blanco-Argibay - Servicontrol
- ✓ Elías S. Campanario Alonso – Servicontrol
- ✓ Francisco Javier Carballo Castro – Applus
- ✓ Blanca García Martín – SCI
- ✓ Javier Macías Maldonado - SCI
- ✓ Sergio Merelo de Barberá Roig – Applus
- ✓ María Pinos Cabezas – CSN
- ✓ M^a Emilia Rodrigo González – CSN



Marzo, 2009



FUENTES DE INFORMACION

- ✓ Reglamentación nuclear española
- ✓ Instrucciones técnicas del CSN
- ✓ Guías de seguridad del CSN, en especial la 5.14
- ✓ Reglamentos de Funcionamiento y Planes de Emergencia de las Instalaciones radiactivas de Applus, SCI y Servicontrol
- ✓ Manuales de operación e instrucciones técnicas de equipos de radiografía
- ✓ Safety Reports Series nº 7, del OIEA
- ✓ European ALARA Network, de la Comisión Europea
- ✓ IRID: Ionising Radiations Incident Database, del Reino Unido
- ✓ Textos del CIEMAT / CSN para la formación de Operadores y Supervisores