

MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS
EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES
EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO



HECTOR ALEJANDRO SÁNCHEZ PACHECO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ENFERMERÍA - MEDICINA
ESPECIALIZACIÓN EN SALUD OCUPACIONAL
BOGOTÁ D.C.
2008

MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS
EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES
EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO



HECTOR ALEJANDRO SANCHEZ PACHECO

Trabajo de grado presentado como
requisito parcial para optar al título de
Especialista en Salud Ocupacional

ASESOR:

CONSUELO GRANJA PALACIOS

Enfermera Especialista en Neurología y Salud ocupacional

DIRECTOR:

Dr. JAVIER HUMBERTO MARTINEZ POMBO.

MEDICO ESPECIALISTA EN SALUD OCUPACIONAL

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE ENFERMERÍA - MEDICINA
ESPECIALIZACIÓN EN SALUD OCUPACIONAL
BOGOTÁ D.C.

2008

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la resolución No 13 de julio de 1964

“La universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por que no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia.”

MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO

AUTOR: Héctor Alejandro Sánchez Pacheco
ASESOR Dr Javier Humberto Martínez Pombo
PALABRAS CLAVE: Radiaciones Ionizantes, efectos en la salud y medidas preventivas. (Radiation Ionizantes, health effects and preventive measures)

RESUMEN: El presente documento es una investigación de tipo revisión documental, realizado a partir de la búsqueda, análisis y selección de artículos científicos analíticos o descriptivos, extraídos de la literatura científica de mas reciente publicación relacionados con las radiaciones ionizantes, los efectos en la salud y las medidas preventivas en trabajadores que se encuentran expuestos a las radiaciones ionizantes, buscando conocer de manera puntual los efectos más frecuentemente asociados a la exposición y las medidas preventivas de las radiaciones ionizantes.

Los hallazgos del presente trabajo, reportan que los efectos asociados por exposición a radiaciones ionizantes producen: Aberraciones cromosómicas, apoptosis, inducción de mutaciones, inestabilidad genómica, cambios en la expresión de genes, translocaciones, las radiaciones ionizantes reducen a la mitad la concentración de esperma gonadal masculino, leucemia linfocítica crónica que parece ser impulsada, tanto por aberraciones funcionales en la función inmunológica, y por mutaciones somáticas que juega un papel causal en la etiología. Las Radiaciones Ionizantes producen alteraciones hereditarias que afectan a las vías de adhesión celular, la polaridad del epitelio, y la comunicación celular. Dentro de las medidas de control a nivel de las radiaciones ionizantes se incluyen: limitación del tiempo de exposición, utilización de pantallas o blindajes de protección, distancia a la fuente radiactiva.

Finalmente, la revisión documental respalda de manera sólida las políticas mundiales sobre el estricto control de la exposición en la industria y la medicina a las radiaciones ionizantes y deja abierta la inquietud sobre los efectos nocivos de las radiaciones aún desconocidos, e incentiva a descubrir nuevas alteraciones en la salud de la población mundial trabajadora en la industria y la medicina.

ABSTRACT: The present document is an investigation of type documentary review, realized from the search, analysis and selection of scientific articles analytical or descriptive, extracted from the scientific literature of more recent publication related to ionizing radiation, effects on the health and preventive measures on workers who are exposed to ionizing radiation, seeking to know in a timely manner the effects most commonly associated with exposure and preventive measures of ionizing radiation.

The findings of this study reported that the effects associated with exposure for ionizing radiation could produce: chromosomal aberrations, apoptosis, inducing mutations, genomic instability, changes in genetic expression, translocations; ionizing radiation to reduce by half the concentration of male gonadal sperm, Chronic lymphocytic leukemia which appears to be driven by functional aberrations in immune function and by somatic mutations that plays a causal role in the etiology. Ionizing radiation produces genetic defects that affect the pathways to cell adhesion, polarity epithelium, and cell communication. Within control measures at level of ionizing radiation it include: limiting the exposure time, use of screens or protective shields, distance from the radioactive source.

Finally, documentary review supports in a strong way the global policies on the strict control of exposure in industry and medicine from ionizing radiation and leaves open the concern about the harmful effects of ionizing radiation still unknown and encouraged to discover new changes in health of the world's population working in industry and medicine.

CONTENIDO

| | Pag |
|---|-----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 17 |
| 2. FORMULACION DEL PROBLEMA | 20 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 22 |
| 4. OBJETIVOS | 27 |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL | 27 |
| 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 27 |
| 5. PROPOSITOS | 28 |
| 6. MARCO TEÓRICO | 29 |
| 6.1 NOCIONES DE RADIOBIOLOGÍA BÁSICA | 29 |
| 6.1.1 Deposición de energía | 30 |
| 6.1.2 Efectos sobre el ADN. | 30 |
| 6.1.3 Efectos sobre los genes. | 30 |
| 6.1.4 Efectos sobre los cromosomas. | 31 |
| 6.1.5 Efectos sobre la supervivencia celular. | 31 |
| 6.1.6 Efectos sobre los tejidos. | 31 |
| 6.1.7 Ruptura de cadenas. | 32 |
| 6.1.8 Alteración de bases. | 32 |
| 6.1.9 Alteración de los azúcares. | 32 |

| | |
|---|----|
| 6.1.10 Otras lesiones. | 32 |
| 6.1.11 Unidades de medida: | 33 |
| 6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS | 35 |
| 6.2.1 Efectos determinísticos. | 36 |
| 6.2.2 Efectos determinísticos por sobreexposición de todo el cuerpo. | 37 |
| 6.2.3 Efectos determinísticos localizados. | 41 |
| 6.2.4 Efectos estocásticos | 47 |
| 6.3 EFECTOS HEREDITARIOS | 56 |
| 6.3.1 Evidencias directas de estudios en humanos: | 58 |
| 6.3.2 Estimación del riesgo genético. | 58 |
| 6.4 EFECTOS PRENATALES | 61 |
| 6.5 MARCO LEGAL | 62 |
| 6.6 MEDIDAS DE PREVENCIÓN | 71 |
| 6.6.1 Normas específicas de protección contra radiaciones ionizantes. | 71 |
| 6.6.2 Controles en la fuente | 72 |
| 6.6.3 Controles en el medio | 73 |
| 6.6.4 Controles en el trabajador | 74 |
| 7. METODOLOGÍA | 78 |
| 7.1 BUSQUEDA DE DOCUMENTOS | 78 |
| 7.2 SELECCIÓN DE DOCUMENTOS | 79 |

| | |
|---|----|
| 7.3. ANÁLISIS DE DOCUMENTOS | 82 |
| 8. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 83 |
| 8.1 DESCRIBIR LOS EFECTOS EN LA SALUD DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN ESTE GRUPO DE TRABAJADORES | 83 |
| 8.2 IDENTIFICAR LAS MEDIDAS DE CONTROL A NIVEL DE FUENTE - MEDIO Y DE ATENUACIÓN EN EL TRABAJADOR | 85 |
| 9. CONCLUSIONES | 89 |
| 9.1 SOBRE LOS EFECTOS CAUSADOS POR LA RADIACIÓN IONIZANTE. | 89 |
| 9.2 SOBRE LOS OBJETIVOS DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA. | 90 |
| 10. RECOMENDACIONES | 91 |
| 11. BIBLIOGRAFIA | 98 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pag |
|-------------------------------|-----|
| Figura 1. ADN Mutado o Dañado | 59 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pag |
|--|-----|
| Tabla 1. Principales fuentes de radiación ionizante | 33 |
| Tabla 2. Equivalencias | 34 |
| Tabla 3. Clasificación de los tipos de efectos biológicos estocásticos/deterministas y somáticos/genéticos | 36 |
| Tabla 4. Relación entre manifestaciones clínicas y dosis | 37 |
| Tabla 5. Dosis de Radiación, Valores comparativos | 38 |
| Tabla 6. Legislación Colombiana sobre Radiaciones Ionizantes | 63 |
| Tabla 7. Clasificación y límites de dosis para los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes en Colombia, según la resolución 2400 de 1979 | 70 |
| Tabla 8. Clasificación y límites de dosis para los trabajadores expuestos | 70 |
| Tabla 9. Límites de dosis para la exposición de la población | 71 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 10. | Clasificación de estudios | 79 |
| Tabla 11. | Documentos Seleccionados | 80 |
| Tabla 12. | Relación de limitación del tiempo de exposición | 87 |
| Tabla 13. | Medidas preventivas a nivel de seguimiento biológico y uso de dosímetro | 87 |
| Tabla 14. | Medidas preventivas a nivel de uso de elementos de protección personal | 87 |
| Tabla 15. | Medidas preventivas a nivel de barreras de protección | 88 |
| Tabla 16. | Medidas preventivas a nivel de Fortalecer distancia de trabajo y Limitación de la dosis recibida | 88 |
| Tabla 17. | Medidas preventivas en la fuente, medio y atenuación del trabajador | 91 |
| Tabla 18. | Intervención en la fuente, medio y atenuación del trabajador | 96 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | Pag |
|-----------------------------|-----|
| Imagen 1. Lesiones oculares | 5 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | Pag |
|---|-----|
| Grafica 1. Efectos de las Radiaciones Ionizantes vs cantidad de investigaciones encontradas | 84 |
| Grafica 2. Medidas preventivas para las radiaciones ionizantes vs cantidad de investigaciones encontradas | 86 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | Pag |
|--|-----|
| Anexo 1. Fichas descriptivas Analíticas | 102 |
| Anexo 2. Señales empleadas para la identificación de zonas según sus riesgos | 129 |
| Anexo 3. Resolución No. 18 0208 de febrero 25 de 2005 | 131 |
| Anexo 4. Glosario | 139 |

1. INTRODUCCIÓN

Como muchos otros agentes físicos, químicos y biológicos, las radiaciones ionizantes y en particular los rayos X, son capaces de producir daño orgánico. La radiación interacciona con los átomos de la materia viva, provocando en ellos principalmente el fenómeno de ionización dando lugar a cambios importantes en células, tejidos, órganos, y en el individuo en su totalidad o su descendencia. El tipo y la magnitud del daño dependen de la clase de radiación, de su energía, de la dosis absorbida (energía depositada), y del tiempo de exposición.

Así como en cualquier otro tipo de lesión, este daño orgánico en ciertos casos puede recuperarse. Esto dependerá de la severidad del caso, de la parte afectada, y del poder de recuperación de individuo. En lo posible recuperación, la edad y el estado general de salud del individuo serán factores importantes.

La rapidez con la cual se absorbe la radiación es importante en la determinación de los efectos, una dosis dada producirá menos efecto si se suministra fraccionada, en un lapso mayor, que si se aplica en una sola exposición. Esto se debe al poder de restauración del organismo; sin embargo hay que tomar en cuenta que esta recuperación no es total y siempre queda un daño acumulativo.

Los efectos pueden ser la consecuencia de exposición ocupacional. La detección precoz de determinados síntomas y signos, la identificación de factores de riesgo concomitantes, facilita una adecuada y temprana intervención de forma que se prevenga la aparición de ciertas patologías. También evita que se pueda agravar patología previamente existente y se implementen medidas de prevención en trabajadores ocupacionalmente expuesto.

En el campo de la salud las radiaciones se usan para el diagnóstico por la capacidad de permitir ver órganos y estructuras sin necesidad de recurrir a la cirugía, así como para el tratamiento de enfermedades, por la capacidad de la radiación intensa para destruir células. Los rayos X penetran en el cuerpo, produciendo una semisombra que contiene áreas más claras y más oscuras que permiten ver la imagen de los órganos internos, que luego se interpreta para el diagnóstico.

Sin embargo, tal utilización conlleva riesgos para el hombre, por lo que su uso debe estar regido por medidas de protección, que aseguren un balance entre el beneficio y los riesgos, eliminando estos últimos para el personal ocupacionalmente expuesto. Es necesario limitar los efectos en esta actividad, en particular en el manejo de las fuentes de rayos X.

Desde 1928 existe un organismo internacional de reconocido prestigio – la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICPR), que se preocupa de emitir una serie de recomendaciones, basadas en los más recientes conocimientos científicos sobre los efectos de la radiación, para orientar a las autoridades encargadas en cada país de la regulación y control en materia de seguridad nuclear y protección radiológica. Sus recomendaciones están actualmente incorporadas en España en los Reglamentos sobre Instalaciones nucleares y radiactivas (MINER, 1999) y sobre Protección Radiológica (MINECO, 2000).¹

En Colombia existe una gran variedad de aplicaciones de las radiaciones ionizantes, como las usadas en salud (radioterapia, medicina nuclear, radiodiagnóstico).

¹ Gallego D. Eduardo, Riesgos por exposición a radiaciones Ionizantes, Departamento de Ingeniería Nuclear. Madrid

Con el fin de minimizar las dosis de radiación, teniendo en cuenta los aspectos económicos y sociales, debemos acudir a una serie de normas y reglamentaciones, que de manera clara y unificada, ayuden a controlar este riesgo y a la conservación de las generaciones presente y futura.

La experiencia lograda durante muchos años por científicos de todo el mundo ha demostrado que en cualquier institución donde se utilizan fuentes de radiaciones ionizantes, se pueden mantener niveles de exposición considerablemente más bajos que los denominados "Límites Primarios de Dosis".

De las observaciones de los daños producidos por las radiaciones, surge la necesidad de protección y aparecen las primeras recomendaciones internacionales en 1931. Con base en estos conocimientos tanto de los posibles daños como de las medidas de protección ya probadas, es conveniente que las instituciones que usan radiaciones ionizantes, establezcan unas medidas para el control de este factor de riesgo.

La presente investigación se realizó a través de una revisión documental, tiene como propósitos determinar las medidas de prevención de las radiaciones ionizantes. Uno de los motivos es la no utilizan los elementos de protección personal, llama la atención que muchos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes, no utilizan de los elementos de protección personal de forma adecuada, aumentando la probabilidad de daño a la salud. De esta manera se pretende determinar las medidas de prevención para evitar efectos en la salud de trabajadores ocupacionalmente expuestos, motivando al lector a conocer pautas preventivas construyendo material de consulta para profesionales, técnicos y especialistas con la finalidad de desarrollar nuevas pautas para investigaciones específicamente en diseños de protocolos a nivel del sector salud y salud ocupacional.

2. FORMULACION DEL PROBLEMA

La utilización de las radiaciones en medicina, con fines terapéuticos o de diagnóstico, constituye sin duda uno de los aspectos más destacados del beneficio que éstas suponen para la Humanidad,² pero en su desarrollo también se causaron exposiciones a los trabajadores ocupacionalmente expuestos, que en la actualidad serían injustificables, provocando en ciertos casos el desarrollo de daños atribuibles a la radiación recibida.

Toda esa experiencia negativa sin duda ha ido creando en el subconsciente colectivo una idea deformada sobre la radiación y la radiactividad, que se perciben como intrínsecamente peligrosas, con independencia del tipo de radiación, de la cantidad recibida o del motivo por el que se reciba. Además, a nivel popular, suele desconocerse que radiación y radiactividad forman parte de la Naturaleza y de nuestro propio cuerpo, siendo vistas en general como un nefasto invento del Hombre. Sin embargo, la radiactividad es uno de los grandes descubrimientos del hombre contemporáneo, y a la par que se fueron conociendo sus efectos, también se fueron encontrando aplicaciones de gran utilidad, en las que las sustancias radiactivas o los aparatos emisores de radiaciones ionizantes resultan insustituibles: además de la medicina, la agricultura, la industria, las ciencias de la tierra, la biología y otras muchas ramas dependen hoy en día en muchos aspectos de su utilización.

Las radiaciones ionizantes pasan desapercibidas y como “no se sienten” en el momento de su interacción con el ser viviente, generan una falsa sensación de seguridad.

² Hasleton PS. Spencer` s Pathology of the lung. 5th Ed. McGraw Hill Co NY 1996

Esta revisión presenta la naturaleza de la radiación ionizante y los efectos que causa sobre la materia y en particular los tejidos vivos, los medios disponibles para su detección y las medidas de prevención para evitar efectos en la salud a nivel ocupacional, así como las diferentes fuentes de radiaciones, naturales y artificiales, a las que los seres humanos estamos expuestos. A consecuencia de todo ello, es necesario protegerse adecuadamente, para evitar sufrir daños en los trabajadores ocupacionalmente expuestos, pero sin limitar innecesariamente la utilización beneficiosa que se puede hacer de la radiación y las sustancias radiactivas en numerosos ámbitos.

De acuerdo a lo anteriormente descrito, sería necesario conocer la historia natural de las enfermedades producidas por radiaciones ionizantes y desde el enfoque ocupacional realizar las siguientes preguntas:

¿Cuáles medidas de prevención para evitar efectos en la salud por exposición a radiaciones ionizantes en los trabajadores del sector sanitario?

3. JUSTIFICACIÓN

El riesgo de cáncer entre los médicos y otras personas expuestas a las radiaciones ionizantes en el lugar de trabajo ha sido objeto de estudio desde la década de 1940, cuando el aumento de la mortalidad de leucemia se informó entre los radiólogos en comparación a la mortalidad, entre otros especialistas médicos (marzo de 1944; Dublín y Spiegelman 1948). Un amplio estudio de cohortes retrospectivo (Tribunal Brown y Doll 1958) confirmó los informes anteriores y también tomó nota de exceso de mortalidad de otros cánceres. Desde entonces, numerosos estudios han examinado la mortalidad y la incidencia de cáncer de diversos grupos ocupacionalmente expuestos, en medicina (radiólogos y técnicos radiológicos), medicina nuclear, los especialistas (los dentistas y los higienistas), industria (nuclear y radioquímica industrias, así como otros sectores radiografía industrial se utiliza para evaluar la solidez de los materiales y estructuras), defensa, investigación, e incluso el transporte (tripulaciones de líneas aéreas, así como los trabajadores que participan en el mantenimiento o la explotación de energía nuclear buques). El tipo de exposición a la radiación ionizante varía entre ocupaciones, con diferentes contribuciones de fotones, neutrones, y α y β -partículas.

Estudios de las poblaciones con la exposición a las radiaciones profesionales son de importancia para la protección contra las radiaciones en la mayoría de los trabajadores que han recibido prolongadas de bajo nivel de exposición (un tipo de exposición de gran importancia para la protección radiológica del público y de los trabajadores). Además, los estudios de algunos grupos ocupacionalmente expuestos, en particular en la industria nuclear, son muy adecuadas para la estimación directa de los efectos de dosis bajas y bajas tasas de dosis de radiación ionizante (Cardis y otros 2000) por la siguiente razón: un gran número de

trabajadores han sido empleados en esta industria desde sus inicios a principios de los años a mediados de 1940 (más de 1 millón de trabajadores en todo el mundo); estas poblaciones son relativamente estables, y por derecho, individual seguimiento en tiempo real de personal que puedan verse expuestas se ha llevado a cabo en la mayoría de países con el uso de dosímetros personales (al menos para exteriores de mayor exposición a la energía) y las mediciones se han mantenido.

La utilidad de los análisis externos que participen grupos de comparación es limitada debido al "efecto trabajador sano" a menudo se encuentran en muchos profesionales cohortes (Howe y otros 1988; Carpenter y otros 1990). Estudios de casos y controles de determinados cánceres en los estudios de cohortes incluyendo melanoma (Austin y Reynolds 1997; Moore y otros 1997); leucemia (Stern y otros 1986); el cáncer de próstata (Rooney y otros 1993), y el cáncer de pulmón (Rinsky y otros 1988; Petersen y otros 1990) no están incluidos.

Los primeros estudios de los patrones de mortalidad entre los radiólogos y otros médicos especialistas producido una sugerencia de un exceso de riesgo de determinados cánceres. El exceso de mortalidad por leucemia y linfoma, especialmente el mieloma múltiple, y también de piel, pulmón, páncreas, próstata y cáncer (por ejemplo, Matanoski y otros 1975a, 1975b; Doll y Smith 1981; Logue y otros 1986; Wang y otros 1988) han sido sugerido, aunque los resultados no son consistentes entre los estudios de todos los cánceres. Matanoski y colegas (1987) informó de mayor mortalidad global y el aumento de la mortalidad por cáncer en los radiólogos en comparación con otros especialistas con menores riesgos esperados.

Andersson y colaboradores (1991) estudiaron el riesgo de cáncer entre el personal de dos departamentos de radioterapia en Dinamarca. El promedio de dosis de radiación acumulada fue 18,4 mSv, aunque el 63% de las personas habían dosis

<5 mSv. Se prevé que el número de cánceres se calcula utilizando las tasas de incidencia de cáncer del Registro de Cáncer Danés. En general, el riesgo relativo fue 1,07 (95% CI 0,91, 1,25) para todos los cánceres, y no significativa dosis-respuesta se observó. Los riesgos para los cánceres que se consideran sensibles las radiaciones no son elevados.

Berrington y colegas (2001) informaron los resultados de 100 años de seguimiento de British radiólogos que registrarse ante una sociedad radiológica entre 1897 y 1979 y que fueron seguidos hasta el 1 de enero de 1997. Un aumento progresivo se observó para el cáncer con el número de años transcurridos desde la primera matriculación. Parece ser que el exceso de riesgo de mortalidad por cáncer en el período de más de 40 años después de la primera inscripción es probablemente un efecto a largo plazo de la exposición a las radiaciones para los radiólogos registrar entre 1921 y 1954. Radiólogos cuyo primer registro fue después de 1954 demostraron ningún aumento en la mortalidad por cáncer, posiblemente debido a su menor exposición a la radiación global.

Los estudios epidemiológicos de la radiación y los trabajadores de otras personas expuestas a las radiaciones ionizantes en el lugar de trabajo comenzó a finales del decenio de 1950 con el estudio de British radiólogos. Desde entonces, numerosos estudios han examinado la mortalidad y la incidencia de cáncer de diversos grupos ocupacionalmente expuestos en la medicina, industria, defensa, la investigación y la aviación.

En algunos estudios, como los de radiólogos y demás personal médico, la falta de las estimaciones de las dosis individuales es una limitación importante, como es la falta de un adecuado grupo de comparación.

En Colombia, los estudios de relación entre enfermedades ocupacionales por radiaciones ionizantes son escasos, incluso, dentro del marco legal no se hace un

reconocimiento expreso de la relación que puede existir entre las causas ocupacionales y una eventual enfermedad ocupacional.

Razones que justificaron la pregunta que permitió reconocer la asociación que existe entre la exposición a radiaciones ionizantes con las condiciones laborales y sus efectos en la salud, haciendo hincapié en los trabajadores del sector sanitario.

Las Radiaciones ionizantes en el sector salud constituyen un factor importante en el diagnóstico y tratamiento de ciertas afecciones. Se sabe que el efecto fundamental de la interacción de las radiaciones con la materia es un fenómeno de ionización. La partícula ionizada transporta energía cinética que se agota a lo largo de su trayecto en la materia viva. Una radiación ionizante será tanto más peligrosa cuando ofrezca un poder de penetración muy importante. El conocimiento de las propiedades de las radiaciones permite hacerse una idea de sus efectos posibles sobre la materia viva.³

Con la revisión bibliográfica de artículos relacionados con Radiaciones Ionizantes como enfermedad ocupacional, se busca identificar aspectos relacionados con medidas preventivas para disminuir el riesgo a trabajadores ocupacionalmente expuestos. Como riesgo ocupacional puede afectar con mayor frecuencia a la población económicamente activa reduciendo su capacidad de producción y aumentando incapacidades derivadas por enfermedad ocupacional. Los sistemas de salud no han priorizado en forma adecuada sus sistemas de vigilancia para identificar factores de riesgo derivados por las radiaciones ionizantes e implementar en éstas programas para el control del riesgo.

Por tanto se pretende facilitar una orientación para la toma de decisiones a todos los niveles, desde los problemas simples cotidianos de carácter operacional hasta los análisis fundamentales del diseño de instalaciones de diferentes tipos y debería aplicarse en todas las esferas de la protección radiológica ocupacional, en

³ Hasleton PS. Spencer's Pathology of the lung. 5th Ed. McGraw Hill Co NY 1996.

el sector salud⁴. Además permite implementar las medidas necesarias para garantizar la seguridad radiológica, del personal ocupacionalmente expuesto, identificar las condiciones bajo las cuales pudieran ocurrir exposiciones potenciales que afecte la salud de los trabajadores, asegurando que los procesos apropiados sean seguidos sin excepción.

La exposición ocupacional a radiaciones ionizantes, en condiciones normales de trabajo, se caracteriza por dosis muy bajas, este trabajo permite identificar problemas y establecer relaciones que derivan del proceso salud-enfermedad, condición indispensable para modificar las situaciones que determinen estos problemas. Por lo antes expuesto y con el objetivo de preservar la salud y evitar la aparición de enfermedades ocupacionales de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, se plantea el presente estudio de investigación. Además, se pretende respaldar con pruebas científicas la reglamentación Colombiana del manejo de materiales radiactivos respaldado con la resolución N° 180208 de 2004, incentivar y sensibilizar los gobiernos locales en vía de desarrollo para que promulguen por legislaciones fuertes y contundentes que restrinjan y controlen adecuadamente los riesgos a los que se exponen los trabajadores a las radiaciones ionizantes. También, se busca estimular activamente la búsqueda continua de efectos aun no conocidos en la salud por exposición por la comunidad científica, propender por la búsqueda de nuevos y mas eficaces métodos de protección que hagan del trabajo con radiaciones ionizantes una actividad cada día mas segura.

De esta manera, este estudio aporta información que puede ser útil a los especialistas en Salud Ocupacional en el diseño de programas de vigilancia epidemiológica que procuren el mejoramiento de las condiciones de salud de la población trabajadora y las condiciones organizacionales.

⁴ Organismo Internacional de energía Atómica, Optimización de la protección radiológica en el control de la Exposición Ocupacional, Colección de Informes de seguridad N° 21.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las medidas de prevención para evitar efectos en la salud por exposición a radiaciones ionizantes en los trabajadores del sector sanitario.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los efectos en la salud de las radiaciones ionizantes.
- Identificar las medidas de control a nivel de fuente, medio y de atenuación en el trabajador.

5. PROPOSITOS

- Sensibilizar a los especialistas en salud ocupacional y a los empleadores del sector de la salud acerca de la importancia de implementar sistemas de vigilancia epidemiológica de protección radiológica, con el fin de prevenir y controlar la presencia de enfermedades profesionales, causadas por la exposición a radiaciones ionizantes.

- Suministrar información basada en la evidencia a los profesionales y técnicos, acerca de los riesgos que implican la exposición a las radiaciones ionizantes, con el fin de incentivar la adopción de nuevas y mejores estrategias de prevención del riesgo.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 NOCIONES DE RADIOBIOLOGÍA BÁSICA

El núcleo celular es la estructura sensitiva de la célula. En el núcleo se almacena la información genética dentro de la molécula de DNA. De ningún modo quiere decir esto que fuera del núcleo no haya otras estructuras celulares sensibles a los efectos radioinducidos. Tal el caso de organelas vinculadas con el metabolismo aerobio, así como el sistema de endomembranas y la membrana celular. El tiempo entre 2 eventos ionizantes es importante porque es el intervalo en el cual la célula puede poner en marcha mecanismos de reparación o de adaptación a la injuria. Esto es, a mayor tiempo entre dos eventos subletales más probabilidad de recuperación del daño.

Cuando la radiación causa excitación o ionización en un sistema biológico, en particular en el nivel de moléculas críticas, la modificación de ese sistema es por acción directa de la energía entregada (*efecto directo*). Pero hay que considerar que los sistemas biológicos son sistemas esencialmente acuosos, de modo que la energía absorbida en ese volumen de agua generará moléculas intermediarias con gran reactividad química (radicales libres: R.), dando lugar a los mecanismos secundarios de daño (*efectos indirectos*), predominantes en las exposiciones a radiación de baja transferencia lineal de energía (Bajo LET). En el caso de radiación de Alto LET, predominan los mecanismos directos.

Una irradiación puede entrañar distintos tipos de lesiones según el componente de la molécula de ADN que ha alcanzado:

6.1.1 Deposición de energía. A diferencia de otras formas de radiación, la radiación ionizante es capaz de depositar suficiente energía localizada para arrancar electrones de los átomos con los que interactúa.

Así, cuando la radiación colisiona al azar con átomos y moléculas al atravesar células vivas, da lugar a iones y radicales libres que rompen los enlaces químicos y provoca otros cambios moleculares que dañan las células afectadas. La distribución espacial de los fenómenos ionizantes depende del factor de ponderación radiológica, w_R de la radiación.

6.1.2 Efectos sobre el ADN. Cualquier molécula de la célula puede ser alterada por la radiación, pero el ADN es el blanco biológico más crítico, debido a la redundancia limitada de la información genética que contiene. Una dosis absorbida de radiación lo bastante grande para matar la célula media en división —2 gray (Gy)— basta para originar centenares de lesiones en sus moléculas de ADN (Ward 1988). La mayoría de estas lesiones son reparables, pero las producidas por una radiación ionizante concentrada (por ejemplo, un protón o una partícula alfa) son en general menos reparables que las generadas por una radiación ionizante dispersada (por ejemplo, un rayo X o un rayo gamma) (Goodhead 1988). Por lo tanto, las radiaciones ionizantes concentradas (alta TLE) tienen por lo común un mayor efecto biológico relativo (EBR) que las radiaciones ionizantes dispersadas (baja TLE) en casi todas las formas de lesión (CIPR 1991).

6.1.3 Efectos sobre los genes. El daño del ADN que queda sin reparar o es mal reparado puede manifestarse en forma de mutaciones, cuya frecuencia parece aumentar como una función lineal de la dosis, sin umbral, en alrededor de 10^{-5} a 10^{-6} por locus y por Gy (NAS 1990). El hecho de que la tasa de mutaciones parezca ser proporcional a la dosis se considera indicativo de que una sola partícula ionizante que atravesase el ADN es suficiente, en principio, para causar una mutación (NAS 1990). En las víctimas del accidente de Chernóbil, la relación

dosis-respuesta de las mutaciones de la glicoforina de células de la médula ósea es muy similar a la observada en supervivientes de la bomba atómica (Jensen, Langlois y Bigbee 1995).

6.1.4 Efectos sobre los cromosomas. Las lesiones por radiación del aparato genético pueden causar también cambios en el número y la estructura de los cromosomas, modificaciones cuya frecuencia se ha observado que aumenta con la dosis en trabajadores expuestos, en supervivientes de la bomba atómica y en otras personas expuestas a la radiación ionizante. La relación dosis-respuesta para las aberraciones cromosómicas en linfocitos de sangre humana, se ha determinado con bastante exactitud, de manera que la frecuencia de aberraciones en esas células puede servir de dosímetro biológico útil (OIEA 1986).

6.1.5 Efectos sobre la supervivencia celular. Entre las reacciones más tempranas a la irradiación figura la inhibición de la división celular, que aparece en seguida tras la exposición, aunque su grado y duración varían con la dosis. Si bien la inhibición de la mitosis es característicamente pasajera, la lesión radiológica de genes y cromosomas puede ser letal para las células en división, que en conjunto son muy sensibles a la radiación (CIPR 1984). Medida en términos de capacidad proliferativa, la supervivencia de las células en división tiende a disminuir exponencialmente con el aumento de la dosis, de manera que 1-2 Gy bastan por lo general para reducir la población superviviente en alrededor del 50 %.

6.1.6 Efectos sobre los tejidos. Las células maduras que no están en división son relativamente radiorresistentes, pero las que se dividen dentro de un tejido son radiosensibles, por lo que la irradiación intensiva puede matar un número suficiente para que el tejido se atrofie. La rapidez de esta atrofia depende de la dinámica de la población celular dentro del tejido afectado; es decir, en órganos caracterizados por un recambio celular lento, como el hígado y el endotelio vascular, el proceso es típicamente mucho más lento que en órganos

caracterizados por un recambio celular rápido, como la médula ósea, la epidermis y la mucosa intestinal (CIPR 1984). Por otra parte, conviene subrayar que si el volumen de tejido irradiado es lo bastante pequeño, o si la dosis se acumula con la lentitud suficiente, la gravedad de la lesión puede reducirse notablemente por la proliferación compensatoria de las células supervivientes.

6.1.7 Ruptura de cadenas. Las rupturas pueden ser simples o dobles. Las simples pueden sobrevenir a nivel de la unión fosfodiéster entre el fosfato y la desoxirribosa (azúcar) con más frecuencia, aunque también sobre la ligadura base-desoxirribosa. Una ruptura doble es la pérdida de continuidad de dos cadenas de ADN, a niveles distantes a menos de 3 bases nucleotídicas promedio. Se denominan homólogas si se producen a nivel del mismo par de bases complementarias. Las rupturas dobles heterólogas son las más frecuentes.

6.1.8 Alteración de bases. Las bases pueden ser destruidas o parcialmente modificadas. Sufren sobre todo hidroxilación (por radical hidroxilo OH) con formación de hidroperóxidos.

6.1.9 Alteración de los azúcares. Los azúcares son oxidados y luego hidrolizados con liberación de la base.

6.1.10 Otras lesiones. Pueden formarse distintos tipos de puentes entre las cadenas (cross links) o formación de dímeros. Existen en la célula mecanismos de reparación del daño radioinducido.⁵

Las radiaciones ionizantes son las ondas electromagnéticas más energéticas. En el espectro, van desde las partes más altas de la radiación ultravioleta hasta la radiación gamma. Las más comunes son:

⁵ Mettler, FA, AC Upton. 1995. *Medical Effects of Ionizing Radiation*. Nueva York: Grune & Stratton

- Partículas alfa (α) (el núcleo atómico del helio): No pueden atravesar la piel, sin embargo poseen una gran cantidad de energía. Los materiales radiactivos que las emiten son sólo peligrosos si logran penetrar en el cuerpo (exposición interna) por vía respiratoria, digestiva o a través de heridas en la piel.
- Partículas beta (β) (electrones): Tienen mayor poder de penetración, hasta 1 ó 2 cm por debajo de la piel. El mayor peligro es también la introducción en el organismo de los elementos radiactivos que las emiten.
- Radiación gamma (γ) y rayos X (radiaciones electromagnéticas similares a la luz): Tienen gran poder de penetración, por lo que el peligro está en la mera exposición externa.

Tabla 1. Principales fuentes de radiación ionizante (International Atomic Energy Agency. Radiation Protection in Occupational Health. Manual for Occupational Physicians).

| RADIACION | AREA | FUENTE |
|--------------|--------------|--|
| NATURALES | | Radiación solar |
| | | Radiación de las estrellas |
| | | Radiación terrestre |
| ARTIFICIALES | MEDICAS | Aparatos de rayos X |
| | | Aceleradores de partículas |
| | | Cobaltoterapia |
| | | Curiterapia |
| | INDUSTRIALES | Radioterapia |
| | | Radiografía y gammagrafía |
| | | Medidores de nivel, grosor y humedad |
| | | Eliminar la electricidad estática. |
| | | Radioluminiscencia |
| | | Trazadores |
| | | Instalaciones nucleares e industria conexas. |

6.1.11 Unidades de medida: La cantidad de energía de la radiación que es absorbida por el cuerpo se denomina dosis absorbida y se mide en Grays (Gy).

Dependiendo del tipo de radiación y otros factores de tipo biológico el daño puede ser diferente, con lo que al tener en cuenta estos factores se hablará de dosis equivalente, que se mide en Sievert (Sv).

Si se pretende valorar la exposición de un solo órgano del cuerpo y dado que la vulnerabilidad de cada uno es diferente, la dosis equivalente deberá ser corregida por un factor de ponderación de cada tejido, resultando así la dosis equivalente efectiva, que también se mide en Sievert.

El Sievert, es una unidad muy grande con relación a los límites de exposición permitidos (legislación española: 0,05 Sv para exposición profesional), por lo que la medida más utilizada es el milisievert (mSv).

Un milisievert equivale a:

- 50 veces la dosis recibida por una placa de rayos X.
- La mitad de la dosis anual media recibida por un individuo, procedente de fuentes naturales.
- 50 veces la dosis media anual recibida por cada individuo y que procede de la precipitación radiactiva de las explosiones nucleares habidas hasta el momento.

Tabla 2. Equivalencias (International Atomic Energy Agency. Radiation Protection in Occupational Health. Manual for Occupational Physicians).

| Magnitud Equivalencia | Unidad antigua | Sistema Internacional |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| Dosis absorbida 100 Rad | Rad | Gray (Gy) 1 Gy = 100 Rad |
| Dosis equivalente | Rem | Sievert (Sv) 1 Sv = 100 Rem |

6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS

El proceso de ionización supone necesariamente cambios en átomos y moléculas, aunque sólo sea en forma transitoria, que a veces puede dañar a las células. Si se producen daños celulares y no se reparan adecuadamente, puede ocurrir que las células afectadas mueran o se vea impedida su reproducción, o bien que se origine una célula viable, pero modificada. Ambos extremos tienen implicancias profundamente distintas para el organismo. Si el número de células que murieron es lo suficientemente elevado se producirá un daño susceptible de ser observado, que será el reflejo de una pérdida de funcionalidad del tejido. La probabilidad de que se produzcan tales daños será cero a dosis pequeñas, pero por encima de un determinado nivel de dosis (umbral) aumentará rápidamente hasta la unidad (100%). Por encima del umbral aumentará asimismo la gravedad del daño con la dosis. Este tipo de efectos, conocidos anteriormente como “no estocásticos”, se denominan ahora “*determinísticos*”. El resultado será muy diferente si en vez de producirse la muerte de la célula irradiada, ésta sobrevive con una alteración en su genoma. Estos efectos se denominan “*estocásticos*”, es decir de naturaleza aleatoria o estadística. Si la transformación se produce en una célula cuya función es transmitir información genética a generaciones posteriores (célula germinal en gónadas) el efecto de variado tipo y gravedad se expresará en la descendencia de la persona expuesta. Este tipo de efecto estocástico se denomina “hereditario”. Si en cambio la transformación ocurre en una célula somática podría dar lugar, luego de un largo período de latencia, a la inducción de un cáncer (“*carcinogénesis*”). Los efectos estocásticos son aquellos en los cuales la probabilidad de que se produzca el efecto es función de la dosis, mientras que la severidad del mismo es independiente de la dosis, y no tienen umbral. Se producen como consecuencia del daño sobre una célula o un pequeño número de células. Ejemplos de efectos estocásticos son los efectos carcinogénicos y los efectos hereditarios de las radiaciones ionizantes.

Tabla 3 Clasificación de los tipos de efectos biológicos estocásticos/deterministas y somáticos/genéticos. (Commission of the European Communities/U.S. Department of Energy. Guide-book for the Treatment of Accidental Internal Radionuclide Contamination of Workers. Publication nº EUR 14320 EN. Commission of the European Communities (1992).

| | Efecto estocástico (la gravedad dependen de la dosis. Se relaciona con las mutaciones) | Efecto determinista (la gravedad depende de la dosis. Se relaciona con la letalidad) |
|----------------------|--|---|
| Efectos hereditarios | Ejemplo: Anormalidades hereditarias | |
| Efectos somáticos | Ejemplo: Carcinogénesis | Ejemplo: Anemias, caída de cabello, esterilidad |

6.2.1 Efectos determinísticos: Los efectos determinísticos son aquellos en los que la gravedad del efecto y su frecuencia varían en función de la dosis. La relación dosis-efecto tiene umbral. El 100% de frecuencia de un efecto determinístico se logra con una dosis suficiente como para alcanzar el umbral de severidad en toda la población. La dosis umbral es la cantidad de radiación necesaria para provocar el efecto en por lo menos el 1-5% de los individuos expuestos.⁶

Los efectos determinísticos son la consecuencia de la sobreexposición externa o interna, instantánea o prolongada sobre todo o parte del cuerpo, provocando la muerte de una cantidad de células tal, que no pueda ser compensada por la proliferación de células viables. La pérdida resultante de células puede causar deterioros severos de la función de un órgano o tejido, clínicamente detectables.

El estudio de los efectos determinísticos sobre el cuerpo consiste en el análisis de la distribución Espacial y Temporal de dosis sobre el mismo.

⁶ UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Sources, Effects and Risks of Ionising Radiation*, Report to the General Assembly with Scientific Annex, United Nations. New York (1996).

6.2.2 Efectos determinísticos por sobreexposición de todo el cuerpo: Los efectos letales de la radiación expresan la insuficiencia de determinados órganos vitales para el organismo. Estas insuficiencias se evidencian luego de distintos períodos de tiempo de acuerdo a la cinética celular de los tejidos afectados. La secuencia de eventos se caracteriza por una combinación de signos observados y síntomas manifestados, es decir síndromes. Diferentes órganos expresan insuficiencia con distintos rangos de dosis. De acuerdo a la dosis en todo el cuerpo, se pueden distinguir las siguientes formas del Síndrome Agudo de Radiación (SAR):

- Hematopoyética: para dosis comprendidas entre 1-10 Gy.
- Gastrointestinal: dosis entre 10-50 Gy (algunos autores distinguen una forma denominada cardiovascular o toxémica entre 20-50 Gy).
- Neurológica: con dosis superiores a los 50 Gy.

La severidad de las manifestaciones clínicas depende de la dosis, y se pueden agrupar de la siguiente forma:

Tabla 4. Relación entre manifestaciones clínicas y dosis (Gallego Díaz, Departamento de Ingeniería Nuclear – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Riesgos por exposición a radiaciones ionizantes. Pag 31)

| | |
|--------------------|--|
| | No hay síntomas clínico |
| 0 – 0.25 Gy | Se pueden detectar aumento en las aberraciones cromosómicas en los linfocitos Malformaciones fetales por exposición de la embarazada. Se puede detectar aberraciones cromosómicas en linfocitos. |
| 0.25 - 1 Gy | Disminución número de espermatozoides. Alteraciones gastrointestinales, pérdida de apetito, náuseas. Disminución de número de linfocitos y neutrófilos. Náuseas, fatiga, vómitos. |

| | |
|-------------------------|---|
| | Anorexia, malestar general, diarrea. |
| De 1 a 3 Sv | Eritema cutáneo Inhibición transitoria de la producción de espermatozoides Mortalidad entre 5~10% por sobreinfección |
| De 3 a 6 Sv | Bloqueo medular posiblemente reversible Posible esterilidad en ambos sexos Mortalidad del 50% entre 1 y 2 meses Grado extremadamente severo de la forma hematopoyética Las nauseas y vómitos aparecen en 30 minutos Aparece diarrea en 1 – 2 horas |
| 6 - 10 Gy | El número mínimo de plaquetas y neutrófilos se detecta a los 10 a 14 días La letalidad es 100% sin tratamiento, y se recuperan con tratamiento solo una fracción de los sobreexposados |
| Superiores 10 Gy | Se desarrolla la forma gastrointestinal, cardiovascular y neurológica y la letalidad es 100% a pesar del tratamiento |

Tabla 5. Dosis de Radiación, Valores comparativos (Ibid., p 20)

| <u>Dosis (mSv)</u> | <u>Efectos sobre la salud o valor típico</u> |
|--------------------|--|
| 10.000 | Muerte en días o semanas (100% de los casos) |
| 4.000 | Muerte en días o semanas (50% de los casos) |
| 250 | No produce efectos observables de tipo inmediato |
| 100 | No hay evidencia de efectos sanitarios en seres humanos |
| 3,5 | Dosis media anual por persona en España |
| 2,5 | Dosis media anual por persona en el mundo |
| 3,0 | Una exploración radiográfica de aparato digestivo Un escáner (tomografía axial computerizada, TAC) de la cabeza |
| 0,02 | Una radiografía de tórax |
| 0,002 | 3 horas en avión. Dosis anual media debida a la industria nuclear |

Un parámetro aplicado en análisis de la forma de la relación mortalidad/dosis es la DL 50/60, que expresa la dosis para una letalidad de 50% de las personas irradiadas observadas al cabo de 60 días.

Etapas del Síndrome Agudo de Radiación (SAR)

El SAR evoluciona clínicamente en 3 formas (hematopoyética, gastrointestinal y neurológica), y cada una de ellas en 4 etapas:

- Prodromal.
- Latencia.
- Crítica o de Estado.
- Recuperación o Muerte.

– **Síndrome Hematopoyético:** El síndrome hematopoyético se produce con dosis de 1-10 Gy en todo el cuerpo. La muerte por falla de la médula ósea está asociada a la linfopenia, granulocitopenia, plaquetopenia. El conteo de *linfocitos* es uno de los indicadores sanguíneos más sensibles de injuria por radiación, debido a que para la misma dosis los niveles más bajos son alcanzados más temprano que otros tipos celulares. La muerte de los linfocitos en interfase, y dosis de 1-2 Gy, hacen que su número decline hasta un 50% de su valor normal en 48 hs. Se alcanza un plateau, el cuál es dosis dependiente, con una duración de casi 45 días y seguido por una lenta recuperación de varios meses. Los *granulocitos neutrófilos* muestran un incremento inicial, durante los primeros días, después de dosis mayores de 1-2 Gy. Este “primer ascenso abortivo” es mayor después de altas dosis. En la forma neurológica el aumento de neutrófilos es muy pronunciada y persiste hasta la muerte. Esta fase inicial de granulocitosis es seguida de un descenso en el número de neutrófilos, su tasa y duración son dosis dependiente. A los 10 días después de dosis de 2-5 Gy, comienza un “segundo ascenso abortivo”, probablemente debido a la división celular de una población dañada genéticamente, que no puede continuar su proliferación. Esta se extiende por casi

15 días. La ausencia de este “segundo ascenso abortivo” es un signo desfavorable. El segundo ascenso abortivo no se ve después de dosis mayores de 5 Gy. Esta etapa es seguida de un segundo descenso de casi 25 días de duración. Con dosis de aproximadamente 6 Gy, el nivel de granulocitos puede ser reducido al 10%, de 5000/ μ l a 500/ μ l (nivel crítico), en 12-14 días. Con dosis de 2-5 Gy el período comprendido entre los días 20 y 30 es crítico por los riesgos de fiebre e infecciones. Cuando el paciente sobrevive a la caída de neutrófilos, le sigue una espontánea recuperación, que comienza alrededor de la 5ta semana. El comportamiento de las *plaquetas* es similar a la de los granulocitos, pero éstas no muestran un segundo ascenso abortivo. Las plaquetas muestran un aumento durante los primeros 2-3 días posteriores a la irradiación, seguido de una acelerada disminución, con casi 100 000 plaquetas/ μ l a los 30 días con dosis de 1 Gy. Con dosis de 6 Gy, un nivel mínimo de 10 000 plaquetas/ μ l es observado a los 10-15 días. Cuando el número de plaquetas alcanza valores por debajo de 30000/ μ l puede haber hemorragias, lo que requiere tratamiento mediante transfusión de plaquetas.

– **Síndrome Gastrointestinal (Forma gastrointestinal del SAR):** Corresponde a la forma del SAR que aparece con dosis de entre 10-50 Gy. Los signos y síntomas de esta forma siguen a aquellos de la fase prodromal. Anorexia, letargia, diarrea, disminución de los fluidos y electrolitos corporales, pérdida de peso, etc. son algunos de los signos y síntomas del síndrome gastrointestinal. El conteo de leucocitos cae dramáticamente, puede haber hemorragias y bacteriemia, agravando la injuria y contribuyendo a la muerte. Pueden observarse úlceras gástricas y colónicas. La enteritis severa ocurre alrededor de 4 días después de dosis de 10 Gy.⁷

⁷ M. Gil Gayarre, M.T. Delgado Macías, M. Martínez Morillo, C. Otón Sánchez. En: “Manual de RADIOLOGÍA CLÍNICA”. (2ª Ed.). Ediciones Harcourt, S.A. Madrid, 2001

– **Síndrome Neurológico (Forma neurológica de SAR):** Se presenta con dosis superiores a los 50 Gy en todo el cuerpo. El síndrome del sistema nervioso central se caracteriza por los signos y síntomas de la fase prodromal, agravados, seguido de un período de depresión transitoria o aumento de la actividad motora, hasta una total incapacidad y muerte. Con estas dosis, se producen en el sistema nervioso central cambios patológicos, como un aumento de la permeabilidad vascular y la producción de edema y hemorragia. Dosis letal

Para el hombre adulto y sano, se estima que el valor de la DL50/60 después de una exposición aguda, oscila entre 3 y 5 Gy como dosis media y la causa de muerte por estas dosis se debe a la pérdida de la función de la médula ósea por pérdida de sus células madre. Se pueden mejorar las posibilidades de supervivencia de individuos expuestos a dosis cercanas o mayores que la DL50/60, estimulando a las células madre viables de la médula ósea o, utilizando médula o concentrados de células madre de la médula ósea procedentes de un donante compatible, además del cuidado médico apropiado (sustitución de fluidos, antibióticos, medidas de barrera, fungicidas).

6.2.3 Efectos determinísticos localizados. La gravedad del daño que puede ser tolerado en un tejido u órgano depende de varios factores: nivel de depleción celular que produce disfunciones en los tejidos; momento de manifestación del daño; capacidad de reparación y recuperación del tejido; volumen incluido en el campo; dosis total administrada; tiempo total y número de fracciones en que se subdivide la dosis.

– **Piel:** Los efectos de las radiaciones sobre la piel, son dependientes de la dosis y de la profundidad y área de la piel irradiada. La escala de severidad de los síntomas es la misma que para las quemaduras comunes: eritema, edema, ampollas, úlceras, necrosis y esclerosis.

Las dosis umbral para efectos determinísticos después de una dosis aguda en un campo de 3 cm de diámetro, se encuentra en los siguientes rangos:

| | |
|---------------------------|---------|
| Depilación temporaria | 3-5 Gy |
| Depilación Permanente | > 7 Gy |
| Eritema | 3-10 Gy |
| Radiodermatitis seca | 0-15 Gy |
| Radiodermatitis exudativa | 5-25 Gy |
| Necrosis | > 25 Gy |

Estos valores aumentan cuando disminuye el tamaño. La dosis umbral para efectos determinísticos por irradiación fraccionada son más altas:

| | |
|-----------------------|-------------|
| Depilación permanente | 0-60 Gy |
| Eritema | 30 Gy o más |

– **Aparato Digestivo:** Los daños al tubo digestivo provocan síntomas agudos y crónicos, que van desde la diarrea y dispepsia hasta úlcera, estenosis y obstrucciones. Hay una variada radiosensibilidad de las diferentes partes del tubo digestivo, siendo las más sensibles el intestino delgado, recto, colon y estómago, en ese orden. Estos efectos producen un síndrome gastrointestinal mortal cuando gran parte del intestino es expuesto en forma aguda a una dosis mayor de 10 Gy. Las complicaciones tardías debido a lesiones localizadas en el aparato digestivo se manifiestan en meses o años posteriores a la exposición, y aparecen en forma de obstrucciones, constricciones y adherencias, resultantes de la fibrosis, pudiendo aparecer perforaciones y fístulas.

– **Aparato Respiratorio:** El pulmón es el órgano más sensible del tórax. La neumonitis por irradiación puede sobrevenir en forma precoz e ir seguida, semanas o meses después, por radiofibrosis. Cuando la mayor parte o todo el

volumen de ambos pulmones son irradiados se puede producir neumonitis mortal.⁸ Semanas o meses después de la exposición puede producirse la fibrosis pulmonar. La fibrosis se puede manifestar después de la irradiación de campos grandes o pequeños. Las dosis altas administradas en campos reducidos pueden también conducir a la fibrosis. La DL50 por irradiación aguda es de 8-10 Gy o 20-30 Gy para exposiciones fraccionadas en 6-8 semanas.⁹

– **Sistema Cardiovascular.** El corazón no es considerado un órgano altamente radiosensible. Sin embargo, una dosis de 40 Gy fraccionada en forma convencional en radioterapia (10 Gy/semana) puede causar algún grado de degeneración miocárdica, y una dosis mayor de 60 Gy para todo el corazón puede llevar a la muerte por derrame pericárdico y pericarditis constrictiva. Los vasos sanguíneos en todos los órganos muestran cambios después de dosis de 40-60 Gy, En general la permeabilidad vascular y flujo sanguíneo tiende a incrementarse en las primeras fases de la respuesta, para ser seguida después de varios meses por degeneración de las células endoteliales, engrosamiento de la membrana basal, y esclerosis gradual. Cambios tardíos en los vasos sanguíneos incluyen típicamente proliferación endotelial focal, engrosamiento de la pared, estrechamiento de la luz y reducción del flujo sanguíneo.

– **Sistema Urinario:** El riñón es el elemento más sensible, la vejiga tiene una sensibilidad intermedia y los uréteres son los más resistentes, aunque pocas veces son irradiados en toda su longitud. Con dosis fraccionadas de 20 Gy en 3-4 semanas se puede observar una reducción en la función renal. Con dosis más altas se produce nefritis aguda en un plazo de 6-12 meses, que puede ser letal o conducir a la nefritis crónica. La nefritis crónica se caracteriza por esclerosis y fibrosis. Generalmente estos cambios van acompañados de hipertensión arterial.

⁸ Anderson WR, Thielen K. Correlative study of adult respiratory distress syndrome by light scanning and transmission electron microscopy. *Ultrastruct Pathol.* 1992;16(6):615-28.

⁹ Gross NJ, Narine KR. Experimental radiation pneumonitis. Corticosteroids increase the replicative activity of alveolar type 2 cells. *Radiat Res.* 1988;115(3):543-9.

– **Sistema Nervioso Central.** Tradicionalmente se consideraba que los tejidos del sistema nervioso central eran radioresistentes. Sin embargo, el tejido nervioso posee muy poca capacidad de repoblación, lo que sumado a datos obtenidos de la experiencia radioterapéutica, es motivo suficiente para no considerarlo radioresistente. Se considera que la dosis de tolerancia para todo el cerebro es de alrededor de 55 Gy fraccionados en 5-6 semanas. Un incremento de la dosis puede llevar a la necrosis cerebral. Para la médula espinal las dosis de tolerancia son más bajas que para el cerebro. Las estimaciones de una dosis segura para la médula cervical, torácica y lumbar varían entre 35 Gy en 4 semanas y 50 Gy en 5 semanas. La lesión en médula espinal es inversamente proporcional a la longitud de la médula irradiada.

– **Tejido Hematopoyético.** El sistema hematopoyético es uno de los tejidos más sensibles del cuerpo. Se pueden advertir respuestas después de 0,5-1 Gy, ya sea que se administren en exposición única o en una serie de fracciones pequeñas. Después de la exposición aguda accidental, la DL50 en el hombre está comprendida entre 3-5 Gy, si bien el uso de cámaras estériles, antibióticos y una cuidadosa atención médica con transfusiones y trasplantes de médula ósea, han hecho posible que las víctimas de accidentes sobrevivan a dosis más altas. La dosis umbral para detectar depresión en la hematopoyesis, durante la exposición ocupacional se ha estimado en un valor mayor a 0,4 Sv/año y la dosis umbral que induce aplasia medular mortal probablemente es mayor a 1 Sv/año. La irradiación de la médula ósea se traduce también en cambios a largo plazo. Se hallaron casos de reducción del número de células de la serie blanca hasta 7 años después de la radioterapia de las glándulas mamarias y tejidos adyacentes con dosis de 50-150 Gy administrados durante 1-3 meses. También se observaron cambios locales hasta 3 años después de tratamientos fraccionados con 20-65 Gy, administrados localmente.

– **Efectos a nivel Ocular.** De los tejidos de la región del ojo (glándulas lagrimales, conjuntiva, córnea, retina) el cristalino es el más sensible a la radiación. La producción de opacidades es la consecuencia del daño sobre las células del epitelio anterior del cristalino. El cristalino es particularmente sensible a la irradiación uniforme. Responde a dosis de aproximadamente 1 Gy en tratamiento único ó 4 Gy en forma fraccionada, con la formación de cataratas. Opacidades estacionarias mínimas se observaron después de dosis únicas de 1-2 Gy, y con más de 5 Gy se producen cataratas progresivas graves. Con 7,5 Gy en forma aguda y 14 Gy fraccionados, la opacidad del cristalino con dificultad de la visión alcanza al 100% de las personas expuestas.

Imagen 1. Lesiones oculares



– **Órganos de la Reproducción:**

a. Ovario: El ovario es un órgano sumamente radiosensible. Dosis únicas de 2-6 Gy producen esterilidad temporal, siendo necesarias dosis mayores cuando se administran fraccionadas para igual efecto. Las mujeres mayores son más

susceptibles, probablemente debido a un decreciente número de folículos con la edad. La dosis umbral para esterilidad permanente disminuye con la edad.

b. Testículo: El testículo es también un órgano radiosensible. Dosis de 0,1-0,15 Gy producen esterilidad temporal. La dosis que induce esterilidad permanente en el 100% de los hombres expuestos es mayor a los 6 Gy.

– **Hueso y Cartílago:** El hueso y cartílago en desarrollo son mucho más sensibles a la radiación, que esos mismos tejidos en el adulto. Puede ocurrir retardo o incluso la detención del crecimiento). Con dosis superiores a 20 Gy se incluyen escoliosis, cifosis, deslizamientos de las epífisis femorales, hipoplasia, retraso del crecimiento, problemas dentales, etc. El cartílago maduro es mucho más resistente al daño por radiación y las dosis para producir necrosis son altas. En general el hueso adulto es considerado radioresistente a pesar que después de la irradiación se vuelve susceptible al trauma y a la infección, y posee escasa capacidad de regeneración. Una dosis de 65 Gy administrada en 6-8 semanas no ocasiona comúnmente la osteonecrosis, pero puede determinar una mayor predisposición a la fractura y demora en el proceso de cicatrización posterior.

– **Sistema Endocrino:** La disfunción tiroidea puede ser debida a la irradiación de la glándula tiroides o del eje hipotálamo-hipofisario. La glándula tiroides se considera como un órgano radioresistente desde el punto de vista de la destrucción y de la deficiencia funcional. Se requiere un mínimo de 300 Gy para producir la ablación total en un corto período, por ejemplo 2 semanas. El hipotiroidismo es el más frecuente de los efectos determinísticos tardíos que afectan a la glándula tiroides después de la irradiación. El daño clínico puede manifestarse varios meses o años después. El daño directo a la glándula tiroides debido a la radiación ionizante puede causar hipotiroidismo primario, mientras que la irradiación del eje hipotálamo-hipofisario produce hipotiroidismo secundario.

6.2.4 Efectos estocásticos

– **Carcinogénesis radioinducida:** Se denomina carcinogénesis a la sucesión de eventos que llevan a la aparición de un cáncer. Se incluyen bajo esta denominación a un conjunto de enfermedades que pueden afectar distintos órganos, que tienen como elemento común el crecimiento celular ilimitado, invasivo, potencialmente letal. El sustrato fisiopatológico del cáncer es una afectación severa del comportamiento celular como consecuencia de anomalías genéticas que se traducen en alteraciones en la producción y la función de numerosas proteínas. La manifestación clínica de un cáncer es el resultado final de una serie de cambios celulares producidos a lo largo de un tiempo muy prolongado (años), denominado período de latencia. Es un proceso complejo, de etapas múltiples, que tiene su origen en mutaciones relativamente simples a nivel del ADN. En la actualidad se acepta la teoría monoclonal del origen del cáncer. Se entiende por clon a una “familia” de células que se originaron inicialmente en una única célula “madre” que dio por resultado dos células “hijas”, las que a su vez se duplicaron y dieron origen a cuatro células, y así sucesivamente dando como resultado un clon. Los agentes capaces de inducir este tipo de cambios en las células se llaman carcinógenos.¹⁰

Existen numerosos agentes carcinógenos:

- Agentes químicos: hidrocarburos policíclicos aromáticos, benzopirenos, asbestos, dioxina, aflatoxina, metales pesados, anilinas, nitrosaminas, cloruro de vinilo, drogas antineoplásicas, etc.
- Agentes físicos: radiaciones ionizantes, radiación ultravioleta.
- Agentes biológicos: virus oncogénicos (SV40, HPV, adenovirus).

¹⁰ Molls M, Herrmann T, Steinberg F, Feldmann HJ. Radiopathology of the lung: Experimental and clinical observations. Recent Results Cancer Res. 1993;130:109-21.

Se describen tres etapas en la carcinogénesis:

a. **Iniciación:** puede definirse como el cambio celular irreversible que no se expresa inmediatamente pero crea un potencial para el desarrollo ulterior de un cáncer. Es una mutación en un determinado gen que si bien es compatible con la vida de la célula, involucra cambios en el sistema de señales bioquímicas asociadas al control de la proliferación celular o de la intercomunicación con otras células. En tal situación, la célula iniciada adquiere un potencial neoplásico que podrá o no expresar dependiendo del ambiente celular, de la ocurrencia de nuevos cambios posteriores en su genoma y de la eficacia de los sistemas de vigilancia inmunológica.

b. **Promoción:** es el proceso por el cual una célula iniciada recibe estímulos para el crecimiento y comienza a proliferar de manera semi-autónoma. En esta etapa juega un papel fundamental el ambiente intra y extra celular. Como consecuencia de la acción de estos promotores (factores de crecimiento específicos para ciertos grupos celulares, ciertas hormonas, factores dietarios, etc.) se incrementa el potencial de crecimiento y proliferación de la célula iniciada.

c. **Progresión:** es la etapa en la cual el clon ya ha establecido su malignidad y la enfermedad comienza a progresar. La expansión clonal en esta etapa es muy importante y la velocidad con se produce le confiere al tumor lo que se denomina “ventaja carcinogénica”. Ciertos cambios celulares facilitan el comportamiento maligno característico del cáncer: pérdida de la inhibición por contacto e invasión de tejidos vecinos, ingreso al torrente circulatorio (vasos sanguíneos y linfáticos), pérdida de la adhesividad celular y capacidad para el establecimiento de siembras a distancia (metástasis). Cambios genéticos asociados a la inducción de cáncer, existen dos tipos de cambios genéticos asociados a la inducción de cáncer:

– **Activación de proto-oncogenes:** son alteraciones que incrementan la actividad de genes involucrados directa o indirectamente en el desarrollo de una neoplasia.

El proto-oncogen es la forma inactiva, el oncogen es la forma activa: es una secuencia muy específica del ADN que codifica para una dada proteína, responsable del efecto. Ese efecto puede ser por ejemplo una cierta acción a nivel del control del ciclo celular, la alteración de la diferenciación de la célula, una comunicación celular aberrante etc. Como consecuencia de esto la célula adquiere esa “ventaja proliferativa” característica de las neoplasias. ¿Un proto-oncogen puede activarse? simplemente mediante el cambio de un par de bases (*mutación puntual*) o a través de una variedad de eventos citogenéticos que colocan al gen cerca de otra secuencia de ADN capaz de activarlo. Por ejemplo, la remoción de un segmento del cromosoma con re-inserción posterior en la misma posición pero en orientación opuesta (*inversiones*) o la remoción de un segmento del cromosoma con posterior re-inserción en otro cromosoma (*translocaciones*). La activación de los oncogenes implica una ganancia de función: la afectación de estos genes incrementa su función, promoviendo el crecimiento y la proliferación celular. Los oncogenes actúa de manera *dominante*, basta con que se afecte uno de los dos alelos del gen para que se exprese el daño por alteración de la función.¹¹

– **Inactivación de genes supresores de tumores:** estos genes (también llamados antionco-genes) actúan como reguladores negativos de procesos de transducción de señales y progresión en el ciclo celular. A través de ello, juegan un rol importante en el control de la proliferación celular. La mutación de estos genes puede reducir o anular su actividad. Su afectación implica una pérdida de función: dado que ellos regulan la progresión a través del ciclo celular, su anulación facilita la carcinogénesis. Son mutaciones *recesivas*: deben afectarse los dos alelos del gen para que se afecte el funcionamiento celular. ¿Un antioncogen puede inactivarse también? mediante el simple cambio de una base, por la ocurrencia de una translocación, una inversión o la pérdida de una porción

¹¹ Maurice Tubiana. Radiation risk in perspective: radiation-induced cancer among cancer risk. Radiat Environm Biophys (2000) 39:3-16

del ADN que lo contenga (*deleciones*). Las células contienen un conjunto de sistemas capaces de identificar y reparar el daño inducido en su ADN, reduciendo así el riesgo de que una mutación persista”. Hay momentos del ciclo celular en los que la integridad del genoma es chequeado antes de permitir que la célula siga avanzando (checkpoints). Si se detectan anomalías, la progresión a través del ciclo celular se detiene para dar lugar a la reparación. En la célula existen otros sistemas que brindan protección contra el daño al ADN y que contrabalancean el efecto de los carcinógenos: son sistemas capaces de detoxificar ciertos carcinógenos químicos e indirectamente capaces de proteger también contra carcinógenos físicos como la radiación (ejemplo: sistemas enzimáticos de defensa antioxidante, vitaminas, etc.).

Finalmente, si todo lo anterior fallara, aún queda otro frente de batalla: el sistema inmunológico. El sistema inmunológico juega un rol en la destrucción de células “extrañas”. El papel de los distintos subtipos de células inmunocompetentes en la defensa antitumoral es todavía motivo de controversias. Particularmente un subtipo de linfocitos denominados “natural-killer”(NK) tienen capacidad de destruir células neoplásicas. Implicancias en radioprotección, es fácil darse cuenta de que bajas dosis de radiación implican incrementos muy pequeños de daño adicional en el ADN con muy poca implicancia en la inducción de cáncer. De cualquier manera siempre cualquier dosis, por pequeña que sea, se asociará a un incremento del riesgo. La probabilidad de ocurrencia de un cáncer dependerá, al menos parcialmente, del número de células inicialmente afectadas, dado que a mayor número de clones de células transformadas aumenta la probabilidad de que al menos uno logre sobrevivir y transitar todas las etapas. Así, tomando en consideración el cuerpo de datos disponibles acerca de la biología molecular y celular del cáncer radioinducido, hay un fundamento para la aceptación de la existencia de una relación directa entre el riesgo de cáncer y la dosis absorbida sin existencia de umbral.

En sistemas experimentales (células en cultivo, animales de laboratorio) es posible estudiar la forma de la relación dosis-respuesta para cáncer radioinducido, su comportamiento temporal y la influencia de factores modificadores tales como la calidad de la radiación, el fraccionamiento y la tasa de dosis.

Los datos epidemiológicos de poblaciones expuestas a bajas dosis son muy escasos. Es evidente a partir de las observaciones experimentales y consideraciones teóricas que la probabilidad de inducción de cáncer por unidad de dosis es menor a bajas dosis y bajas tasa de dosis. Por lo tanto, para estimar el riesgo de cáncer radioinducido a bajas dosis (o a bajas tasas de dosis) a partir de datos provenientes de exposiciones a altas dosis y altas tasas de dosis de radiación de baja LET, se debe aplicar un factor de corrección que tome en consideración esta variación de la “eficacia” de la radiación: se denomina a este factor “Factor de Eficacia de Dosis y Tasa de Dosis” (*DDREF: Dose and Dose Rate Effectiveness Factor*). Este factor puede definirse matemáticamente como el cociente entre la pendiente del ajuste lineal sin umbral de los datos observados a altas dosis y altas tasas de dosis (α_L) y la pendiente de la parte lineal de la curva para exposiciones en el rango de las dosis bajas (α). $DDREF = \alpha_L / \alpha$ En trabajos experimentales se ha visto que el DDREF puede variar mucho de un tipo de tumor a otro, entre distintas especies y tipos celulares. Incluso en ciertos estudios epidemiológicos se observó que la relación dosis-respuesta es lineal-cuadrática para la leucemia y en ciertos tumores sólidos pero en otros el ajuste es más adecuado mediante una función de tipo lineal. Entonces: ¿Qué factor se debe aplicar? ¿A partir de qué rango de dosis se debe usar? La ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) recomienda el uso de un DDREF = 2 a los fines de la radioprotección. Este factor ha sido considerado por la ICRP para los cálculos de coeficientes de riesgo de cáncer radioinducido por unidad de dosis a ser aplicados en el rango de las bajas dosis y bajas tasa de dosis: exposiciones ocupacionales y del público. Se define para su aplicación: *dosis absorbidas menores de 0,2 Gy o dosis más altas cuando la tasa de dosis sea inferior a 0,1 Gy*

por hora, radiación de baja LET. Inducción de cáncer por exposición a radiación de alta LET La radiación de alta LET tiene una mayor eficacia biológica que la de baja LET. Así como para los efectos determinísticos el EBR es función de la dosis, en el caso de los efectos estocásticos, el efecto por unidad de dosis difiere según el rango de dosis considerado. La relación dosis-respuesta para inducción de cáncer por radiación de alta LET tiene un comportamiento diferente al descrito para la radiación de baja LET. Son curvas de tipo exponencial de concavidad inferior, no presentan dependencia con la tasa de dosis y hasta en algunos casos muestran el llamado “efecto inverso de la tasa de dosis”: efecto mayor en irradiaciones fraccionadas o a baja tasa de dosis. Es un fenómeno paradójico que no se observa siempre y cuyo mecanismo no ha sido suficientemente aclarado aún.

Las estimaciones acerca de los riesgos de la exposición a bajas dosis de radiación tienen importancia fundamental en el ámbito de la radioprotección. Estas estimaciones se basan fundamentalmente en la interpretación de datos epidemiológicos y de estudios experimentales, la que a su vez se sustenta en el conocimiento creciente del proceso de carcinogénesis así como de los mecanismos moleculares de la respuesta de la célula a la injuria por radiación. Desde el punto de vista biológico, el cáncer radioinducido no presenta diferencias respecto del cáncer que aparece espontáneamente en una población dada: es decir que, hasta el momento no existe ningún indicador que permita demostrar con certeza que un cáncer determinado ha sido o no inducido por la radiación. Es por eso que la cuantificación del riesgo de cáncer radioinducido en humanos se basa fundamentalmente en los denominados estudios epidemiológicos que comparan riesgos entre poblaciones expuestas y no expuestas. Existe siempre un tiempo mínimo entre la irradiación y la aparición de cáncer radioinducido en una población expuesta. Este período se denomina *período mínimo de latencia* y su longitud varía con la edad y con el tipo de tumor. Suele ser más corto en los niños. Para el caso de las leucemias y ciertos tumores óseos (osteosarcoma inducido por radio) puede ser de 2 años mientras que para la mayor parte de los tumores sólidos se

considera de 10 años. Asimismo existe un tiempo durante el cual se continúa observando un exceso de casos de cáncer atribuible a la radiación: es el denominado *tiempo de expresión del riesgo* que en el caso de la leucemia es de alrededor de 25 años y para los tumores sólidos puede alcanzar toda la vida. También en este caso hay variabilidad debida a la edad en el momento de la exposición. La información existente al respecto permite inferir que la inducción de cáncer por radiación se ve influenciada por factores de naturaleza física (ligados a la radiación) y factores de naturaleza biológica (ligados a los individuos expuestos).

a. Factores físicos: *dosis, tasa de dosis, fraccionamiento, calidad de la radiación (alta LET - baja LET).*

b. Factores biológicos: *edad en el momento de la exposición, sexo, edad alcanzada (tiempo transcurrido desde la exposición), predisposición individual (hábitos, carga genética, factores raciales).*

Estudios radioepidemiológicos Cohorte de Hiroshima y Nagasaki La Fundación para la Investigación sobre los Efectos de la Radiación (*Radiation Effects Research Foundation: RERF*) ha venido conduciendo desde 1950 un estudio de cohorte en los sobrevivientes de las explosiones atómicas de Hiroshima y Nagasaki, conocido como *Life Span Study (LSS)*.¹² Los datos resultantes de los análisis periódicos de la mortalidad han servido como base de sustentación para muchos de los cálculos de coeficientes de riesgo de cáncer radioinducido. Este estudio reviste un interés excepcional puesto que se trata de una población numerosa, de ambos sexos y todas las edades. Es un estudio prospectivo. Desde su comienzo la población expuesta ha sido seguida de manera muy rigurosa y

¹² Shigematsu. The 2000 sievert lecture-lessons from atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki. *Health Physics*. September 2000, vol 79, Number 3, p.234-241 Donald A. Pierce and Dale L. Preston. Radiation-related Cancer Risk at low Doses among Atomic Bomb Survivors. *Radiation Research* 2000; (154): 178 – 186.

constituye sin duda la principal fuente de información cuantitativa acerca de radiocarcinogénesis humana. Hacia fines de 1990 el 56% de los miembros de la cohorte aún estaban vivos, particularmente aquellos que fueron expuestos en edades muy tempranas. Esto implica que sólo se ha podido completar el seguimiento en toda la vida en algo más de la mitad de los integrantes. Los datos obtenidos han permitido evaluar la naturaleza y magnitud de los riesgos asociados a la exposición a las radiaciones ionizantes y la influencia de factores tales como sexo, edad en el momento de la exposición y tiempo transcurrido desde la exposición. Al respecto pueden señalarse los siguientes hallazgos:

- El exceso de muertes por leucemia se hizo aparente 2 años después de la explosión.
- El exceso de mortalidad por tumores sólidos se hizo evidente 10 años después de la explosión.

La relación dosis respuesta fue de tipo lineal-cuadrática para la leucemia. Para algunos tumores sólidos (cáncer de mama por ejemplo) la relación fue lineal y en otros, el ajuste de los datos pudo hacerse con los dos tipos de curva. Esta diferencia podría estar indicando diferencias en el mecanismo subyacente de inducción de cada tipo cáncer.

Los resultados del LSS (estudio de mortalidad) fueron significativos para leucemia (con excepción de la leucemia linfática crónica), todos los cánceres sólidos considerados en conjunto, esófago, estómago, colon, pulmón, mama, ovario, tracto urinario y mieloma múltiple. Para los individuos expuestos "in utero" se confirmó aumento significativo de la incidencia de cáncer en la infancia (<15 años) correlacionable con las dosis.

Otros estudios epidemiológicos. Otros numerosos estudios de exposiciones médicas, tanto diagnósticas como terapéuticas, han confirmado la información aportada por el LSS respecto de los sitios de cáncer ya mencionados. Además se

han observado excesos de riesgo atribuible a la radiación para los siguientes órganos: glándulas salivales, recto, sistema nervioso central, riñón, cuerpo de útero, tejido conectivo. En ausencia de información adicional no sería correcto presuponer que para los otros órganos no exista posibilidad de asociación causal: simplemente no se ha podido poner en evidencia. Una excepción a esto es el caso de la leucemia linfática crónica. Los datos existentes permiten inferir que este tipo de leucemia no se correlaciona con la exposición a radiación.

Modelos de proyección de riesgo Los datos del LSS han sido usados por muchas organizaciones internacionales (ICRP, BEIR, NIH, UNSCEAR) para realizar estimaciones sobre los coeficientes de riesgo de cáncer por unidad de dosis. Dado que no se ha completado el período de seguimiento de la cohorte, se han tenido que hacer consideraciones para proyectar el riesgo de cáncer radioinducido a toda la vida de las personas expuestas, partiendo de los datos que se obtuvieron hasta la fecha. Esto se llevó a cabo mediante el uso de los denominados “*modelos de proyección de riesgo*”. Básicamente existen dos tipos de modelos para proyectar el riesgo de cáncer radioinducido en el tiempo: aditivo y multiplicativo.

- **Modelo aditivo:** postula que luego de un cierto período de latencia, la radiación induce un número constante de casos adicionales de cáncer por encima de la tasa espontánea.
- **Modelo multiplicativo:** plantea que pasado del período de latencia, la radiación aumenta de manera multiplicativa la tasa espontánea de cáncer, como si se multiplicara la línea de base por un dado factor.

En el año 1990, la ICRP propuso nuevas recomendaciones basadas en la revisión de los resultados del LSS efectuada en 1988. Surgieron así los nuevos coeficientes de riesgo por unidad de dosis y los factores de ponderación actualmente vigentes.

Para el cálculo de los nuevos coeficientes de riesgo de cáncer fatal en toda la vida por unidad de dosis, la ICRP 60 tomó los datos de LSS para los siguientes órganos: esófago, estómago, colon, pulmón, mama, ovario, vejiga, médula ósea (leucemia), resto del cuerpo y tumores sólidos en conjunto. Tomando como hipótesis una exposición instantánea a 1 Sv de radiación de baja LET utilizó tres modelos de proyección de riesgo:

- Modelo aditivo simple.
- Modelo multiplicativo simple.
- Modelo NIH (*National Institute of Health* de los EE. UU.).

Los tres modelos se aplicaron a las tablas de vida de 5 poblaciones diferentes, con el objeto de minimizar las variaciones debidas a las diferencias en los datos demográficos entre países: EE. UU., Reino Unido, Puerto Rico, China y Japón. Se analizaron separadamente ambos sexos para distintos intervalos de edad en el momento de la exposición. Se promediaron los valores para las 5 poblaciones, ambos sexos y edades comprendidas entre 0 y 90 años, para los modelos de proyección aplicados. Se estableció así el valor del coeficiente de riesgo para una *población nominal*. Finalmente se calculó un promedio de los valores obtenidos para esas 5 poblaciones y se le aplicó el factor de corrección DDREF= 2 para su aplicación en el rango de dosis y tasas de dosis bajas obteniéndose el nuevo de coeficiente de riesgo actualmente recomendado: la diferencia del valor entre el valor propuesto para el público y para los trabajadores se funda en la dependencia del riesgo de cáncer respecto de la edad.

6.3 EFECTOS HEREDITARIOS

El término *efectos hereditarios*, denota una condición patológica que surge como consecuencia de un daño genético, transmitida de una generación humana a la siguiente. Los daños genéticos ocurren debido a alteraciones (mutaciones) en la

estructura o en la regulación de los genes en las células germinativas. Convencionalmente, estos trastornos se clasifican en tres grupos.¹³

- Mendelianos: aquellos debidos a mutaciones en genes simples, y que siguen las leyes mendelianas de la herencia. Estos incluyen: a) los trastornos autosómicos dominantes, b) los autosómicos recesivos y c) los trastornos ligados al cromosoma X.
- Aberraciones cromosómicas: debido a cualquiera de las anomalías cromosómicas numéricas o estructurales.
- Multifactoriales: resultantes de la acción unificada de múltiples factores genéticos y ambientales.

Debido a que las mutaciones ocurren espontáneamente (sin una exposición deliberada a un agente mutagénico), están presentes en frecuencias altas en cualquier población, imponiendo una considerable carga social.

El UNSCEAR (1977) ha estimado que alrededor del 9% de los recién nacidos vivos tienen una malformación congénita u otro desorden con origen en parte genético y en parte ambiental. Es un hecho conocido desde hace más de 50 años que la radiación ionizante puede inducir mutaciones. Los principales hallazgos han sido los siguientes:

En términos de sus efectos, las mutaciones inducidas son similares a las espontáneas, de manera que no es posible asegurar sobre cualquier mutación en particular, si es inducida o espontánea. No hay un umbral por debajo del cual no haya inducción de mutaciones.

¹³ Lloyd, DC, RJ Purrott. 1981. Chromosome aberration analysis in radiological protection dosimetry. *Rad Prot Dosimetry* 1:19-28.

Diferentes tipos de células germinales muestran una radiosensibilidad diferencial con respecto a la inducción de mutaciones. Así, células más maduras post-meiosis (espermatozoide), son más sensibles a la inducción de mutaciones que células premeióticas. Esto es una consecuencia de la selección germinal (eliminación de células germinales dañadas genéticamente durante la gametogénesis), pero puede ser también diferencia en la radiosensibilidad intrínseca de los diferentes estadios.

La forma de la curva dosis-respuesta depende de si es el resultado de una traza única (linealidad) o si las interacciones ocurren entre dos trazas independientes (relación cuadrática). Sin embargo, otros factores son a menudo importantes, tales como la radiosensibilidad diferencial de la población de células germinales que está siendo irradiada y la respuesta de las enzimas de reparación. El rendimiento de mutaciones frecuentemente depende de la tasa de dosis y por lo tanto del período de tiempo durante el cual las células germinales son irradiadas.

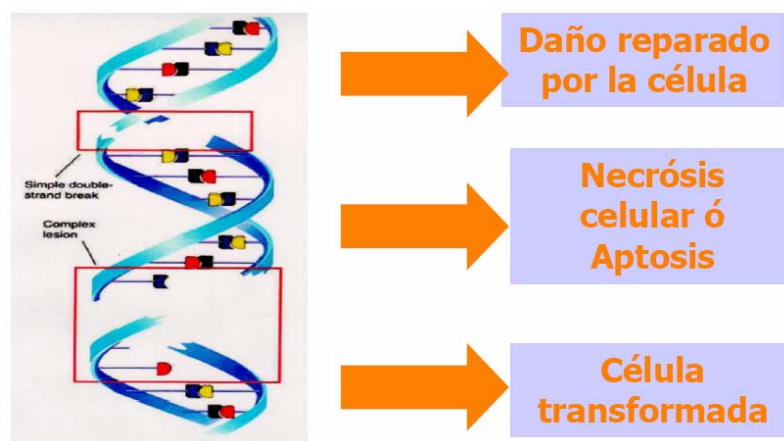
La inducción de mutaciones depende de la calidad de la radiación, siendo de mayor efectividad las de alto LET.

6.3.1 Evidencias directas de estudios en humanos: Los datos provenientes de los sobrevivientes de Hiroshima y Nagasaki indican que la irradiación aguda a dosis moderadas tiene un efecto no detectable sobre la salud de las generaciones subsiguientes (hijos y nietos). Cualquier efecto menor que pueda ser producido es tan pequeño que queda sumergido en el fondo natural de efectos mutacionales. No han podido ser demostrados aún por refinados estudios epidemiológicos llevados a cabo durante las últimas cinco décadas.

6.3.2 Estimación del riesgo genético. La estimación del riesgo acarrea considerables incertezas y aproximaciones, debido principalmente a la falta de

evidencia directa en el hombre, por lo cual, los datos en animales, especialmente los estudios en ratón, proveen la base para la estimación del riesgo genético en humanos.

Figura 1, ADN Mutado o Dañado (International Atomic Energy Agency. Radiation Protection in Occupational Health. Manual for Occupational Physicians. Safety Series nº 83, IAEA, Vienna (1987)



Dos métodos son usados para intentar cuantificar riesgo genético: el método de la *dosis dobladora (o indirecto)* y el *método directo*.

– **Método de la dosis dobladora:** La dosis dobladora (DD) es la cantidad de radiación necesaria para producir tantas mutaciones como las que se producen en forma espontánea en una población. El método se basa en el concepto que en una población con estructura y condiciones de vida estables, hay un balance entre mutaciones que aparecen espontáneamente y aquellas que son eliminadas por selección en cada generación. Cuando una fuente de mutación adicional (radiación) es introducida, la población alcanzará (a través de varias generaciones) un nuevo equilibrio entre mutación y selección. Es el riesgo adicional en este nuevo equilibrio lo que estima este método. La estimación del riesgo en la primera o subsecuentes generaciones se obtiene del valor en el

equilibrio, haciendo ciertas suposiciones. Para una población continuamente irradiada a dosis bajas, el riesgo en el equilibrio por unidad de dosis es el que resulta de dividir la prevalencia natural de los trastornos hereditarios por la DD.¹⁴

La DD corrientemente usada en estimación de riesgo es 1 Gy para radiación de bajo LET y a baja tasa de dosis y basada en datos del ratón. El uso del método de la DD lleva implícita la suposición de que existe una relación proporcional conocida entre mutación y enfermedad. Ese no es el caso de las enfermedades de etiología compleja (trastornos multifactoriales). Dadas las incertezas en la estimación de las dosis en las investigaciones de Japón y las diferencias con los "end point" usados en experimentos con ratones, el uso de la DD de 1Gy es conservativa, y poco probable que subestime el riesgo. Los datos son consistentes con una estimación de una DD mínima entre 1,7 y 2,2 Sv para condiciones de irradiación aguda y entre 3,4 y 4,4 Sv para irradiación crónica.

– **Método Directo:** Con el método directo se ha estimado la probabilidad absoluta de aparición de trastornos genéticos, debido a mutaciones genéticas radioinducidas, en la progenie de la primera generación, a partir de los datos obtenidos en ratones sobre tasas de inducción de mutaciones dominantes (en esqueleto y cataratas). De la misma forma se estima el riesgo absoluto de neonatos con malformaciones congénitas debidas a aberraciones cromosómicas inducidas, partiendo de los datos citogenéticos obtenidos en especies de primates. Estos cálculos no se apoyan en el conocimiento de la prevalencia natural de los trastornos genéticos en la población, por lo que son necesarias las suposiciones para salvar las lagunas existentes entre los datos experimentales sobre cambios mutacionales germinales en animales, y las estimaciones de los trastornos genéticos en la progenie.

¹⁴ UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Sources, Effects and Risks of Ionising Radiation*, Report to the General Assembly with Scientific Annex, United Nations. New York (1996).

6.4 EFECTOS PRENATALES

Los efectos prenatales son consecuencia de irradiaciones durante la vida intrauterina. Los sistemas en desarrollo son cualitativamente diferentes de los sistemas “adultos”. En primer lugar, son, durante buena parte del desarrollo, sistemas muy indiferenciados, con un índice mitótico alto y una alta capacidad de proliferación. A mayor indiferenciación, mayor radiosensibilidad, de manera que una primera conclusión sería que nos encontramos frente a un sistema cuya capacidad intrínseca de respuesta frente a la radiación es diferente.

La gestación humana se completa entre 37 y 42 semanas de Edad Gestacional (EG). Caractericemos muy brevemente cada uno de estos momentos:¹⁵.

6.4.1 Período preimplantacional. Tiene como rasgo fundamental el de generar el esbozo de las hojas embrionarias que darán origen a los distintos sistemas tisulares. En este momento se verifica una multiplicación exponencial de las células, y hasta el momento conocido como “mórula” de 16 días, la capacidad del sistema es totipotencial. La implantación del huevo en la mucosa uterina acontece aproximadamente el día 7 de EG. Durante éste período el principal efecto es la muerte del huevo, dependiendo de momentos de máxima sensibilidad. El riesgo máximo en modelos animales podría estar en el orden de 1% ó 2% de muerte en primeros estadíos después de una dosis de 0,1 Gy correspondiéndose a una DL50 de alrededor de 1 Gy.

6.4.2 Período de mayor organogénesis o período embrionario: Aquí se verifican fenómenos muy complejos de plegamiento dorsoventral del embrión, así como segmentación de las hojas embrionarias primitivas. Todo converge a que en la 5 semana de EG puedan observarse todos los sistemas finalmente esbozados. A esta etapa seguirá un momento de crecimiento, desplazamiento y diferenciación

¹⁵ Fetal death and congenital malformation in babies born to nuclear industry employes: report the nuclear industry family study. The Lancet 2000 October 14; Vol 356: 1293-1299.

histológica de los órganos. La incidencia de malformaciones parece diferir entre especies y aún entre diferentes lotes dentro de la misma especie usadas en modelos experimentales, utilizados para establecer umbrales de dosis. Datos confiables permitirían afirmar que las Dosis umbrales se encontrarían entre 0,5 y 1 Gy. Más allá de los modelos experimentales, los datos epidemiológicos de malformaciones supuestamente radioinducidas son tan escasos que no permiten establecer relaciones causales inequívocas.

6.4.3 Período fetal: Se extiende entre las semanas 8 y 37 de EG. La diferenciación de los sistemas tisulares, como podemos imaginar son procesos extremadamente complejos. Dentro de este período debemos recordar muy especialmente el desarrollo del Sistema Nervioso Central (SNC) que como veremos más adelante se constituye en el sistema más vulnerable. Sin duda, el Retraso Mental Severo (RMS) es el efecto más importante durante este período. El sistema Nervioso en desarrollo resulta un blanco particularmente sensible. Los momentos críticos para la generación de RMS en el humano se encuentran comprendidos entre la semana 8 y 15 de EG y las semanas 16 y 25 de EG, con un riesgo asociado de $40 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ y $10 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ respectivamente. Otras manifestaciones relacionadas con la irradiación del SNC durante la vida prenatal se asocian con disminución del IQ (coeficiente intelectual), convulsiones durante la infancia y trastornos de aprendizaje.

6.4.4 Radiocarcinogénesis asociada a irradiaciones prenatales. Numerosos estudios de epidemiológicos han demostrado un aumento de la incidencia de tumores sólidos y leucemias infantiles en niños expuestos "in utero".

6.5 MARCO LEGAL

El *decreto 1832 del 03 de agosto de 1994* de la legislación Colombiana establece que las Radiaciones ionizantes pueden producir enfermedad ocupacional en

operaciones tales como: Extracción y tratamiento de minerales radioactivos; fabricación de aparatos médicos para radioterapia; empleo de sustancias radioactivas y Rayos X en laboratorios; fabricación de productos químicos y farmacéuticos radioactivos; fabricación y aplicación de productos luminiscentes con sustancias radioactivas; trabajos en las industrias y los comercios que utilicen Rayos X sustancias radioactivas, y trabajos en las consultas de radiodiagnóstico, de radioterapia en clínicas; hospitales y demás instituciones prestadoras de servicios de salud y en otros trabajos con exposición a radiaciones ionizantes con alta, mediana, baja y ultrabaja densidad.¹⁶

Tabla 6. Legislación Colombina sobre Radiaciones Ionizantes (Ministerio de Minas Colombia)

| LEGISLACIÓN | COMENTARIO |
|------------------------------|--|
| LEY 28 DE 1943 | Establece prestaciones especiales para trabajadores en comunicaciones (artículo 1). |
| Decretos 2663 y 3743 de 1950 | Código Sustantivo del Trabajo, adoptados por la Ley 141 de 1961 como legislación permanente, establecen vacaciones especiales para el personal que labora con rayos X. (Artículo 186). |
| Decreto 2638 de 1955 | Por el cual se dictan normas sobre descubrimiento, explotación, beneficio y distribución de sustancias radiactivas |
| Decreto 0448 de 1956 | Por el cual se crea el Instituto Colombiano de Asuntos Nucleares con el objeto principal de elaborar y desarrollar un programa para fomentar las aplicaciones de la energía atómica para fines pacíficos. |
| Decreto 0295 de 1958 | Regula el control sobre las importaciones, uso y aplicaciones de los isótopos radiactivos. |
| Decreto 1304 de 1958 | por el cual se establece la Comisión de Energía Atómica de Colombia, para reemplazar al Instituto Colombiano de Asuntos Nucleares, asignándosele el control de las importaciones, uso y aplicación de isótopos radiactivos . |
| Decreto 2345 de 1959 | Por medio del cual se organiza el Instituto de Asuntos Nucleares (IAN), para reemplazar la Comisión de Energía Atómica de Colombia. |
| Decretos 1050 y 3130 de 1963 | Establecen el régimen del empleado oficial. |
| Decreto 241 de 1967 | Legisla en relación con el empleo de equipos y materiales que produzcan radiaciones (Artículo 26). |

¹⁶ www.dafp.gov.co/leyes/D1832_94.HTM

| LEGISLACIÓN | COMENTARIO |
|--|--|
| Decreto 1848 de 1969 | Establece vacaciones para empleados oficiales que laboran con Rayos X (Artículo 43). |
| Resolución 0894 de 1971 del Ministerio de Salud | Por la que se adoptan medidas para la protección de la salud en el funcionamiento de equipos emisores de radiaciones ionizantes y en el uso de sustancias radiactivas. |
| Decreto 2811 de 1974 | Código de Recursos Naturales, se refiere a la necesidad de establecer un control al uso, importación, comercialización y disposición de sustancias radiactivas, así como a la operación de equipos productores de radiaciones ionizantes, para proteger a los seres vivos y al ambiente (Artículo 32). |
| Decreto 137 de 1975 | Por el cual se declaran de reserva especial unos yacimientos de minerales radiactivos. |
| Decreto 694 de 1975 | Establece el Estatuto de Personal para el Sistema Nacional de Salud. En el Art. 66 establece vacaciones cada 6 meses. |
| Decreto 625 de 1976 | Por el cual se declaran de reserva especial unos yacimientos de minerales radiactivos. |
| Decreto 2396 de 1977 | Por el que se autoriza la constitución de COLURANIO. |
| LEY 9 DE 1979 | Aprueba el Código Sanitario. Legisla sobre las radiaciones ionizantes y los materiales radiactivos. Establece que todo usuario de equipos o materiales productores de radiaciones ionizantes debe tener licencia del Ministerio de Salud. El mismo Ministerio hace cumplir las normas de protección de la salud. La expedición de normas la hará el Ministerio de Salud, previa consulta con los organismos técnicos especializados. Establece la licencia del Ministerio para la importación de equipos de Rayos X (Artículos 149 a 154). |
| Decreto 1468 de 1979 | Reglamenta el Decreto 694 de 1975 |
| Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social | Estatuto de Seguridad Industrial, señala las condiciones de control sanitario que han de observarse en relación con los trabajadores que manejan sustancias radiactivas: controles, dosis, prohibiciones, blindajes, prevención de riesgos, protección personal, etc. (Artículos 97 a 109). |
| Decreto 1076 de 1982 | Por medio del cual se aprueban los Estatutos del Instituto de Asuntos Nucleares. |
| Decreto 2104 de 1983 | Reglamenta el Código de Recursos Naturales, contemplando el manejo de los residuos sólidos radiactivos, en consulta con el Instituto de Asuntos Nucleares (Artículos 6, 92, 94 y 98). Derogado por el Artículo 123 del Decreto 605 de 1996. |
| Decreto 614 de 1984 | Código de Salud Ocupacional, se refiere a la necesidad de proteger a los trabajadores contra las radiaciones ionizantes (Artículo 2, literal e). |
| Resolución 13382 de 1984 del Ministerio de Salud | Adopta medidas para protección de la salud en el manejo de Rayos X, otras fuentes de radiaciones ionizantes y en el uso de sustancias radiactivas en diagnóstico y terapia, haciendo obligatoria la obtención de una licencia de funcionamiento y carnés de operadores a los profesionales ocupacionalmente expuestos. |

| | |
|--|---|
| Resolución 2309 de 1986 del Ministerio de Salud | Reglamenta el manejo que debe darse a los desechos radiactivos (Artículos 2, 9, 11, 21, 38 y 61). |
| LEY 56 DE 1988 | Código del Menor, se refiere a que los menores de edad no deben laborar con radiaciones ionizantes (Artículo 245, numeral 5). |
| Decreto 2655 de 1988 | Código de Minas, trata lo relativo a la importación y uso de materiales radiactivos que requieren autorización previa del Instituto de Asuntos Nucleares. La exportación de minerales radiactivos requiere de un compromiso previo de uso pacífico de los mismos. |
| Decreto 2666 de 1989 | Se refiere a normas sobre despacho de mercancías (Artículos 181 y 182) |
| Resolución 13824 de 1989 del Ministerio de Salud | Suspende la prueba de abreugrafía como examen de ingreso al trabajo, así como el examen periódico de vigilancia epidemiológica. |
| Decreto 0758 de 1990 | Por el cual se establecen unas pensiones especiales en caso del personal que labora con radiaciones ionizantes (Artículo 15, literal c). |
| Resolución 09031 de 1990 del Ministerio de Salud | Dicta normas y establece procedimientos relacionados con la operación de equipos de Rayos X (de uso médico e industrial) y otros emisores de radiaciones ionizantes. Reglamenta el licenciamiento de toda fuente emisora de radiaciones ionizantes, así como los requisitos técnicos y de personal para dicho licenciamiento. |
| CONSTITUCION NACIONAL DE 1991 | Prohíbe el desarrollo, importación, posesión y uso de armas nucleares (Artículo 81) y la importación de desechos radiactivos (Artículo 79). |
| Decreto 0588 de 1991 | Por el cual se modifican los Estatutos del Instituto de Asuntos Nucleares, para incluir lo relativo a las energías no convencionales. El Decreto establece así mismo, como objetivo de la entidad, “prevenir los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes sobre la población y el medio ambiente, mediante la investigación, reglamentación, supervisión y control de sus aplicaciones”. El Decreto se expidió aprovechando la Ley 29 de 1990. |
| Resolución 7584 de 1991 del Ministerio de Salud | Delega la ejecución y el cumplimiento del programa de Radiofísica Sanitaria de que trata la Resolución 9031 de 1990 del mismo Ministerio, en los Servicios Seccionales de Salud de Antioquia, Boyacá, Caldas, Tolima y Valle. |
| Decreto 1909 de 1992 | Reglamenta el régimen aduanero, en relación con expedición de normas sobre importación, procesamiento y uso de materiales radiactivos (Artículo 153) y la importación de equipos de rayos X (Artículo 154). |
| Decreto 2119 de 1992 | Por medio del cual se reestructura el Instituto de Asuntos Nucleares, modificando su nombre a Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA). |

| | |
|---|---|
| LEY 99 DE 1993 | Por medio de la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se establece la licencia ambiental. |
| LEY 100 de 1993 | Establece el Código Sanitario. |
| Decreto 1494 de 1993 | por medio del cual se modifica la estructura interna del Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas, para que pueda cumplir con las funciones previstas en el Decreto 2119 de 1992. Asigna funciones a la Oficina de Reglamentación y Licenciamiento del INEA. |
| Decreto 1281 de 1994 | Reglamenta la Ley 100 de 1993. Establece que los trabajos con radiaciones ionizantes son actividades de alto riesgo. Establece una pensión especial de vejez para los anteriores trabajadores (Artículos 1 a 3). |
| Decreto 1295 de 1994 | Reglamenta la organización y la administración del Sistema General de Riesgos Profesionales. El Artículo 64 establece como empresas de alto riesgo las que laboran con materiales radiactivos. El Artículo 65 dice que en esas empresas, el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, en coordinación con el Ministerio de Salud, definirá el Sistema de Vigilancia Epidemiológica y de Control de Riesgos Profesionales. El Ministerio de Trabajo y Seguridad Social supervisará a las empresas de alto riesgo, especialmente en la aplicación de los programas de salud ocupacional y los sistemas de control de riesgos profesionales. Las empresas de alto riesgo presentarán informes sobre el desarrollo de sus programas de salud ocupacional. |
| Decreto 1753 de 1994 | Reglamenta la expedición de licencias ambientales para ciertas actividades, como el transporte y disposición de desechos peligrosos (Artículo 8). |
| Decreto 1831 de 1994 | clasifica las actividades económicas para el Sistema General de Riesgos Profesionales |
| Decreto 1832 de 1994 | Establece las tablas de enfermedades profesionales, incluyendo las producidas por radiaciones ionizantes (Artículo 1). |
| Decreto 1835 de 1994 | Por medio de los cuales se consideran y reglamentan las actividades de alto riesgo, en desarrollo del Artículo 140 de la Ley 100 de 1993. |
| Resolución 0189 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente | Por la que se impide el ingreso al país de desechos peligrosos. |
| Decreto 10 de 1995 | Por el que se reestructura el Ministerio de Minas y Energía, modificando el Decreto 2119 de 1992. |
| Decreto 30 de 1995 | Desarrolla la estructura de regulación de energía y gas como Unidad Administrativa Especial del Ministerio de Minas y Energía. |

| | |
|---|--|
| Decreto 2100 de 1995 | Establece las tablas de clasificación de actividades económicas para el Sistema General de Riesgos Profesionales, entre ellas las de clase 1 (consultorios odontológicos cuyas unidades radiológicas cumplan con las normas de radioprotección vigentes), y clase 5 (centros de radiodiagnóstico y radioterapia; institutos de ciencias nucleares -como INGEOMINAS-; manejo de desechos radiactivos; consultorios odontológicos cuyas unidades radiológicas no cumplan con las normas de radioprotección vigentes; instalación, reparación y mantenimiento de equipos de Rayos X, equipos/fuentes de material radiactivo). |
| Decreto 2150 de 1995 | Establece normas sobre el medio ambiente (Artículos 1 a 9) y modifica parcialmente el Decreto 1281 de 1994 (Art. 116). |
| Decreto 605 de 1996 | Designa al productor de desechos radiactivos y a la entidad que él contrate para su manejo, como responsables, por los efectos nocivos a la población y al ambiente. |
| Decreto 2174 de 1996 | Establece que todas las entidades, naturales y jurídicas, que hacen parte del Sistema General de Seguridad Social en Salud, deben tener Manual de Calidad, Manual de Procedimientos, Informes de Calidad, Planes de Mejoramiento. |
| Decreto 2240 de 1996 | Por el que se dictan normas que deben cumplir las instituciones prestadoras de servicios de salud (incluye tratamiento de desechos líquidos radiactivos). |
| Resolución 099 de 1996, del INEA | Por la cual se establecen requisitos para la prestación de servicios de dosimetría personal individual. |
| Resolución 4445 de 1996 del Ministerio de Salud | Sobre normas acerca de las condiciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos hospitalarios y similares (incluye en el Artículo 32 servicios de imagenología: Rayos X, Resonancia Magnética Nuclear, Medicina Nuclear). |
| Decreto 1682 de 1997 | Por el cual se suprime el Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas. |
| Decreto 2740 de 1997 | Por el cual se asignan funciones del Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas a la Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas y Energía. |
| Resolución 4252 de 1997, del Ministerio de Salud, | Establece normas técnicas, científicas y administrativas sobre los requisitos esenciales para la prestación de servicios de salud. Determina el procedimiento de registro de la Declaración de Requisitos Esenciales y se dictan otras disposiciones (incluye radiología e imágenes diagnósticas, radioterapia oncológica). |
| LEY 430 DE 1998 | Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones. Establece principios para minimizar la producción e impedir la importación de desechos peligrosos, así como para disponer de ellos de manera adecuada. |

| | |
|--|---|
| Decretos 1451 y 1452 de 1998 | Por medio de los cuales se distribuyen las funciones del Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas entre el Ministerio de Minas y Energía y el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS), respectivamente. |
| LEY 09 DE 1999 | Por la cual se dictan medidas sanitarias (Artículos 150 a 154) |
| LEY 491 DE 1999 | Por la que se reforma el Código Penal, estableciendo como un delito especial el tráfico ilícito con sustancias radiactivas y armas nucleares. |
| Decreto 1122 de 1999 | Por el que se suprimen trámites en relación con la licencia ambiental (Artículo 90). |
| Decreto 1129 de 1999 | Por el cual se estructura el Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear, Ingeominas. |
| Decreto 1141 de 1999 | Por el cual se reestructura el Ministerio de Minas y Energía, asignándosele funciones de fijar la política en materia de energía nuclear y manejo de materiales radiactivos, así como de regulación y reglamentación de las actividades nucleares. |
| Resolución 0238 de 1999 del Ministerio de Salud | Modifica parcialmente la Resolución 4445 de 1996 del mismo Ministerio y se establecen requisitos esenciales para la prestación de servicios de Consulta Externa en Odontología. |
| Resolución 1995 de 1999 del Ministerio de salud | Establece normas para el manejo de historias clínicas (incluye conservación de imágenes diagnósticas). |
| LEY 599 de 2000 (CODIGO PENAL) | Artículos 358 a 363 y 367, penalizan la importación, adquisición, exportación, tenencia, suministro, tráfico, transporte y eliminación de sustancias radiactivas, así como el uso de isótopos radiactivos, hechos sin las respectivas autorizaciones. Prohíbe la introducción de desechos nucleares al país. Penaliza conductas que pongan en peligro el funcionamiento de las instalaciones nucleares. Establece penas para quienes desarrollen, importen, almacenen, suministren armas nucleares. |
| Decreto 567 de 2000 | Por el cual se asignan al Ministerio de Minas y Energía funciones de licenciamiento y control de los materiales nucleares y de verificar el empleo pacífico de la tecnología nuclear. De esta manera, el Ministerio se convierte en la Autoridad Reguladora. |
| Resolución #8-0250 del 14 de Marzo de 2000 del Ministerio de Minas y Energía | Delegando transitoriamente a la Unidad de Planificación en Minería y Energía del mismo Ministerio, las funciones de reglamentación de las actividades nucleares. |
| Resolución #8-0329 de 2000 del Ministerio de Minas y Energía | Delegando transitoriamente al Ingeominas, las funciones de licenciamiento y control de materiales nucleares. |

| | |
|---|---|
| Circular 001 del 2000 de la Dirección General de Salud Ocupacional y Riesgos Profesionales del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social | Sobre conformación de Brigadas de Emergencia,.....,protección frente a la radiactividad y radiaciones ionizantes. |
| DECRETO 783/2001, de 6 de julio | Por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. |
| Resolución 181434 de diciembre de 2002 | Por el cual adopta el reglamento de protección y seguridad radiológica. |
| Resolución 181304 de octubre de 2004 | Por el cual se reglamente la expedición de la licencia de manejo de materiales radiactivos |
| Resolución 181289 de octubre 2004 | Por el cual establecen los requisitos para la obtención de licencia para la prestación del servicio de dosimetría personal. |
| resolución 181478 de Noviembre de 2004 | Por el cual reglamenta el procedimiento para la evaluación de las inspecciones a las instalaciones donde se gestionan materiales reactivos y nucleares. |
| Resolución 180208 de febrero de 2005 | Por la cual se modifican y adicionan las resoluciones 181304 y 181478 de 2004 |

(Ver anexo 3) Resolución No. 18 0208 de febrero 25 de 2005

En el párrafo del artículo 115 de la resolución 2400 de 1979 cuyo objetivo es preservar y mantener la salud física y mental, prevenir accidentes y enfermedades profesionales, para lograr las mejores condiciones de higiene y bienestar de los trabajadores en sus diferentes ocupaciones y actividades se menciona que “por lo que respecta a otros órganos que no sean las gónadas, los órganos hematopoyéticos y los cristalinos, un trabajador no recibirá en un trimestre una dosis superior a los siguientes valores (tabla 7)”

Tabla 7. Clasificación y límites de dosis para los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes en Colombia, según la resolución 2400 de 1979

| | |
|---|---------|
| Los cristalinos, los huesos, la tiroides o la piel, se admitirá una dosis de: | 4 Rems* |
| En Huesos, se admitirá una dosis de: | 8 Rems |
| En Tiroides, se admitirá una dosis de: | 8 Rems |
| En piel de las distintas partes del cuerpo se admitirá una dosis de: | 8 Rems |
| Planos, antebrazos, pies y tobillos, se admitirá una dosis de: | 10 Rems |

* Antigua unidad de dosis equivalente y de dosis efectiva. 1 rem = 0,01 J/Kg. En el Sistema Internacional de Unidades ha sido sustituido por el Sievert: 1 Sv = 100 rem

Tabla 8. Límites de dosis para la exposición de la población (Centro Nacional de Dosimetría, Ministerio de sanidad y Consumo. España)

| LIMITES DE DOSIS PARA LA EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN | |
|---|--|
| LIMITES ANUALES DE DOSIS PARA LOS MIEMBROS DEL PUBLICO (en mSv) | |
| Tipo de exposición | Límites establecidos por la Directiva Europea 96/29 (Euratom, 1996) y Reglamento protección radiológica (MINECO, 2000) |
| Dosis Efectiva | 1 mSv |
| Cristalino | 15 mSv |
| Piel | 50 mSv |

Tabla 9. Clasificación y límites de dosis para los trabajadores expuestos (Centro Nacional de Dosimetría, Ministerio de sanidad y Consumo. España)

| CLASIFICACIÓN Y LÍMITES DE DOSIS PARA LOS TRABAJADORES EXPUESTOS | |
|--|--|
| LÍMITES ANUALES DE DOSIS PARA LOS TRABAJADORES EXPUESTOS (en mSv) | |
| Tipo de exposición | Límites establecidos por la Directiva Europea 96/29 (Euratom, 1996) y Reglamento protección radiológica (MINECO, 2000) |
| Exposición homogénea cuerpo entero o Dosis Efectiva (suma de la dosis por exposición externa y la dosis comprometida a 50 años por incorporaciones durante el periodo) | 100 mSv en 5 años(*) 50 mSv máximo anual |
| Cristalino | 150 mSv |
| Piel, manos, antebrazos, tobillos | 500 mSv |
| Mujeres en edad de procrear | Igual que a los hombres |
| Mujeres gestantes (dosis al feto) | 1 mSv total |
| Trabajadores Categoría A | Si es probable que reciban una dosis efectiva superior a 6mSv al año, o dosis equivalente superior a 3/10 de los límites para cristalino, piel y extremidades |
| Trabajadores Categoría B | Si no es probable que reciban una dosis efectiva superior a 6mSv al año, o dosis equivalente superior a 3/10 de los límites para cristalino, piel y extremidades |
| Estudiantes y aprendices mayores de 18 años | Igual que a los trabajadores, categoría A o B, según corresponda |
| Estudiantes y aprendices entre 16 y 18 años | 6 mSv / año dosis efectiva 50 mSv (cristalino) y 150 mSv (piel y extremidades) |
| (*) En promedio no se deberán superar los 20mSv al año. | |

6.6 MEDIDAS DE PREVENCIÓN

6.6.1 Normas específicas de protección contra radiaciones ionizantes. Las normas básicas de protección contra la radiación externa dependen de tres factores:

– **Limitación del tiempo de exposición.** La dosis recibida es directamente proporcional al tiempo de exposición, por lo que, disminuyendo el tiempo, disminuirá la dosis. Una buena planificación y un conocimiento adecuado de las operaciones a realizar permitirá una reducción del tiempo de exposición.

– **Utilización de pantallas o blindajes de protección.** Para ciertas fuentes radiactivas la utilización de pantallas de protección permite una reducción notable de la dosis recibida por el operador. Existen dos tipos de pantallas o blindajes, las denominadas barreras primarias (atenúan la radiación del haz primario) y las barreras secundarias (evitan la radiación difusa).

– **Distancia a la fuente radiactiva.** La dosis recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente radiactiva. En consecuencia, si se aumenta el doble la distancia, la dosis recibida disminuirá la cuarta parte. Es recomendable la utilización de dispositivos o mandos a distancia en aquellos casos en que sea posible.

6.6.2 Controles en la fuente

- Seleccionar las sustancias radiactivas y equipos emisores de radiaciones ionizantes con el menor riesgo para su uso.
- Restringir los materiales radiactivos en áreas especificadas (solo llevar al área el material estrictamente necesario).
- Emplear la mínima cantidad de actividad de material radiactivo que sea necesaria para el fin que se persigue.
- Segregar (separar) el instrumental que se usa para la manipulación de material radiactivo.
- Exigir a los proveedores garantía de calidad de fuentes adquiridas (fabricación, blindaje, certificado de pruebas de escapes y transporte seguro).
- Realizar calibración y mantenimiento de equipos.
- Almacenar y disponer en forma segura los desechos. Gestionar su disposición final mediante convenios con el proveedor de la fuente o entidades autorizadas.

6.6.3 Controles en el medio

– **Diseño de la parte estructural:** Barreras primarias y secundarias.

- Los blindajes para la construcción, adaptación o remodelación deben determinarse con base en una memoria analítica o de cálculo.
- La altura de blindaje para las paredes de una instalación no debe ser inferior a 2.1 metros previa evaluación de las áreas colindantes.
- En instalaciones fijas, es indispensable que la protección del operador durante la exposición consista en una mampara fija si la consola de control está dentro de la sala de rayos X.
- Toda instalación debe contar con una verificación de blindaje realizada y documentada por un asesor especializado en seguridad radiológica.

– **Demarcar y señalar.** Demarcar y señalar el área de acuerdo con las normas internacionales y resaltar la prohibición respecto a mujeres embarazadas y niños. La clasificación en distintos tipos de zonas se efectúa en función del riesgo existente en la instalación:

- Zona de libre acceso. Es aquella en que es muy improbable recibir dosis superiores a 1/10 de los límites anuales de dosis. En ella no es necesario tomar medidas de protección radiológica.
- Zona supervisada. Es aquella en que no es improbable recibir dosis superiores a 1/10 de los límites anuales de dosis, siendo muy improbable recibir dosis superiores a 3/10 de dichos límites. Existe vigilancia de las condiciones de exposición ocupacional pero no requiere medidas protectoras adicionales.
- Zona controlada. Zona sujeta a supervisión y controles especiales con fines de protección radiológica. Es aquella que no es improbable recibir dosis superiores a 3/10 de los límites anuales de dosis.

- Aislar el material radiactivo mediante el uso de recipientes blindados.
- Manipular el material radiactivo dentro de cabinas de guantes blindadas.
- Manipular el material con instrumentos (pinzas, protectores plomados de jeringas, guantes plomados, etc.).
- Utilizar barreras plomadas portátiles con su reglamento de empleo.
- Instalar campanas extractoras de gases y vapores en áreas que lo requieran.
- Instalar sistemas de alarmas para detección de dosis de radiación ionizante anormales.
- Limitar el haz útil de radiación.
- Reglamentar la protección radiológica para el manejo de equipos y sustancias

6.6.4 Controles en el trabajador

– **Capacitación, inducción y entrenamiento.** Previo al inicio de su actividad, deberán recibir una formación adecuada en materia de protección radiológica y deberán asimismo ser informados e instruidos al nivel adecuado sobre el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo, que incluirá los siguientes aspectos:

- Riesgos de las radiaciones ionizantes y sus efectos biológicos.
- Normas generales de protección y precauciones a tomar durante el régimen normal de trabajo y en caso de accidente.
- Normas específicas, medios y métodos de trabajo para su protección en las operaciones a efectuar.
- Conocimiento y utilización de los instrumentos de detección y medida de radiaciones y de los equipos y medios de protección personal.
- Necesidad de efectuar reconocimientos médicos periódicos.
- Actuación en caso de emergencia.
- Importancia del cumplimiento de las medidas técnicas y médicas.

- Responsabilidades derivadas de su puesto de trabajo con respecto a la protección radiológica.¹⁷

– **Dosimetría personal mensual.** Para todo el personal expuesto a radiaciones ionizantes. Esta dosimetría se recomienda que se haga con dosímetros de película o TLD (termoluminiscencia).

– **Dosimetría personal de lectura directa.** Para registro temporal en procedimientos con radiaciones ionizantes que impliquen alta tasa de dosis o exposición ocasional.

– **Equipos de protección personal plomados.** Tales como delantales, protectores de tiroides, gónadas, guantes, protectores oculares, máscaras, equipo de protección de cuerpo entero con suministro de aire. La selección del equipo de protección personal que se vaya a utilizar debe estar de acuerdo con el tipo de exposición.

– **Aplicación de protocolos de manejo de sustancias y equipos radiactivos.** Controles médicos y de laboratorio de acuerdo con las recomendaciones técnicas.¹⁸

– **Examen preocupacional.** Para el reconocimiento preocupacional es necesario solicitar al trabajador que ingrese a las áreas de exposición los siguientes exámenes: Hemoleucograma, sedimentación y extendido de sangre periférica (tipo V), componentes:

- Eritrocítico, incluye recuento de reticulocitos
- Leucocitario
- Plaquetario
- Hemoglobina

¹⁷ www.fondoriesgosprofesionales.gov.co/MarcoConceptual/leyes.asp

¹⁸ Guía reguladora de Seguridad Radiológica para la Práctica de Radiodiagnóstico Médico. ARCAL, OIEA 2000

- Hematocrito
- Volumen corpuscular medio
- Hemoglobina corpuscular media
- Concentración media de hemoglobina corpuscular
- Urea, creatinina, BUN
- Bilirrubinas total y directa, fosfatasas alcalinas, Espermograma
- LH, FSH
- T3, T4, TSH

– **Declaración de no aptitud al examen de ingreso**

- Menores de 18 años
- Mujeres en embarazo o lactantes
- Personas con nefropatía
- Personas con hepatopatía
- Neuropatía central
- Tuberculosis
- Dermatitis crónicas
- Quienes al hemograma presenten:
 - Leucocitos menores de 4.000 o mayores de 15.000
 - Neutrofilos menores de 2.400
 - Linfocitos menores de 1.000
 - Hematíes menores 3´500.000 o mayores de 5´900.000
 - Reticulocitos más del 2%
 - Variaciones en el recuento de leucocitos, en exámenes repetidos, mayores del 10%.
- **Examen médico periódico:** En los reconocimientos médicos periódicos, además de las exploraciones clínicas que el médico juzgue pertinentes, se realizará un estudio de hemograma completo y demás pruebas de laboratorio

descritas en el examen preocupacional y se vigilarán también las enfermedades objeto de vigilancia.

- Los exámenes médicos periódicos serán anuales.
- Cuando el riesgo de exposición a radiación ionizante sea próximo al promedio del límite permisible 20 mSv por año, la periodicidad será semestral.

Si se presentan alteraciones (neutropenia, leucopenia, trombocitopenia) se retirará al trabajador de la exposición al riesgo y se hará control hematológico a los 25 días. Si transcurrido un mes el análisis hematológico es normal, el trabajador podrá regresar a su sitio de trabajo; de lo contrario deberá mantener separado de la exposición hasta tanto se normalice su cuadro hemático.

Si los análisis de laboratorio son normales podrá regresar a su sitio de trabajo al completar el mes; de lo contrario hasta cuando los análisis de laboratorio sean normales. En general, donde los exámenes anotados resulten alterados, a consideración del médico ocupacional, se puede realizar exámenes complementarios de tipo cromosómico, como el de intercambio de cromátides hermanas para detectar alteraciones a nivel de ADN.

Es importante tener en cuenta en el seguimiento la presentación de cuadros agudos o crónicos.

- **Examen médico de retiro:** Se debe realizar el examen médico de retiro en el cual se consigne los hallazgos clínicos, los exámenes de laboratorio realizados al momento de retiro de la empresa, bien sea por pensión o porque cese el nexo laboral con la empresa. Se debe elaborar un resumen en la historia clínica de los datos clínicos y paraclínicos, en el momento en el cual un trabajador se retira de la empresa, con destino a una nueva vinculación laboral.

La historia clínica ocupacional de las personas expuestas a radiaciones ionizantes se deberá guardar en la empresa por un período de 40 años contados a partir del retiro del trabajador.

7. METODOLOGÍA

Fue utilizada la metodología denominada revisión documental sobre medidas preventivas para evitar efectos en la salud asociados a la exposición ocupacional crónica a radiaciones ionizantes. Se desarrolló en tres fases, búsqueda de estudios de investigación, selección y análisis.

7.1 BUSQUEDA DE DOCUMENTOS

La búsqueda fue realizada por medio de las bases de datos de las ciencias biomédicas: Biomed, Cochrane, Dynamed, EBM Reviews, LILACS, MD Consult, Medline, Ovid, Ovid-Medical, Paho, ProQuest, Pub Med, Scielo Pubmed y Scient direct, utilizando las palabras clave de referencia para la ubicación de documentos bibliográficos.

Las palabras clave utilizadas en idioma inglés, que hacían referencia al tema sobre radiaciones ionizantes, medidas preventivas y efectos en la salud fueron: Preventive measures of ionizing radiation, Ionizing radiation and their prevention, Preventive measures in workers exposed to ionizing radiation, Radiation ionizantes, health effects, workers exposed to radiation, radiation and its effects, alterations organic by ionizing radiation, ionizing radiation and their consequences.

Los criterios de selección que se tuvo en cuenta para la elección de los artículos fueron: estudios investigativos a nivel mundial, sin distingo de región, se consultó en idioma ingles, que es el idioma universal para la presentación de nuevos estudios de investigación a la comunidad científica. Se realizó una delimitación temporal en la que se eligieron estudios desde el año 1987 hasta el año 2006.

Inicialmente se hallaron 42 artículos que posteriormente fueron depurados a 12 artículos que daban respuesta a los objetivos planteados.

Tabla 10. Clasificación de Estudios

| N° DE ESTUDIOS | TIPO DE ESTUDIO |
|----------------|---------------------|
| 8 | Cohorte |
| 2 | Casos y controles |
| 1 | Revisión documental |
| 1 | Estudio de caso |

7.2 SELECCIÓN DE DOCUMENTOS

De acuerdo al objetivo propuesto, a las diferentes características y a los requerimientos exigidos para reunir las condiciones de elegibilidad, de los 42 artículos hallados, solo 12 cumplían con los requerimientos para responder a la pregunta formulada, y además se encontraban en el tiempo de publicación definido, los tamaños de la población o de las muestras fueran los indicados y el estudio arrojara conclusiones sobre las medidas preventivas para evitar efectos en la salud en trabajadores que se encuentra expuestos a radiaciones ionizantes. Se descartaron aquellos estudios cuya temática era ajena al tema ocupacional, es decir, si trataban sobre aspectos medio ambientales o efectos sobre la salud pública o de la salud no ocupacional. De igual manera se filtró información descartando investigaciones que no tuvieran énfasis en los efectos en la salud. Por otra parte no se tuvieron en cuenta artículos cuyo idioma fuera diferente al inglés (ver tabla 10).

Tabla 11. Documentos Seleccionados

| NUMERO | TITULO | AÑO DE PULICACIÓN | AUTOR | PAIS DONDE SE REALIZÓ | IDIOMA EN QUE SE PUBLICA | MEDIO DE PUBLICACIÓN |
|--------|---|-------------------|---|-----------------------|--------------------------|--|
| 1 | Aberraciones cromosómicas en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes | 2004 | Hernando Baquero Pulido, Gonzalo Guevara Pardo, Marcela Giraldo Suárez, Luz Marina Osorio Soto | Colombia | Español | Revista Ciencias de la Salud, vol. 2, número 001, 2004 Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia |
| 2 | Estable e inestable aberraciones cromosómicas medido después de la exposición profesional a las radiaciones ionizantes y ultrasonido | 2007 | Aleksandra Fučić, Davor Želježić, Vilena Kašuba, Nevenka Kopjar, Ružica Rozgaj, Ružica Lasan, August Mijić, Vlasta Hitrec, and Joe Nathan Lucas | Croacia | Ingles | Croat Med J 2007;48:371-377 |
| 3 | Gonadal dosis de radiación ionizante emitido durante los exámenes de rayos X y la probabilidad mensual de embarazo. | 2006 | Sandra Sinno-Tellier, Jean Bouyer, Béatrice Ducot, Beatrice Geoffroy- Perez, Alfred Spira and Remy Slama | Francia | Ingles | Published online 2006 March 3. doi: 10.1186/1471-2458-6-55. |
| 4 | Exposición a dosis bajas de radiación ionizante en el Hospital Universitario del Valle, Cali, 1980-1992 | 1996 | Rafael Caicedo, Gloria Argüelles, Alberto Alzate. | Colombia | Español | Revista Colombia Médica Vol. 27 N° 3-4, 1996 |
| 5 | La exposición a las radiaciones ionizantes aprendices ortopédicos: el efecto de la sub-especialidad de formación. | 2006 | Mr MJ Oddy, Mr CH Aldam | Reino Unido | Ingles | Revista Ann R Coll Surg Engl 2006; 88: 297–301 |
| 6 | La radiación ionizante y la leucemia linfocítica crónica | 2004 | David B. Richardson, Steve Wing, Jane Schroeder, el de Inge Schmitz-Feuerhake, y Wolfgang Hoffmann | EE.UU | Ingles | Environmental Health Perspectives • VOLUME 113 NUMBER 1 January 2005. |
| 7 | Pasado la exposición a las radiaciones ionizantes de gran densidad deja una única firma permanente en el genoma. | 2001 | M. Prakash Hande, Tamara V. Azizova, Charles R. Geard, Ludmilla E. Burak, Catherine R. Mitchell, Valentin F. Khokhryakov, Evgeny K. Vasilenko, and David J. Brenner | Rusia | Ingles | Revista Am. J. Hum. Genet. 72:1162–1170, 2003 |
| 8 | Primer análisis de la incidencia de cáncer y la exposición a la radiación ocupacional basado en el Registro Nacional de dosis de Canadá | 2001 | W. N. Sont, J. M. Zielinski, J. P. Ashmore, H. Jiang, D. Krewski, M. E. Fair, P. R. Band and E. G. Létourneau | Canada | Ingles | American Journal of Epidemiology Vol. 153, No. 4 : 309-318 |

| NUMERO | TITULO | AÑO DE PULICACIÓN | AUTOR | PAIS DONDE SE REALIZÓ | IDIOMA EN QUE SE PUBLICA | MEDIO DE PUBLICACIÓN |
|--------|---|-------------------|--|-----------------------|--------------------------|--|
| 9 | Respuesta transcripcional de células a la radiación ionizante | 2004 | Kuang Yu-Jen y Vivian Cheung | EE.UU | Ingles | Revista Genoma Research, August 12, 2003, 10.1101/gr.1240103 |
| 10 | Riesgo de cáncer después de dosis bajas de radiación ionizante: estudio de cohorte retrospectivo en 15 países | 2005 | E Cardis, M Vrijheid, M Blettner, E Gilbert, M Hakama, C Hill, G Howe, J Kaldor, C R Muirhead, M Schubauer-Berigan, T Yoshimura, F Bermann, G Cowper, J Fix, C Hacker, B Heinmiller, M Marshall, I Thierry-Chef, D Utterback, Y-O Ahn, E Amoros, P Ashmore, A Auvinen, J-M Bae, J Bernar Solano, A Biau, E Combalot, P Deboodt, M Eklof, G Engholm, G Gulis, R Habib, K Holan, H Hyvonen, A Kerekes, J Kurtinaitis, H Walker, M Martuzzi, A Mastauskas, A Monnet, M Moser, M S Pearce, D B Richardson, F Rodriguez-Artalejo, A Rogel, H Tardy, M Telle-Lamberton, I Turai, M Usel, K Veress, lecturer. | EE.UU | Ingles | British Medical Journal > v.331(7508); Jul 9, 2005 |
| 11 | La exposición de las manos a las radiaciones ionizantes en la sala de reanimación en un accidente y servicio de urgencias | 1992 | R. J. Evans, S. & T. Cusack PARKE | EE.UU | Ingles | British Medical Journal. Vol. 55, 272-276 1992. |
| 12 | A nueve años de evaluación de servicio de urgencias del personal de exposición a las radiaciones ionizantes. | 1987 | Grazer, R.E. ; Meislin, H.W. ; Westerman, B.R. ; Criss, E.A. | EE.UU | Ingles | Ann. Emerg. Med. ; Vol/Issue: 3. |

7.3. ANÁLISIS DE DOCUMENTOS

El análisis de los artículos de investigación se elaboró mediante la utilización de fichas descriptivas - analíticas para cada uno de los artículos seleccionados. Dichas fichas se componen de tres diferentes secciones. La primera, contiene el encabezado, que son los datos de identificación del artículo tales como: Título (en el idioma original y su traducción al español), el autor o los autores, el tipo de estudio, el año de aprobación del artículo y el medio de publicación. Una segunda parte corresponde a la información metodológica que se compone de: Objetivo del estudio, antecedentes del estudio, población y/o muestra, resultados y discusión y recomendaciones. Por último, la tercera parte de la ficha descriptiva son las herramientas de reflexión que consta del *Análisis metodológico* que se refiere a la evaluación del artículo y el juzgamiento de su pertinencia como elemento de aporte de información que sea útil a la hora de dar respuesta a los objetivos del proyecto, es donde se define el nivel de interpretación alcanzado por el autor. Esta parte de la ficha además contiene los *Aportes de contenido* que son los comentarios, hallazgos o resultados que responden a los objetivos.

8. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo de presentación y análisis de resultados se desarrolla utilizando el método de análisis por objetivos, buscando dar respuesta a cada uno de ellos.

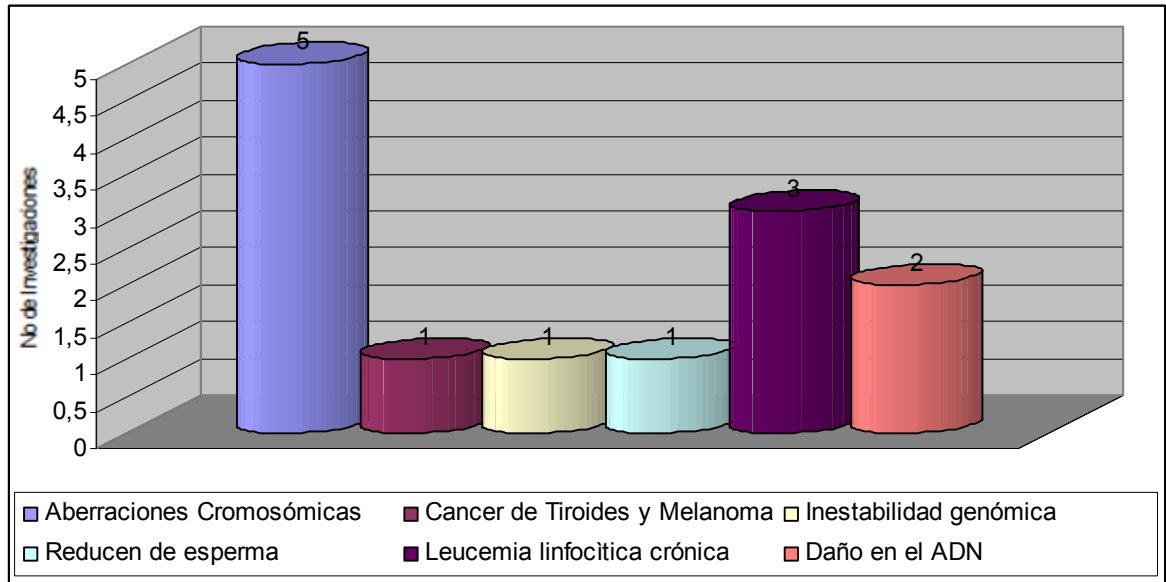
8.1 DESCRIBIR LOS EFECTOS EN LA SALUD DE LAS RADIACIONES IONIZANTES EN ESTE GRUPO DE TRABAJADORES

Personas trabajadoras en el sector salud ya que la irradiación en el personal médico y paramédico ocupa el primer lugar entre las fuentes artificiales de exposición del ser humano, además trabajadores en la industria que utilizan rayos X para radiografía industrial, y las fuentes radioactivas encapsuladas (rayos gamma) para gammagrafía. En la presente investigación se encuentran 5 artículos que no son del sector salud y los 7 restantes son artículos que son del sector salud, pero por su gran importancia de recomendaciones de medidas preventivas se tuvieron en cuenta para el desarrollo de sus objetivos.

Los efectos en la salud en trabajadores que se encuentran con exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes son:

Aberraciones cromosómicas; apoptosis; inducción de mutaciones; inestabilidad genómica; cambios en la expresión de genes; translocaciones; reducción a la mitad de la concentración de esperma gonadal masculino; leucemia linfocítica crónica que parece ser impulsada tanto por aberraciones funcionales en la función inmunológica y por mutaciones somáticas que juega un papel causal en la etiología; alteraciones hereditarias que afectan a las vías de adhesión celular, la polaridad del epitelio y la comunicación celular (ver gráfico 2).

Grafica 1. Efectos de las Radiaciones Ionizantes vs cantidad de investigaciones encontradas



Los efectos de la aberraciones cromosómicas con la exposición ocupacional se encuentran estudiadas en 5 de los 12 artículos, pero se documentan ampliamente en el artículo: “Aberraciones cromosómicas en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes” realizado por Hernando Baquero Pulido y colaboradores, ya que el tema es abordado directamente y de manera más específica y el tamaño de la muestra es de 15 trabajadores, la investigación es de reciente publicación (2004) y se encontró asociación de causa efecto, ya que los autores describen una fuerte asociación entre la exposición ocupacional crónica a las radiaciones ionizantes y las aberraciones cromosómicas.

Los autores indican que la exposición crónica a las radiaciones ionizantes provoca aberraciones cromosómicas y puede ocasionar daños cromosómicos y está en relación directa con el tiempo de exposición y la sensibilidad individual.

El estudio sugiere que los trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes deben tener un seguimiento biológico adicional a la dosimetría como lo son las pruebas citogenéticas.

Igualmente en el artículo No. 2 Aleksandra Fučić y colaboradores indican que después de la exposición profesional a las radiaciones ionizantes y ultrasonido provocan translocaciones y aberraciones inestables.

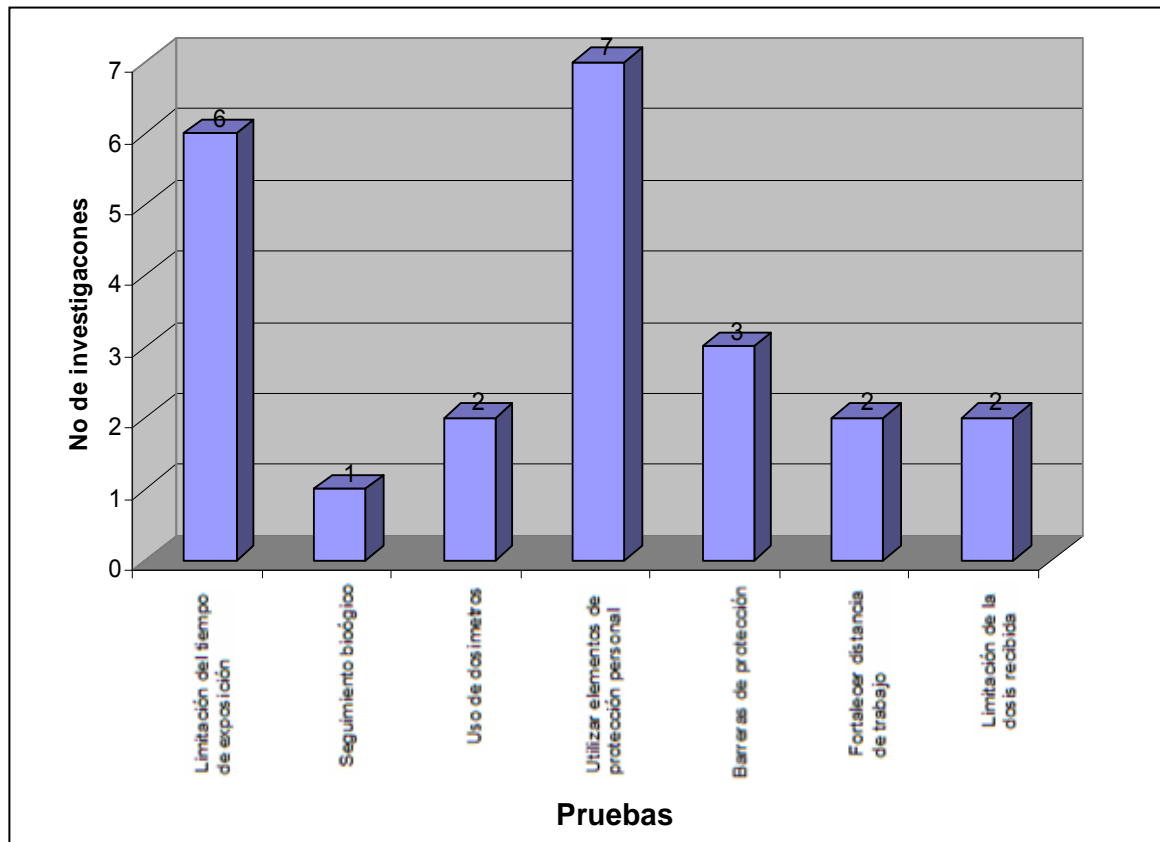
Como lo informa en el artículo No. 6, en la que David B. Richardson y colaboradores indican que la leucemia linfocítica crónica parece ser impulsada tanto por aberraciones funcionales en la función inmunológica. En el artículo No. 7 en donde M. Prakash Hande y colaboradores indican en su estudio “Pasado la exposición a las radiaciones ionizantes de gran densidad deja una única firma permanente en el genoma.” Identificaron aberraciones intracromosomales en los trabajadores altamente expuestos.

8.2 IDENTIFICAR LAS MEDIDAS DE CONTROL A NIVEL DE FUENTE - MEDIO Y DE ATENUACIÓN EN EL TRABAJADOR

Las medidas de control a nivel de las radiaciones ionizantes incluyen:

- Limitación del tiempo de exposición.
- Utilización de pantallas o blindajes de protección.
- Distancia de la fuente radiactiva al trabajador.
- Seguimiento biológico (pruebas citogenéticas).
- Dosimetrías.
- Limitación de la dosis recibida.

Grafica 2. Medidas preventivas para las radiaciones ionizantes vs cantidad de investigaciones encontradas



La utilización de los elementos de protección personal es el método más recomendado y se encontró aplicado en 7 de los 12 artículos, se encuentra descrito con mayor profundidad en el artículo “La exposición de las manos a las radiaciones ionizantes en la sala de reanimación en un accidente y servicio de urgencias” realizado por Evans y colaboradores.

Además en el artículo No 10, realizado por E Cardis y colaboradores, se recomienda intervenir sobre las medidas preventivas mediante la utilización de elementos de protección personal, disminución del tiempo de exposición en áreas de trabajo y limitación de la dosis recibida para evitar efectos en la salud en

trabajadores ocupacionalmente expuestos. Igualmente recomiendan en el estudio realizado por Oddy y Aldam.

Tabla 12. Relación de limitación del tiempo de exposición:

| AUTOR | ESTUDIO | MUESTRA |
|------------------|---------------------|------------------------|
| Hernando y col | Cohorte. | 15 trabajadores |
| Fučić y col | Casos y controles | Muestra 9 trabajadores |
| Richardson y col | Revisión documental | |
| Hande y col | Cohorte | 31 trabajadores |
| Sont y col | Cohorte | 191.333 personas |
| Cardis y col | Cohorte | 407391 trabajadores |

Tabla 13. Medidas preventivas a nivel de seguimiento biológico y uso de dosímetro

| AUTOR | ESTUDIO | MUESTRA | MEDIDA PREVENTIVA |
|------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| Hernando y col | Cohorte. | 15 trabajadores | Seguimiento biológico |
| Fučić y col | Casos y controles | Muestra 9 trabajadores | Uso de dosímetro |
| Richardson y col | Revisión documental | | |

Tabla 14. Medidas preventivas a nivel de uso de elementos de protección personal.

| AUTOR | ESTUDIO | MUESTRA |
|---------------|---------|--------------------------|
| Tellier y col | Cohorte | 1110 relaciones sexuales |
| Caicedo | Cohorte | 19 trabajadores |
| Oddy | Cohorte | 30 personas |
| Sont y col | Cohorte | 191.333 personas |
| Yu-Jen y col | Cohorte | 10 personas |
| Hande y col | Cohorte | 31 trabajadores |
| Cardis y col | Cohorte | 407391 trabajadores |

Tabla 15. Medidas preventivas a nivel de barreras de protección

| AUTOR | ESTUDIO | MUESTRA | MEDIDA PREVENTIVA |
|--------------|----------------|------------------------|--------------------------|
| Oddy | Cohorte | 30 personas | Barreras de protección |
| Hande y col | Cohorte | 31 trabajadores | |
| Cardis y col | Cohorte | 407391 trabajadores | |

Tabla 16. Medidas preventivas a nivel de Fortalecer distancia de trabajo y Limitación de la dosis recibida

| AUTOR | ESTUDIO | MUESTRA | MEDIDA PREVENTIVA |
|--------------|-------------------|------------------------|---------------------------------|
| Oddy | Cohorte | 30 personas | Fortalecer distancia de trabajo |
| Evans | Casos y controles | 8 trabajadores | |
| Hande y col | Cohorte | 31 trabajadores | Limitación de la dosis recibida |
| Cardis y col | Cohorte | 407391 trabajadores | |

9. CONCLUSIONES

Los efectos perjudiciales de la radiación ionizante sobre la salud del personal ocupacionalmente expuesto depende de la radiación en cuestión, así como de la dosis y las condiciones de exposición. La mayoría de esos efectos exigen niveles relativamente altos de exposición y la falta de seguimiento a las normas específicas de protección contra radiaciones ionizantes, se supone que los efectos genotóxicos y cancerígenos de la radiación ionizante aumentan en frecuencia sin excluirse la existencia de umbrales para estos efectos, se supone que su frecuencia aumenta con cualquier nivel de exposición. Para la mayoría de los efectos de la radiación, la sensibilidad de las células expuestas varía según su tasa de proliferación y en relación inversa con su grado de diferenciación.

9.1 SOBRE LOS EFECTOS CAUSADOS POR LA RADIACIÓN IONIZANTE.

Se ha visto como la radiación ionizante puede causar distintos daños sobre las células, que para resultar observables a nivel orgánico, produciendo efectos somáticos agudos, han de superar ciertos valores mínimos en la dosis (dosis umbral). Por otra parte, el daño en el ADN celular puede llegar a convertirse en un cáncer si la mutación progresa y de la multiplicación celular resulta finalmente un número suficientemente grande de células como para constituir un tumor. Cuando el ADN dañado es el de las células reproductoras, cabe la posibilidad de que se transmitan daños hereditarios a la descendencia. Estos procesos son altamente improbables, ya que el ser humano sufre cada día muchos millones de ionizaciones en su masa de ADN, mientras que sólo unos pocos cánceres y defectos genéticos son atribuibles a la radiación.

9.2 SOBRE LOS OBJETIVOS DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.

Dada la toxicidad de las radiaciones ionizantes, ante la abundancia de fuentes naturales y artificiales emisoras de tales radiaciones, un objetivo inmediato de la Protección Radiológica será evitar la aparición de los efectos sanitarios de tipo inmediato, manteniendo la dosis recibida por cualquier persona por debajo de los umbrales de aparición de tales efectos. Con respecto a los efectos probabilistas (cánceres y defectos hereditarios), habrá de limitarse su probabilidad de aparición a valores que se consideran seguros. Pero, por otra parte, sin limitar injustificadamente aquellas prácticas que, aunque supongan una exposición a las radiaciones, proporcionen un beneficio mayor para la sociedad o sus individuos. Para conseguirlo, se aplican los tres principios de la justificación, limitación de las dosis y riesgos individuales y optimización en busca del beneficio máximo. Para asegurar su cumplimiento, se establecen una serie de actuaciones y controles sobre la fuente el medio y la atenuación el trabajador.

Con los trabajos de investigación se encontró que hay alteraciones en la salud que afecta a un grupo de trabajadores que se encuentra expuestos a radiaciones ionizantes, éstas alteraciones pueden ser: aberraciones cromosómicas, apoptosis, inducción de mutaciones, inestabilidad genómica, cambios en la expresión de genes, translocaciones, reducción a la mitad de la concentración de espermatozoides gonadales masculinos, leucemia linfocítica crónica que parece ser impulsada tanto por aberraciones funcionales en la función inmunológica, y por mutaciones somáticas que juega un papel causal en la etiología. Alteraciones hereditarias que afectan a las vías de adhesión celular, la polaridad del epitelio, y la comunicación celular. Con base a estas alteraciones se sugiere las medidas preventivas a nivel de medio, fuente y atenuación en el trabajador para evitar alteraciones en la salud.

10. RECOMENDACIONES

Con esta información el especialista y demás interesados podrán adoptar en el campo laboral las medidas de prevención necesarias en todos sus niveles para reducir el grado de exposición a las radiaciones ionizantes, aprovechando los actuales recursos tecnológicos y los métodos de implementación de nuevas tecnologías. Además, podrá adoptar medidas de control para determinar los niveles de exposición a las radiaciones ionizantes, identificando los efectos producidos por las radiaciones ionizantes.

La empresa debe desarrollar una política desde el punto de vista preventivo para el control del factor de riesgo ocasionado por radiaciones ionizantes. Las medidas de prevención las cuales se deben priorizar en el siguiente orden.

Tabla 17. Medidas preventivas en la fuente, medio y atenuación del trabajador

| MEDIDAS PREVENTIVAS | ACTIVIDAD | |
|-----------------------------|------------------|--|
| CONTROL EN LA FUENTE | | Seleccionar las sustancias radiactivas y equipos emisores de radiaciones ionizantes con el menor riesgo para su uso. |
| | | Emplear la mínima cantidad de actividad de material radiactivo que sea necesaria. |
| | | Exigir a los proveedores garantía de calidad de fuentes adquiridas (fabricación, blindaje, certificado de pruebas de escapes y transporte seguro). |
| | | Realizar calibración y mantenimiento de equipos. |
| | | Almacenar y disponer en forma segura los desechos. |

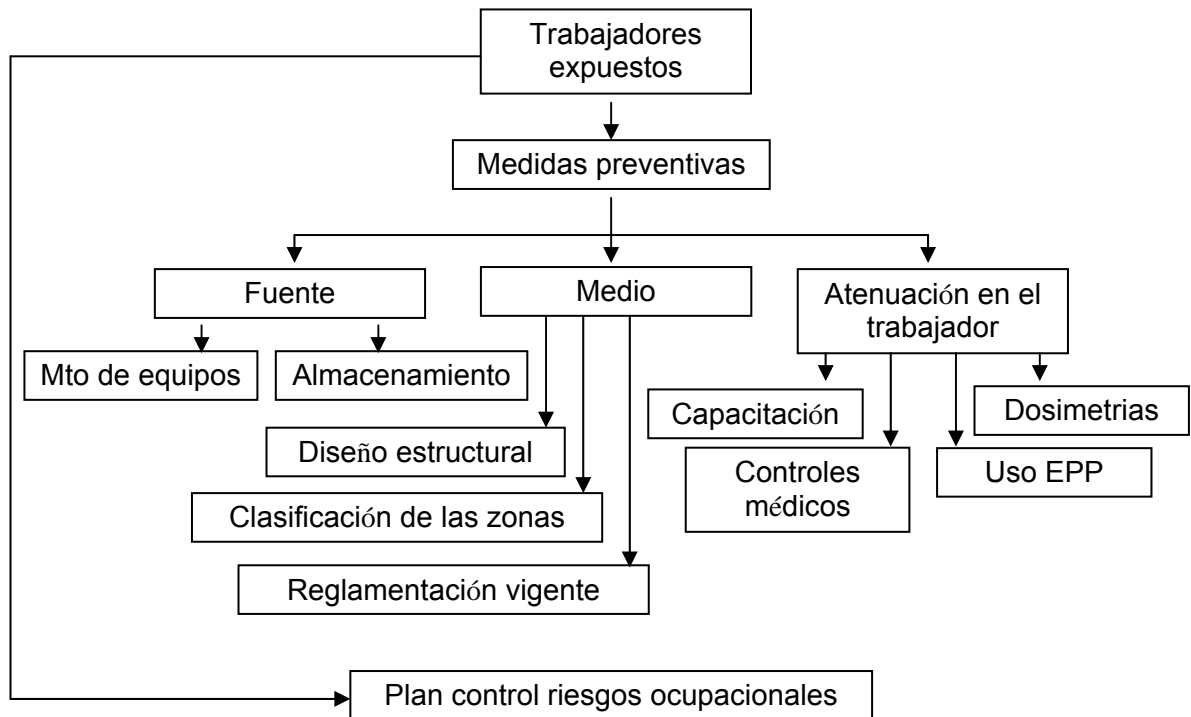
| | | |
|----------------------------|---|---|
| CONTROL EN EL MEDIO | Diseño de la parte estructural | Los blindajes para la construcción, adaptación o remodelación deben determinarse con base en una memoria analítica o de cálculo. |
| | | La altura de blindaje para las paredes de una instalación no debe ser inferior a 2.1 metros previa evaluación de las áreas colindantes. |
| | | En instalaciones fijas, es indispensable que la protección del operador durante la exposición consista en una mampara fija si la consola de control está dentro de la sala de rayos X. |
| | | Toda instalación debe contar con una verificación de blindaje realizada y documentada por un asesor especializado en seguridad radiológica. |
| | Clasificación en distintos tipos de zonas | Zona de libre acceso. Es aquella en que es muy improbable recibir dosis superiores a 1/10 de los límites anuales de dosis. En ella no es necesario tomar medidas de protección radiológica. |
| | | Zona supervisada. Es aquella en que no es improbable recibir dosis superiores a 1/10 de los límites anuales de dosis, siendo muy improbable recibir dosis superiores a 3/10 de dichos límites. Existe vigilancia de las condiciones de exposición ocupacional pero no requiere medidas protectoras adicionales. |
| | | Zona controlada. Zona sujeta a supervisión y controles especiales con fines de protección radiológica. Es aquella que no es improbable recibir dosis superiores a 3/10 de los límites anuales de dosis. |
| | Otras actividades | Aislar el material radiactivo. |
| | | Manipular el material radiactivo dentro de cabinas de guantes. |
| | | Manipular el material con instrumentos (pinzas, protectores plomados de jeringas, guantes plomados, etc.) |
| | | Utilizar barreras plomadas portátiles con su reglamento de empleo. |
| | | Instalar campanas extractoras de gases y vapores en áreas que lo requieran |

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| | | <p>Instalar sistemas de alarmas para detección de dosis de radiación ionizante anormales.</p> <p>Limitar el haz útil de radiación</p> <p>Reglamentar la protección radiológica para el manejo de equipos y sustancias</p> |
| ATENUACIÓN EN EL TRABAJADOR | <p>Capacitación, inducción y entrenamiento. Deberán recibir una formación adecuada en materia de protección que incluyen:</p> | Riesgos de las radiaciones ionizantes y sus efectos biológicos |
| | | Normas generales de protección y precauciones a tomar durante el régimen normal de trabajo y en caso de accidente. |
| | | Normas específicas, medios y métodos de trabajo para su protección en las operaciones a efectuar. |
| | | Conocimiento y utilización de los instrumentos de detección y medida de radiaciones y de los equipos y medios de protección personal. |
| | | Necesidad de efectuar reconocimientos médicos periódicos. |
| | | Actuación en caso de emergencia. |
| | | Importancia del cumplimiento de las medidas técnicas y médicas. |
| | | Responsabilidades derivadas de su puesto de trabajo con respecto a la protección radiológica. |
| | Dosimetrías | Se recomienda que se haga con dosímetros de película o TLD (termoluminiscencia). |
| | Uso de elementos de protección personal | Utilizar delantales, protectores de tiroides, gónadas, guantes, protectores oculares, máscaras, equipo de protección de cuerpo entero con suministro de aire. |

| CONTROLES MÉDICOS Y DE LABORATORIO. | | |
|--|-------------------------|--|
| ATENUACIÓN EN EL TRABAJADOR | Examen preocupacional | <p>Para el reconocimiento preocupacional es necesario solicitar al trabajador que ingrese a las áreas de exposición los siguientes exámenes: Hemoleucograma, sedimentación y extendido de sangre periférica (tipo V), componentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eritrocítico, incluye recuento de reticulocitos - Leucocitario - Plaquetario - Hemoglobina - Hematocrito - Volumen corpuscular medio - Hemoglobina corpuscular media - Concentración media de hemoglobina corpuscular - Urea, creatinina, BUN - Bilirrubinas total y directa, fosfatasas alcalinas, Espermograma - LH, FSH - T3, T4, TSH |
| | | <p>Declaración de no aptitud al examen de ingreso</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menores de 18 años - Mujeres en embarazo o lactantes - Personas con nefropatía - Personas con hepatopatía - Neuropatía central - Tuberculosis - Dermatitis crónicas - Quienes al hemograma presenten: - Leucocitos menores de 4.000 o mayores de 15.000 - Neutrofilos menores de 2.400 - Linfocitos menores de 1.000 - Hematíes menores 3'500.000 o mayores de 5'900.000 - Reticulocitos más del 2% - Variaciones en el recuento de leucocitos, en exámenes repetidos, mayores del 10%. |
| | Examen médico periódico | <p>En los reconocimientos médicos periódicos, se realizará un estudio de hemograma completo y demás pruebas de laboratorio descritas en el examen preocupacional y se vigilarán también</p> |

| | | |
|--|-------------------------|--|
| | | las enfermedades objeto de vigilancia. |
| | | Los exámenes médicos periódicos serán anuales. |
| | | Cuando el riesgo de exposición a radiación ionizante sea próximo al promedio del límite permisible 20 mSv por año, la periodicidad será semestral. |
| | | Si se presentan alteraciones (neutropenia, leucopenia, trombocitopenia) se retirará al trabajador de la exposición al riesgo y se hará control hematológico a los 25 días. |
| | | Si transcurrido un mes el análisis hematológico es normal, el trabajador podrá regresar a su sitio de trabajo; de lo contrario deberá mantener separado de la exposición hasta tanto se normalice su cuadro hemático. |
| | | Donde los exámenes resulten alterados, a consideración del médico ocupacional, se puede realizar exámenes complementarios de tipo cromosómico, como el de intercambio de cromátides hermanas para detectar alteraciones a nivel de ADN. |
| | Examen médico de retiro | Se debe realizar el examen médico de retiro en el cual se consigne los hallazgos clínicos, los exámenes de laboratorio realizados al momento de retiro de la empresa, bien sea por pensión o porque cese el nexo laboral con la empresa. |
| | | Se debe de elaborar un resumen en la historia clínica de los datos clínicos y paraclínicos, en el momento en el cual un trabajador se retira de la empresa, con destino a una nueva vinculación. |
| | | La historia clínica ocupacional de las personas expuestas a radiaciones ionizantes se deberá guardar en la empresa por un período de 40 años contados a partir del retiro del trabajador |
| | | |

Tabla 18. Intervención en la fuente, medio y atenuación del trabajador



- Capacitar de manera exhaustiva a todo el personal ocupacionalmente expuesto a las radiaciones ionizantes haciendo énfasis en los efectos, prevención, sintomatología, diagnóstico y aplicación de medidas preventivas a trabajadores que están expuestos a radiaciones ionizantes.
- El médico ocupacional debe conocer los signos y síntomas asociados con las exposición a las radiaciones ionizantes, ya que las alteraciones a nivel de cromosoma son de difícil detección, además, cuando este tipo de signos son detectados los niveles de exposición a las radiaciones ha sido prolongada y las exposiciones a las radiaciones pueden en ocasiones ser muy elevados. Este conocimiento debe motivar al médico ocupacional a realizar una historia clínica y un examen físico exhaustivos.

- Divulgación de medidas sobre el uso adecuado de las radiaciones ionizantes, medidas de auto cuidado del trabajador y adecuado uso de los elementos de protección personal.
- Implementar sistemas de vigilancia epidemiológicas que permitan la identificación temprana de los efectos en la salud asociados a la exposición a las radiaciones ionizantes y la implementación de medidas preventivas que minimicen la exposición al factor de riesgo.
- Incentivar políticas de investigación sobre los efectos en la salud y las medidas de prevención asociados a la exposición a las radiaciones ionizantes.

11. BIBLIOGRAFIA

Anderson WR, Thielen K. Correlative study of adult respiratory distress syndrome by light scanning and transmission electron microscopy. *Ultrastruct Pathol.* 1992;16(6):615-28.

Commission of the European Communities/U.S. Department of Energy. *Guidebook for the Treatment of Accidental Internal Radionuclide Contamination of Workers.* Publication nº EUR 14320 EN. Commission of the European Communities (1992).

Fetal death and congenital malformation in babies born to nuclear industry employes: report the nuclear industry family study. *The Lancet* 2000 October 14; Vol 356: 1293-1299.

Gallego D. Eduardo, *Riesgos por exposición a radiaciones ionizantes,* Departamento de Ingeniería Nuclear. Madrid

Gallego Díaz, Departamento de Ingeniería Nuclear – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, *Riesgos por exposición a radiaciones ionizantes.* Pag 31.

Guía reguladora de Seguridad Radiológica para la Práctica de Radiodiagnóstico Médico. ARCAL, OIEA 2000

Gross NJ, Narine KR. Experimental radiation pneumonitis. Corticosteroids increase the replicative activity of alveolar type 2 cells. *Radiat Res.* 1988;115(3):543-9.

Hasleton PS. *Spencer's Pathology of the lung.* 5th Ed. McGraw Hill Co NY 1996

International Comisión on Radiological Protection. 1990 Recomendations of the International Comisión on radiological Protection. Vol.21. N°.1-3 of Annals of the ICPR. Oxford, England: Pergamon Press, 1991. (ICRP publication n°. 60)

International Atomic Energy Agency. Radiation Protection in Occupational Health. Manual for Occupational Physicians. Safety Series n° 83, IAEA, Vienna (1987).

Limitation of exposure to ionizing radiation. NCRP report n°. 116. Bethesda, Md.:National Council on Radiation Protection and Measurements, March 1993.

Lloyd, DC, RJ Purrott. 1981. Chromosome aberration analysis in radiological protection dosimetry. Rad Prot Dosimetry 1:19-28.

M. Gil Gayarre, M.T. Delgado Macías, M. Martínez Morillo, C. Otón Sánchez. En: "Manual de RADIOLOGÍA CLÍNICA". (2ª Ed.). Ediciones Harcourt, S.A. Madrid, 2001

Maurice Tubiana. Radiation risk in perspective: radiation-induced cancer among cancer risk. Radiat Environment Biophys (2000) 39:3-16

Molls M, Herrmann T, Steinberg F, Feldmann HJ. Radiopathology of the lung: Experimental and clinical observations. Recent Results Cancer Res.1993;130:109-21.

Organismo Internacional de energía Atómica, Optimización de la protección radiológica en el control de la Exposición Ocupacional, Colección de Informes de seguridad N° 21.

I. Shigematsu. The 2000 sievert lecture-lessons from atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki. Health Physics. September 2000, vol 79, Number 3,

p.234-241 Donald A. Pierce and Dale L. Preston. Radiation-related Cancer Risk at low Doses among Atomic Bomb Survivors. Radiation Research 2000; (154): 178 – 186.

Schull WJ. Late radiation responses in man: current evaluation from results from Hiroshima and Nagasaki. Adv Space Res 1983; 3(8): 231-9.

UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources, Effects and Risks of Ionising Radiation, Report to the General Assembly with Scientific Annex, United Nations. New York (1996).

CONSULTAS EN PAGINAS DE INTERNET

http://www.dafp.gov.co/leyes/D1832_94.HTM

<http://www.fondoriesgosprofesionales.gov.co/MarcoConceptual/leyes.asp>

http://www.csn.es/plantillas/frame_diccionario.jsp?id_nodo=285.

http://http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_304.htm

<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/48.pdf>

<http://www.cdc.gov/niosh/hcwold5e.html>

<http://www.icrp.org>

<http://www.unscear.org>

<http://www.cnd.es/cnd/dosimper5.php?mlb=no&md=si>

ANEXOS

ANEXO 1. FICHAS DESCRIPTIVAS ANALÍTICAS

| | |
|--|---|
| Ficha No. 1 Artículo No. 1 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | Aberraciones cromosómicas en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: OVID Revista: Ciencias de la Salud, vol. 2, número 001, 2004 Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia |
| AUTORES | Hernando Baquero Pulido, Gonzalo Guevara Pardo, Marcela Giraldo Suárez, Luz Marina Osorio Soto |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | Colombia |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 2004 |
| IDIOMA | Español |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Estudio de cohorte |
| MUESTRA | La población que se evaluó corresponde a 15 trabajadores de la salud del Instituto Nacional de Cancerología expuestos a Radiaciones Ionizantes, a quienes se les hizo seguimiento con dosímetro personal durante un tiempo no menor de un año, pertenecientes a medicina nuclear, radioterapia, física médica y radiodiagnóstico. |
| ESTADISTICA EMPLEADA | Con el analisis de la varianza (ANOVA) seguido del test que se utilizo para el analisis estadistico Newman-Keuls. |

| | |
|---------------------------------------|---|
| <p>INTERPRETACIÓN DE DATOS</p> | <p>Se utilizaron cultivos celulares de linfocitos de sangre periférica, teñidos con quinacrina y lectura en metafases de cada caso. Se toman promedio de dosimetrías de uno a cuatro años y se comparan los resultados con las dosis recibidas y el tiempo de exposición, así como también con relación a cancerígenos comunes, antecedentes familiares y personales.</p> |
| <p>ANÁLISIS</p> | |
| <p>APORTES</p> | <p>Se encontraron un promedio de 1.93 aberraciones por individuo. En relación con el tiempo de exposición y la presencia de aberraciones, se encontró: 39% entre 1 y 10 años de exposición, 27% entre 11 y 20 años de exposición y 46% entre los 21 y 30 años de exposición. No se encontró relación entre dosis y presencia de aberraciones, pues éstas presentaron indistintamente a la dosis recibida.</p> <p>El estudio recomienda focalizar las medidas preventivas realizando limitación del tiempo de exposición puesto que la dosis recibida e directamente proporcional al tiempo de exposición, con una buena planificación reducirá el tiempo de exposición.</p> |

| | |
|---|--|
| Ficha No. 2 Articulo No. 2 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | <i>Stable and Unstable Chromosome Aberrations Measured after Occupational Exposure to Ionizing Radiation and Ultrasound-</i> Estable e inestable aberraciones cromosómicas medido después de la exposición profesional a las radiaciones ionizantes y ultrasonido |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: Pudmed Revista: Croat Med J 2007;48:371-377 |
| AUTORES | Aleksandra Fučić, Davor Želježić, Vilena Kašuba, Nevenka Kopjar, Ružica Rozgaj, Ružica Lasan, August Mijić, Vlasta Hitrec, and Joe Nathan Lucas |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | Croacia |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 2007 |
| IDIOMA | Ingles |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Estudio de casos y controles |
| MUESTRA | Nueve hombres ocupacionalmente expuestos a irridium radiactivos (¹⁹² Ir) y la ecografía fueron seguidos por un período de 3 años. El período de muestreo duró 18 meses. Ellos eran especialistas en la radiografía industrial y que estaban trabajando con ¹⁹² Ir a la actividad de 1,85 TBq como fuente de la radiación ionizante. |

| | |
|---|--|
| <p>ESTADISTICA EMPLEADA</p> | <p>Método de fluorescencia de hibridación in situ (FISH) con sondas de todo el cromosoma, que rápidamente y con precisión estable detectar anomalías cromosómicas, como las translocaciones, en individuos expuestos.</p> |
| <p>INTERPRETACIÓN DE DATOS</p> | <p>Nivel de interpretación de resultados <i>cuatro: Revisión en busca de evidencia</i> puesto que quiere concluir si la exposición a radiaciones ionizantes aumenta el riesgo a aberraciones cromosomitas.</p> |
| <p>ANÁLISIS</p> | |
| <p>APORTES</p> | <p>Dicéntricos y anillos de los cromosomas, se han eliminado dentro de un año. Translocaciones persisten y desviado de los valores de control en todos los candidatos. Translocaciones se detectaron aberraciones inestables mucho después disminuyó a un segundo plano.</p> <p>El estudio recomienda focalizar las medidas preventivas, el uso de dosímetros y limitar el tiempo de exposición a las radiaciones ionizantes en trabajadores ocupacionalmente expuestos.</p> <p>Con este estudio se evidencia que las aberraciones cromosómicas reflejan el daño acumulativo del genoma en el puesto de trabajo durante la exposición.</p> |

| | |
|---|---|
| Ficha No. 3 Artículo No. 3 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | <i>Male gonadal dose of ionizing radiation delivered during X-ray examinations and monthly probability of pregnancy</i> - Dosis gonadales por radiación ionizante emitido durante los exámenes de rayos X y la probabilidad mensual de embarazo. |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: Pubmed Revista: Published online 2006 March 3. doi: 10.1186/1471-2458-6-55. |
| AUTORES | Sandra Sinno-Tellier, Jean Bouyer, Béatrice Ducot, Beatrice Geoffroy- Perez, Alfred Spira and Remy Slama |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | Francia |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 2006 |
| IDIOMA | Ingles |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Estudio de cohorte retrospectivo |
| MUESTRA | Se obtuvo una muestra aleatoria de mujeres que se describe retrospectivamente en los períodos de 1110 a partir de relaciones sexuales sin protección entre 1985 y 1999, y que conducen a un nacido vivo o no en el embarazo. El hombre respondió a un cuestionario telefónico sobre los exámenes de radiodiagnóstico. |
| ESTADISTICA EMPLEADA | Crudo probabilidades de embarazo estratificado en dosis gonadal masculino y comparación, se calcularon usando el método de |

| | |
|--------------------------------|--|
| | Kaplan-Meier y el log-rank test estadísticos |
| INTERPRETACIÓN DE DATOS | Revisión en busca de evidencia Puesto que pretende caracterizar la influencia de radiación ionizante emitido durante radiodiagnóstico en la probabilidad mensual de embarazo. |
| ANÁLISIS | |
| APORTES | <p>Después del ajuste de las mujeres factores que probablemente influyan en la fecundidad, no había pruebas de una asociación entre la dosis de sexo masculino y la probabilidad de embarazo (prueba de homogeneidad, $p = 0,55$). Cuando se compara a las parejas con un hombre entre 0,01 y 0,20 milligrays ($n = 321$ períodos de relaciones sexuales sin protección), con un par de dosis por encima de 10 milligrays obteniendo una razón de riesgo de embarazo de 1,44 (95% intervalo de confianza, 0.73-2.86, $N = 31$).</p> <p>Las radiaciones ionizantes reducen a la mitad la concentración del esperma gonadal masculino, ésta disminución de dosis no induce ningún efecto sobre la probabilidad de embarazo.</p> <p>El estudio recomienda enfatizar medidas de preventivas y de promoción de la salud, haciendo más efectivas la utilización de los Elementos de Protección Personal para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.</p> |

| | |
|---|--|
| Ficha No. 4 Artículo No. 4 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | Exposición a dosis bajas de radiación ionizante en el Hospital Universitario del Valle, Cali, 1980-1992 |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: Scielo Revista: Colombia Médica Vol. 27 N° 3-4, 1996 |
| AUTORES | Rafael Caicedo, Gloria Argüelles, Alberto Alzate. |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | Colombia |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 1996 |
| IDIOMA | Español |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Estudio de cohorte analítica histórica |
| MUESTRA | El grupo de expuestos consta de 19 trabajadores, 8 hombres y 11 mujeres, con una edad promedio de ingreso al estudio de 26.7 años (26.7 para los hombres y 26.7 para las mujeres). Los no expuestos fueron 26 personas, 11 hombres y 15 mujeres con una edad promedio al ingreso de 26.1 años (27.6 para los hombres y 25.1 para las mujeres). |
| ESTADISTICA EMPLEADA | La medida seleccionada como indicador del impacto de la exposición a dosis bajas, fue la “tasa de incapacidad” con IC 95%, concebida como la suma del “número de días perdidos” por incapacidad laboral, debidamente expedida por el Servicio Médico del HUV, sobre la sumatoria del tiempo que en realidad trabaja |

| | |
|---------------------------------------|--|
| | <p>cada uno de los participantes. Para la comparación entre las cohortes se usó la razón entre tasas (RT) con IC 95%.</p> |
| <p>INTERPRETACIÓN DE DATOS</p> | <p>Revisión en busca de evidencia puestos que pretende describir el estado de salud de los técnicos de rayos X, expuestos a dosis bajas de radiación ionizante, y compararlos con un grupo no expuesto, seleccionado al azar entre auxiliares de enfermería del Hospital Universitario del Valle (HUV).</p> |
| <p>ANÁLISIS</p> | |
| <p>APORTES</p> | <p>El análisis crudo por años del grupo expuesto, muestra una tendencia al aumento en las incapacidades de 1988 en adelante, mientras que en los no expuestos lo es a partir de 1987, ambos con tasas e intervalos de confianza similares y sin indicio de estacionalidad. La razón de tasas por sexos (RT = 1.92 IC 95% 1.04-3.53) muestra un mayor riesgo para los hombres expuestos en comparación con los no expuestos. Entre las mujeres hay un mayor riesgo (RT de 2.94 IC 95% 2.27- 3.82), entre las mujeres no expuestas comparadas con las expuestas (4 de los participantes de este grupo aportaron una gran proporción de las incapacidades). Sin embargo, entre ambos grupos hay un factor protector del grupo expuesto frente a los no expuestos (RT = 0.44 IC 95% 0.34- 0.55). La tasa de incapacidad encontrada en los expuestos fue muy baja (1.08 por 100, contra 2.48 por 100 en los no expuestos). Esto último podría significar tal vez un puesto de trabajo con mayores exigencias ergonómicas de riesgo entre la cohorte no expuesta.</p> <p>El estudio recomienda enfatizar en las medias preventivas y elementos de protección personal en trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes.</p> |

| | |
|---|---|
| Ficha No. 5 Artículo No. 5 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | <i>Ionising Radiation Exposure to Orthopaedic Trainees: The Effect of Sub-Specialty Training-</i> La exposición a las radiaciones ionizantes en aprendices ortopédicos: el efecto de la sub-especialidad de formación. |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: bvs Revista: Ann R Coll Surg Engl 2006; 88: 297–301 |
| AUTORES | Mr MJ Oddy, Mr CH Aldam |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | Reino Unido |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 2004 |
| IDIOMA | Ingles |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Estudio de cohorte |
| MUESTRA | Se escogió a un grupo de 30 personas entre profesores y estudiantes |
| ESTADISTICA EMPLEADA | Los datos se analizaron mediante el paquete estadístico SPSS para Windows contra 10,1. Los datos se realizarán las pruebas de la normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Una prueba de Kruskal-Wallis y par sabia U de Mann-Whitney se realizaron pruebas para determinar las diferencias en el caso y las comparaciones entre los cirujanos. Una de Mann-Whitney U-test |

| | |
|--------------------------------|---|
| | <p>sirvió para verificar los datos acumulados entre insignia de la lectura y el cine. El análisis de regresión se realizarán las pruebas de la importancia del uso de coeficiente de correlación de Spearman.</p> |
| INTERPRETACIÓN DE DATOS | <p>Revisión en busca de evidencia: puesto que quiere evaluar el efecto de la sub-especialidad de ortopedia en la formación sobre la exposición a la radiación.</p> |
| ANÁLISIS | |
| APORTES | <p>Sólo un radiólogo registró un umbral por encima de la dosis. El 14% de los aprendices que utilizan habitualmente la protección de cribado y que el 16% de los hospitales no proporcionaron escudos para su uso.</p> <p>Las dosis más altas encontradas en la columna vertebral de imágenes significan que la sub-especialidad de los educandos deberían ser advertidos de los riesgos que presentan al estar ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes.</p> <p>El estudio recomienda enfatizar sobre las medidas de protección en la (cantidad, duración y dirección del haz), fortalecer las barreras de protección como lo son: (elementos de protección), y fortalecer la distancia de trabajo entre el trabajador y el intensificador de imagen.</p> |

| | |
|--|---|
| Ficha No. 6 Artículo No. 6 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | <i>Ionizing Radiation and Chronic Lymphocytic Leukemia-</i> La radiación ionizante y la leucemia linfocítica crónica |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: Pubmed Revista: Environmental Health Perspectives • VOLUME 113 NUMBER 1 January 2005. |
| AUTORES | David B. Richardson, Steve Wing, Jane Schroeder, el de Inge Schmitz-Feuerhake, y Wolfgang Hoffmann |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | EE.UU |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 2004 |
| IDIOMA | Ingles |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Revisión documental |
| MUESTRA | En este artículo se presentó unas revisiones, clínicas, epidemiológicas y pruebas de la Leucemia Linfocítica Crónica (LLC). Se parte de la revisión de la actual comprensión de las bases moleculares de la LLC. Se revisó las características clínicas de la LLC y discutieron las implicaciones para la investigación etiológica. |
| ESTADISTICA EMPLEADA | Con el análisis de la varianza (ANOVA) |

| | |
|---------------------------------------|--|
| <p>INTERPRETACIÓN DE DATOS</p> | <p>Revisión en busca de evidencia puesto que pretende identificar si la neoplasia linfática mecánica proporciona una fuerte base para esperar que la exposición a las radiaciones ionizantes aumente el riesgo Leucemia Linfocítica Crónica (LLC) e identificar la asociación entre radiación ionizante y LLC.</p> |
| <p>ANÁLISIS</p> | |
| <p>APORTES</p> | <p>Se concluye que la LLC es una enfermedad monoclonal de linfocitos. Al igual que otros tipos de cáncer linfático, LLC patogenia parece ser impulsada tanto por aberraciones funcionales en la función inmunológica (Stevenson et al. 1998) y por mutaciones somáticas, algunas de las cuales pueden ser una consecuencia de la exposición ambiental (Magrath 1992). Dos genes supresores de tumor que son inactivadas como resultado de mutaciones comunes LLC, p53 y ATM, se establecen causales que contribuyen a la transformación maligna. Por lo tanto, éstas y otras mutaciones somáticas comunes se cree que juegan un papel causal en la etiología de la LLC.</p> <p>El estudio recomienda enfatizar sobre las medidas preventivas, disminución del tiempo de exposición para trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes y llevar un registro de disimetrías individuales de los trabajadores.</p> |

| | |
|---|--|
| Ficha No. 7 Artículo No. 7 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | <i>Past Exposure to Densely Ionizing Radiation Leaves a Unique Permanent Signature in the Genome</i> - Pasado la exposición a las radiaciones ionizantes de gran densidad deja una única firma permanente en el genoma. |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: Pubmed Revista: Am. J. Hum. Genet. 72:1162–1170, 2003 |
| AUTORES | M. Prakash Hande, Tamara V. Azizova, Charles R. Geard, Ludmilla E. Burak, Catherine R. Mitchell, Valentin F. Khokhryakov, Evgeny K. Vasilenko, and David J. Brenner |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | Rusia |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 2001 |
| IDIOMA | Inglés |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Estudio de cohorte. |
| MUESTRA | Los individuos en la población de estudio fueron ocupacionalmente expuestos a las radiaciones ionizantes de 1949 en adelante, en la Asociación de la Producción, cerca de Mayak Ozyorsk, Rusia. Trabajadores estaban expuestos a la gran densidad de las partículas ionizantes alfa, como consecuencia de la inhalación de plutonio y también fueron expuestos a rayos gamma escasamente ionizantes. El reactor de los trabajadores no |

| | |
|---------------------------------------|--|
| | <p>estaban expuestos a plutonio, pero fueron expuestos a rayos gamma escasamente ionizante. Ambos grupos también fueron expuestos a una variedad de mutágenos químicos. 31 individuos de la cohorte Mayak trabajador de la radiación, 11 fueron expuestos a altos niveles de plutonio (así como otros mutágenos, incluyendo rayos gamma, benceno, y el tabaco), y 11 no fueron expuestos a plutonio, pero están expuestos a Altas dosis de rayos gamma y mutágenos químicos. Un pequeño grupo (n = 4), de los trabajadores que recibieron plutonio sólo moderada exposición y un grupo de control no expuestos (n = 5), de los trabajadores sanos también se evaluaron. Se hicieron estimaciones de las dosis de plutonio y de la dosis de rayos gamma a la médula ósea de cada individuo estudiado.</p> |
| <p>ESTADISTICA EMPLEADA</p> | <p>Se utilizó la técnica mFISH</p> |
| <p>INTERPRETACIÓN DE DATOS</p> | <p>Revisión en busca de evidencia puesto que pretende describir si existen aberraciones cromosómicas en los trabajadores ocupacionalmente expuestos a bajas dosis de radiaciones ionizantes.</p> |
| <p>ANÁLISIS</p> | |
| <p>APORTES</p> | <p>El aumento de los riesgos se han reportado para el cáncer de pulmón, hígado, y huesos. Altas frecuencias de aberraciones intracromosomal se observaron en el plutonio en los los trabajadores altamente expuestos (media \pm DE 3,7% \pm 0,5%), a pesar de que sólo se examinó el cromosoma 5. Estos resultados son significativamente superiores a las de los trabajadores del reactor (media \pm DE 0,1% \pm 0,1%, P <10-4, la prueba exacta de Fisher), aunque el total de dosis a la médula ósea fue similar en los dos grupos. El plutonio moderadamente expuestos los trabajadores presentan una disminución de la frecuencia de las aberraciones que el intracromosomal muy expuesta al grupo</p> |

(media \pm DE 0,9% \pm 0,4%, P <.001), pero sigue siendo significativamente más alto que el reactor de los trabajadores (P =.01). El estudio recomienda disminuir el tiempo de exposición a las radiaciones y fortalecer las pantallas o blindaje de protección para disminuir la dosis recibida por el operador.

| | |
|---|--|
| Ficha No. 8 Artículo No. 8 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | <i>First Analysis of Cancer Incidence and Occupational Radiation Exposure Based on the National Dose Registry of Canada</i> - Primer análisis de la incidencia de cáncer y la exposición a la radiación ocupacional basado en el Registro Nacional de dosis de Canadá |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: Science Direct Revista: American Journal of Epidemiology Vol. 153, No. 4 : 309-318 |
| AUTORES | W. N. Sont, J. M. Zielinski, J. P. Ashmore, H. Jiang, D. Krewski, M. E. Fair, P. R. Band and E. G. Létourneau |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | Canadá |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 2001 |
| IDIOMA | Ingles |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Estudio de cohorte. |
| MUESTRA | Se buscó registros que contengan dosis de información de 1951 a 1988, 191.333 personas fueron extraídas del Registro Nacional de la dosis de Canadá. Los registros están vinculados a la Base de Datos de Cáncer de Canadá, con datos de incidencia de 1969 a 1988. Ratios de incidencia se calcularon con las tasas de incidencia de cáncer de Canadá estratificado por edad, sexo y año calendario. Esta cohorte incluye a los trabajadores que participan |

| | |
|--------------------------------|---|
| | <p>en la producción de energía nuclear, así como un gran número de industriales, médicos, dentales y de los trabajadores. 7871 de 191333 trabajadores fueron identificados como posibles casos incidentes. Los datos se agruparon en categorías, que se define en términos de las siguientes covariables: edad (intervalos de 5 años), año calendario (5 años), grupo profesional, tiempo desde la primera exposición (de 5 años Intervalos), y todo el cuerpo dosis acumulativa. Años-persona en situación de riesgo y los casos se asignaron sobre la base de estas categorías y se han calculado de acuerdo con los mismos métodos que en el estudio de la mortalidad.</p> |
| ESTADISTICA EMPLEADA | <p>Con el analisis de la varianza (ANOVA) seguido del test que se utilizo para el analisis estadistico Newman-Keuls.</p> |
| INTERPRETACIÓN DE DATOS | <p>Revisión en busca de evidencia puesto que pretende investigar la relación entre la incidencia de cáncer y la exposición a las radiaciones ionizantes.</p> |
| ANÁLISIS | |
| APORTES | <p>De los 7871 pacientes intervenidos de vinculación, 4090 (2229 varones y 1861 mujeres) resultaron muy afines. De estos, 3737 (2098 varones y 1639 mujeres) se mantuvieron en el análisis de los otros 353 fueron excluidos por razones técnicas, la mayoría de las veces debido a que el incidente se produjo antes del primer control. La dosis media de toda la cohorte es 6,64 mSv, con los hombres de recibir una dosis mucho más alta que la media de las mujeres (11,50 frente a 1,75 mSv mSv). La incidencia de cáncer, para grupo dental de 42194 personas 746 resultaron con incidencia de cáncer, para el grupo medical de 67650, 1430 con incidencia de cáncer, para el grupo Industrial de 59544, 997 con incidencia de cáncer, para el grupo de industria nuclear de 21945, 564 personas resultaron con incidencia de cáncer. Se identificó elevadas tasas de incidencia de cáncer de tiroides y melanoma, y</p> |

| | |
|--|---|
| | <p>positivo el exceso de riesgo relativo de recto, pulmón, la leucemia, todos los cánceres Combinado, todos, excepto de pulmón, y todos, excepto la leucemia.</p> <p>Para todos los tipos de cáncer combinados, este estudio muestra un importante exceso de riesgo relativo para los hombres y para los dos sexos combinados, pero el exceso de riesgo relativo no puede ser estimado para las mujeres porque son pocas las mujeres que recibieron dosis altas. Este estudio se encontró un exceso de riesgo relativo de 2,7 Sv-1 (no significativo.)</p> <p>El exceso de riesgo relativo es positivo, pero este resultado no fue estadísticamente significativa, de hecho, la única categoría con un peso significativo en los coeficientes de incidencia es la categoría dental, que tiene las más bajas dosis.</p> <p>El estudio recomienda disminuir el tiempo de exposición a las radiaciones ionizantes, focalizar las medidas preventivas y de promoción de la salud.</p> |
|--|---|

| | |
|---|---|
| Ficha No. 9 Artículo No. 9 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | <i>Transcriptional Response of Lymphoblastoid Cells to Ionizing Radiation</i> -Respuesta transcripcional de células a la radiación ionizante |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: Pubmed Revista: Genoma Research, August 12, 2003, 10.1101/gr.1240103 |
| AUTORES | Kuang Yu-Jen y Vivian Cheung |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | EE.UU. |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 2001 |
| IDIOMA | Ingles |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Estudio de cohorte. |
| MUESTRA | Se irradiaron células linfoblásticas de 10 personas, relacionadas diferentes dosis a los 2, 3 Gy y 10 Gy. Las células fueron cosechadas antes de la irradiación (0 h) y en el 1, 2, 6, 12, y 24 h después de la exposición de infrarrojos. Para cada punto del tiempo y dosis, el RNA se extrajo de cada línea celular y de las muestras de los 10 individuos se agruparon. Una muestra de referencia que consiste en irradiar células linfoblásticas de un conjunto diferente de 10 personas se preparó también. |
| ESTADISTICA | Comparaciones fueron realizadas con ANOVA y el analisis de la |

| | |
|--------------------------------|--|
| EMPLEADA | relacion longitudinal con modelos mixtos lineales. |
| INTERPRETACIÓN DE DATOS | Revisión en busca de evidencia puesto que pretende describir la respuesta transcripcional de las células sometidas a radiaciones ionizantes. |
| ANÁLISIS | |
| APORTES | <p>Un total de 319 genes en la dosis de 3 Gy y 816 genes en la dosis de 10 Gy muestran cambios en la expresión en comparación con el nivel de referencia. Los genes de respuesta en Común Entre el 3 y el 10 GY exposición.</p> <p>Hay 126 genes en común entre los 3 y los 10 Gy Gy experimentos. Estos genes incluyen una serie de genes p53-dependiente, la respuesta general de estrés genes, células y genes relacionados con el ciclo. Se ha demostrado que la p53 cumple un papel clave en la respuesta al estrés celular. Se identificó los genes que son inducidos o reprimidos por radiación, se han caracterizado a sus perfiles de expresión temporal. Además, se examinó los efectos de la dosis sobre estos infrarrojos RI-genes de respuesta. Identificación y caracterización de genes de respuesta permitiendo entender los mecanismos moleculares que subyacen a los efectos pleiotrópicos de RI.</p> <p>El principal efecto de RI en las células se manifiesta como estrés genotóxico resultantes de ADN dañado. Parte de la respuesta celular involucra la estabilización de la proteína p53. Este aumento de los niveles de proteína p53 causas luego de la inducción de genes incluidos muchos ACTA2, CDKN1A, DDB2, FDXR, GADD45A, PIG3, TNFRSF6, y TNFSF10B</p> <p>El estudio recomienda fomentar la utilización de los elementos de protección personal y disminución de dosis recibida a trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.</p> |

| | |
|---|--|
| Ficha No. 10 Artículo No. 10 | MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO |
| DATOS DE IDENTIFICACIÓN | |
| TÍTULO ARTICULO | <i>Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries-</i> Riesgo de cáncer después de dosis bajas de radiación ionizante: estudio de cohorte retrospectivo en 15 países. |
| MEDIO DE PUBLICACIÓN | Base de datos: Pubmed Revista: British Medical Journal > v.331(7508); Jul 9, 2005 |
| AUTORES | E Cardis, M Vrijheid, M Blettner, E Gilbert, M Hakama, C Hill, G Howe, J Kaldor, C R Muirhead, M Schubauer-Berigan, T Yoshimura, F Bermann, G Cowper, J Fix, C Hacker, B Heinmiller, M Marshall, I Thierry-Chef, D Utterback, Y-O Ahn, E Amoros, P Ashmore, A Auvinen, J-M Bae, J Bernar Solano, A Biau, E Combalot, P Deboodt, M Eklof, G Engholm, G Gulis, R Habib, K Holan, H Hyvonen, A Kerekes, J Kurtinaitis, H Walker, M Martuzzi, A Mastauskas, A Monnet, M Moser, M S Pearce, D B Richardson, F Rodriguez-Artalejo, A Rogel, H Tardy, M Telle-Lamberton, I Turai, M Usel, K Veress, lecturer. |
| PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO | EE.UU. |
| AÑO DE PUBLICACIÓN | 2005 |
| IDIOMA | Ingles |
| JUZGAMIENTO METODOLÓGICO | |
| TIPO DE DISEÑO | Estudio de cohorte retrospectivo. |

| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">MUESTRA</p> | <p>La principal población de estudio se define como los trabajadores que habían sido empleados en una o más instalaciones durante al menos un año (113711 trabajadores excluidos), que habían sido controlados por la exposición a la radiación externa (38521 trabajadores excluidos), y cuyas dosis se debió principalmente de Radiación de fotones de energía más alta (39730 trabajadores con contaminación interna y 19041 con exposiciones excluidos de neutrones). Los participantes 407391 trabajadores de seguimiento individual de la radiación externa, con un total de seguimiento de 5,2 millones de personas / año.</p> |
| <p style="text-align: center;">ESTADISTICA EMPLEADA</p> | <p>Los análisis se basan en un riesgo relativo lineal modelo de regresión de Poisson, en la que el riesgo relativo es de la forma $\beta (1 + Z)$, donde Z es la dosis acumulada equivalente en Sv y β es el exceso de riesgo relativo por Sv; probabilidad del 95% basado en los intervalos de confianza Se calcularon.</p> |
| <p style="text-align: center;">INTERPRETACIÓN DE DATOS</p> | <p>Revisión en busca de evidencia puesto que pretende proporcionar estimaciones de riesgo de cáncer después de prolongadas dosis bajas de radiaciones ionizantes</p> |
| ANÁLISIS | |
| <p style="text-align: center;">APORTES</p> | <p>El promedio global acumulado dosis se registraron 19,4 mSv. El noventa por ciento de los trabajadores recibieron dosis acumuladas <50 mSv, y menos del 0,1% recibieron dosis acumuladas de más de 500 mSv. El exceso de riesgo relativo de cáncer distintos de la leucemia fue 0,97 por Sv, 95% intervalo de confianza 0,14 a 1,97. Los análisis de las causas de muerte o no en fumadores indican que, a pesar de la confusión por el tabaco pueden estar presentes, es poco probable para explicar la totalidad de este aumento de riesgo. El exceso de riesgo relativo para la leucemia excluyendo la leucemia linfocítica crónica fue 1,93 por Sv (<0 a 8.47). Sobre la base de estas estimaciones, el 1-2% de las muertes por cáncer entre los trabajadores de esta</p> |

cohorte podrían ser atribuibles a la radiación.

El estudio recomienda intervenir sobre las medidas preventivas de utilización de los elementos de protección personal, disminución del tiempo de exposición en áreas de trabajo y limitación de la dosis recibida.

| | |
|---|---|
| <p>Ficha No. 11 Artículo No. 11</p> | <p>MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO</p> |
| <p>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</p> | |
| <p>TÍTULO ARTICULO</p> | <p><i>Exposure of the hands to ionizing radiation in the resuscitation room of an accident & emergency department.</i> - La exposición de las manos a las radiaciones ionizantes en la sala de reanimación en un accidente y servicio de urgencias.</p> |
| <p>MEDIO DE PUBLICACIÓN</p> | <p>Base de datos: Pubmed Revista: British Medical Journal > v.331(7508); Jul 9, 2005</p> |
| <p>AUTORES</p> | <p>R. J. Evans, S. & T. Cusack PARKE</p> |
| <p>PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO</p> | <p>EE.UU.</p> |
| <p>AÑO DE PUBLICACIÓN</p> | <p>1992</p> |
| <p>IDIOMA</p> | <p>Ingles</p> |
| <p>JUZGAMIENTO METODOLÓGICO</p> | |
| <p>TIPO DE DISEÑO</p> | <p>Estudio de casos y controles.</p> |
| <p>MUESTRA</p> | <p>Por 3 meses consecutivos, siete médicos y una enfermera llevaban puestos los dedos en cada dedo anular cuando los pacientes atendidos en la sala de reanimación. Se realizó un registro de las radiografías realizadas durante la reanimación, las personas presentes que había puesto los dedos dedo, los detalles del médico que apoya la columna cervical durante la radiografía y si se llevan guantes y el número de radiografías repetidas. Los dedos de la mano fueron puestos dosímetros termoluminiscentes que contiene una fina capa de fluoruro de litio en polvo dentro de</p> |

| | |
|------------------------------------|--|
| | una bolsa sellada en el establo. Cada sujeto retenido los dedos puestos para el mes de calendario después de lo cual se enviaron para su análisis al Consejo Nacional de Protección Radiológica. |
| ESTADISTICA EMPLEADA | Modelos de regresión lineal. |
| INTERPRETACIÓN DE DATOS | Revisión en busca de evidencia puesto que pretende determinar la exposición a la radiación de la mano en trabajadores de un servicio de urgencias durante 3 meses consecutivos. |
| ANÁLISIS | |
| APORTES | Más de 3 meses 143 pacientes requirieron la radiografía de emergencia en la sala de reanimación. Un total de 790 exámenes realizados fueron incluidos 163 pecho; 158 cráneo; cervical 91, 73 pélvica 53; columna lumbar, columna vertebral torácica 41; 211 extremidades y diversas radiografías. El plazo de 3 meses con el número de ocasiones en que se llevan guantes fue en solo 5 ocasiones. Treinta y dos (4%) de las radiografías se repitieron. En el haz principal de rayos X de intensidad se rige por la ley cuadrada inversa, por lo tanto, el beneficio de mantener la mayor distancia posible de la fuente. Peligro de radiación al personal es una función de la planificación general de los equipos de rayos X, los métodos de trabajo y la carga de trabajo. En la sala de reanimación el tubo de rayos X se coloca por encima de la paciente. Las mediciones de la radiación dispersa a los pacientes, han demostrado que es un aumento en comparación con la de un tubo aumenta las dosis para el cuerpo. Este riesgo ha demostrado ser reducido en un 99,9% con el uso de plomo de 0,5 mm equivalente guantes. Repetir las películas son otro factor que contribuye al exceso de rayos X. El estudio recomienda el uso de un delantal de plomo de goma para reducir el conjunto de dosis en el cuerpo. Aumento de la distancia a la fuente radioactiva |

| | |
|---|---|
| <p>Ficha No. 12 Artículo No. 12</p> | <p>MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA EVITAR EFECTOS EN LA SALUD POR EXPOSICIÓN A RADIACIONES IONIZANTES EN LOS TRABAJADORES DEL SECTOR SANITARIO</p> |
| <p>DATOS DE IDENTIFICACIÓN</p> | |
| <p>TÍTULO ARTICULO</p> | <p><i>A nine-year evaluation of emergency department personnel exposure to ionizing radiation</i> - A nueve años de evaluación de servicio de urgencias del personal de exposición a las radiaciones ionizantes.</p> |
| <p>MEDIO DE PUBLICACIÓN</p> | <p>Base de datos: Pubmed Revista: Ann. Emerg. Med. ; Vol/Issue: 3.</p> |
| <p>AUTORES</p> | <p>Grazer, R.E. ; Meislin, H.W. ; Westerman, B.R. ; Criss, E.A.</p> |
| <p>PAIS DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO</p> | <p>Arizona</p> |
| <p>AÑO DE PUBLICACIÓN</p> | <p>1987</p> |
| <p>IDIOMA</p> | <p>Ingles</p> |
| <p>JUZGAMIENTO METODOLÓGICO</p> | |
| <p>TIPO DE DISEÑO</p> | <p>Estudio de caso</p> |
| <p>MUESTRA</p> | <p>Para evaluar este riesgo, la exposición a las radiaciones ionizantes se analizó durante un período de nueve años para 128 trabajadores. El grupo constaba de 21 médicos, 92 enfermeras, 15 auxiliares y personal. La exposición se midió para los dos: no penetrante y penetrante de radiación, valiéndose del cine dosímetro insignias. Su cumplimiento fue 66,7% para los médicos, el 86,2% de los enfermeros, y el 86,7% para el personal auxiliar. La exposición a la radiación que penetra en un promedio de 0,12 mrem / mes para los médicos, 0,70 mrem / mes para enfermeras,</p> |

| | |
|------------------------------------|--|
| | y 0 mrem / mes para el personal auxiliar, todos menos que el promedio de exposición natural de fondo. |
| ESTADISTICA EMPLEADA | Comparaciones fueron realizadas con ANOVA y el analisis de la relacion longitudinal con modelos mixtos lineales. |
| INTERPRETACIÓN DE DATOS | Revisión en busca de evidencia puesto que pretende identificar los posibles peligros de la exposición a las radiaciones ionizantes (rayos X). |
| ANÁLISIS | |
| APORTES | Si se adoptan precauciones a la radiación estándar, el riesgo profesional de exposición a las radiaciones ionizantes para el personal es mínima, y que la vigilancia rutinaria de la exposición a las radiaciones del personal es innecesario. El estudio recomienda el uso de los elementos de protección personal con una adecuada limitación del tiempo de exposición. |

ANEXO 2

SEÑALES EMPLEADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS SEGÚN SUS RIESGOS



Algunas de las señales empleadas para la identificación de zonas según sus riesgos en las instalaciones nucleares y radiactivas. Zona controlada es aquella en la que no es improbable recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel y las extremidades, o en la que sea necesario seguir procedimientos de trabajo con objeto de restringir la exposición a la radiación ionizante, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias. Las zonas controladas se pueden subdividir en *zonas de permanencia limitada*, si existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites; *zonas de permanencia reglamentada* si existe el riesgo de recibir en cortos periodos de tiempo una dosis

superior a los límites y que requieren prescripciones especiales desde el punto de vista de la optimización y *zonas de acceso prohibido* en las que existe el riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites. Zona vigilada es aquella zona en la que, no siendo zona controlada, no es improbable recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel y las extremidades.

ANEXO 3

RESOLUCIÓN No. 18 0208 DE FEBRERO 25 DE 2005

Por la cual se modifican y adicionan las Resoluciones 18 1304 y
18 1478 de 2004

EL MINISTRO DE MINAS Y ENERGÍA

en uso de sus facultades legales y, en especial, las conferidas en el Decreto 070
de 2001; y,

CONSIDERANDO:

Que el Decreto 070 de 2001 por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Minas y Energía, en el Artículo 3º establece que es función del Ministerio adoptar la política nacional en materia de energía nuclear y gestión de materiales radiactivos; regular, controlar y licenciar a nivel nacional todas las operaciones concernientes a las actividades nucleares y radiactivas; velar porque se cumplan las disposiciones legales y los tratados, acuerdos y convenios internacionales relacionados con seguridad nuclear, protección física, protección radiológica y salvaguardias.

Que el Numeral 14 del Artículo 5º ibídem establece que es función del Ministro de Minas y Energía: "dictar las normas y reglamentos para la gestión segura de materiales nucleares y radiactivos en el país y velar por el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias en materia de protección radiológica y seguridad nuclear".

Que mediante Resolución N° 18 1434 del 5 de diciembre de 2002 el Ministerio de Minas y Energía expidió el Reglamento de Protección y Seguridad Radiológica,

conocido como "Norma Básica Colombiana en Protección Radiológica".

Que el Ministerio de Minas y Energía en la Resolución 18 1304 de 2004 reglamentó la expedición de la Licencia de Manejo de Materiales Radiactivos y, mediante la Resolución 18 1478 de 2004 reglamentó el procedimiento para la evaluación de las inspecciones a las instalaciones donde se gestionan materiales radiactivos y nucleares.

Que con el propósito de unificar criterios y optimizar los procesos de licenciamiento, vigilancia y control regulatorio se hace necesario adicionar y modificar las resoluciones mencionadas en el considerando anterior.

RESUELVE:

ARTÍCULO 1: Adiciónase el Parágrafo del Artículo 4 de la Resolución 18 1304 de 2004, en el sentido de incluir dentro de los aspectos básicos que debe contemplar el **Reglamento de Protección Radiológica**, los siguientes:

"Capítulo 12. Protección al Paciente en prácticas médicas

Este capítulo deberá contener todos los procedimientos de protección radiológica que se aplican al paciente, teniendo en cuenta los principios básicos de la Protección Radiológica (Título V de la Resolución 18 1434 de 2002).

Capítulo 13. Protección al público en general

Este capítulo deberá contener todos los procedimientos de protección radiológica que se aplican al público, teniendo en cuenta los principios básicos de la Protección Radiológica (Título VI de la Resolución 18 1434 de 2002)."

ARTÍCULO 2. Modifícase el Artículo 5 de la Resolución 18 1304 de 2004, el cual quedará así:

"ARTÍCULO 5. Trámite de la solicitud. Una vez radicada la solicitud de Licencia de Manejo de Materiales Radiactivos se evaluará el cumplimiento de cada uno de los requisitos establecidos para el efecto. En caso de que la solicitud esté incompleta, dentro de los cinco (5) días siguientes a su radicación, la autoridad competente mediante escrito dirigido al solicitante requerirá la complementación de la misma.

Una vez completa la información y documentación requerida, dentro de los diez (10) días siguientes se ordenará y practicará una Visita de Inspección a las instalaciones del solicitante, surtida la cual, dentro de los cinco (5) días siguientes se decidirá sobre la expedición de la correspondiente Licencia o se efectuará el requerimiento a que haya lugar, si existen razones que impidan el otorgamiento de la misma.

Este requerimiento deberá ser atendido por el solicitante en un plazo improrrogable de diez (10) días, mediante escrito radicado al que se deberá acompañar la información y documentación a que dicho requerimiento se refiera. Dentro de los diez (10) días siguientes a la radicación de la respuesta, la autoridad competente ordenará y practicará una nueva Visita de Inspección y, verificado que el solicitante satisface la totalidad de los requisitos, se le otorgará la Licencia correspondiente. En caso contrario, se resolverá negando la misma.

PARÁGRAFO. La Licencia expedida será específica para el Manejo de Materiales Radiactivos por parte del solicitante y, bajo ninguna circunstancia, podrá hacerse o considerarse extensiva a otros servicios."

ARTÍCULO 3: Derógase el inciso segundo del Artículo 13 de la Resolución 18 1304 de 2004, el cual quedará así:

"ARTÍCULO 13. Renovación de la Licencia de Manejo de Material Radiactivo. La renovación de la Licencia de Manejo de Material Radiactivo deberá solicitarse

al Ministerio de Minas y Energía o su delegada, como mínimo, treinta (30) días antes de su vencimiento, adjuntando la siguiente documentación:

- a) La prevista en los literales 1, 3 , 5, 6, 9, 10 y 12 del Artículo 4 de la Resolución 18 1304 de 2004.
- b) La prevista en los literales 2, 4, 7, 8 y 11 del Artículo 4 de la Resolución 18 1304, sólo en el evento de que haya sufrido cambios o modificaciones respecto de la acreditada cuando se tramitó el otorgamiento de la licencia cuya renovación se solicita.

Dentro de los ocho (8) días siguientes a la radicación de la solicitud se ordenará y practicará una Visita de Inspección a las instalaciones del solicitante, surtida la cual, dentro de los tres (3) días siguientes se decidirá sobre la renovación de la correspondiente licencia o se efectuará el requerimiento a que haya lugar, si existen razones que impidan el otorgamiento de la misma.

Este requerimiento deberá ser atendido por el solicitante en un plazo improrrogable de cinco (5) días, mediante escrito radicado al que se deberá acompañar la información y documentación a que dicho requerimiento se refiera. Dentro de los cinco (5) días siguientes a la radicación de la respuesta, la autoridad competente ordenará y practicará, si ello es necesario, una nueva Visita de Inspección y, verificado que el solicitante satisface la totalidad de los requisitos, dentro de los tres (3) días siguientes, se le otorgará la renovación solicitada. En caso contrario, se resolverá negando la misma."

ARTÍCULO 4. Modifícase el Artículo 18 de la Resolución 18 1304 de 2004, el cual quedará así:

"ARTÍCULO 18. Notificación de la Sustitución o Transferencia de Fuentes Selladas. Para la sustitución y/o transferencia de fuentes selladas a cualquier título legítimo deberá solicitarse, por escrito, autorización al Ministerio de Minas y Energía o su entidad delegada, con una antelación mínima de diez (10) días hábiles al evento de que se trate, suministrando la siguiente información:

1. Identificación de la instalación y de las fuentes selladas a sustituir y/o transferir.
2. Motivo de la sustitución y/o transferencia con sus correspondientes soportes.
3. Certificados de las fuentes nuevas, en el caso de sustitución.
4. Destino de la fuente sustituida y/o transferida.
5. Fecha prevista para realizar la sustitución y/o transferencia, entidad que la efectúa y condiciones para el transporte de la(s) fuente(s).
6. Copia de la Licencia de Manejo de Materiales Radiactivos vigente de los responsables de la sustitución y/o transferencia de las fuentes selladas."

ARTÍCULO 5. Modifícase el Artículo 19 de la Resolución 18 1304 de 2004, el cual quedará así:

"ARTÍCULO 19. Vigencia de la Licencia. La vigencia de la Licencia de Manejo de Materiales Radiactivos para las diferentes prácticas será la siguiente:

| PRÁCTICA | VIGENCIA DE LA LICENCIA |
|---|--------------------------------|
| Radioterapia Irradiadores Industriales Gammagrafía Industrial Perfilaje de Pozos | Un (1) año |
| Medicina Nuclear Medidores Nucleares Móviles | Dos (2) años |
| Trazadores Radiactivos Medidores Nucleares Fijos Investigación | Tres (3) años |

ARTÍCULO 6. El Artículo 20 de la Resolución 18 1304 de 2004, quedará así:

"ARTÍCULO 20. Registro para el ejercicio de la práctica de Radioinmunoanálisis y todas aquellas prácticas en las cuales se empleen fuentes radiactivas con actividades exentas. La práctica de Radioinmunoanálisis y todas aquellas prácticas en las cuales se empleen fuentes radiactivas con actividades exentas no serán objeto de Licencia de Manejo de

Materiales Radiactivos. Para el ejercicio de dichas prácticas sólo se requerirá de Inscripción en el Registro que, para efecto, llevará el Ministerio de Minas y Energía o la entidad que éste delegue.

PARÁGRAFO. Quienes a la fecha de publicación de la presente Resolución cuenten con Licencia de Manejo de Materiales Radiactivos vigente para el ejercicio de la práctica de Radioinmunoanálisis o para prácticas en las cuales se empleen fuentes radiactivas con actividades exentas, continuarán ejerciéndola al amparo de dicha licencia hasta el vencimiento de la misma y, como mínimo, treinta (30) días antes de dicho vencimiento, deberán solicitar su Inscripción en el Registro en los términos previstos en esta Resolución."

ARTÍCULO 7. Adiciónanse a la Resolución 18 1304 de 2004 los siguientes artículos:

"ARTÍCULO 21. Inscripción en el Registro. El interesado en obtener inscripción en el Registro para el ejercicio de la práctica de Radioinmunoanálisis y de todas aquellas prácticas en las cuales se empleen fuentes radiactivas con actividades exentas deberá elevar solicitud por escrito ante el Ministerio de Minas y Energía o la entidad que éste delegue, mediante la presentación del formato diseñado para el efecto, debidamente diligenciado y firmado por el representante legal, el cual deberá estar acompañado de los siguientes documentos:

1. Certificado de Existencia y Representación Legal del solicitante expedido por la Cámara de Comercio que corresponda dentro de los tres (3) meses anteriores a la fecha de la solicitud, en el que conste que dentro de su objeto social se encuentra el manejo de material radiactivo.
2. Copia de las facturas de compra de material radiactivo.
3. Normas de bioseguridad empleadas en la instalación.

"ARTÍCULO 22. Vigencia del Registro de Radioinmunoanálisis y su Renovación. La vigencia del Registro la práctica de Radioinmunoanálisis y de todas aquellas prácticas en las cuales se empleen fuentes radiactivas con

actividades exentas será de cuatro (4) años. En el caso de que la instalación de je de utilizar fuentes radiactivas el representante legal deberá informar mediante escrito dirigido al Ministerio de Minas y Energía o a la entidad que este delegue, tal situación dentro de los cinco (5) días hábiles siguientes a tal determinación."

"ARTÍCULO 23. Vigencia. La presente Resolución rige a partir de la fecha de su publicación."

ARTÍCULO 8. Modifícase el Artículo 4° de la Resolución 18 1478 de 2004, el cual quedará así:

"ARTÍCULO 4. Inspecciones. Cuando lo considere pertinente, en ejercicio de sus facultades de vigilancia y control, la autoridad competente llevará a cabo inspecciones a las instalaciones en que se realicen prácticas con materiales radiactivos, sin perjuicio de la Visita de Inspección que debe practicarse dentro del trámite de toda solicitud de expedición de una licencia para el ejercicio de actividades relacionadas con materiales radiactivos o de renovación de la misma."

ARTÍCULO 9. Las demás disposiciones de las Resoluciones 18 1304 y 18 1478 de 2004, no modificadas en virtud de la presente Resolución, continúan vigentes en los términos en que fueron previstas

ARTÍCULO 10. La presente Resolución rige a partir de la fecha de su publicación en el Diario Oficial y deroga las normas que le sean contrarias.

PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE

Dada en Bogotá, D.C.

LUIS ERNESTO MEJÍA CASTRO

Ministro de Minas y Energía

ANEXO 4

GLOSARIO

CONTAMINACIÓN RADIATIVA: Presencia indeseable de sustancias radiactivas en seres vivos, objetos o en el medio ambiente. Se habla de contaminación superficial (si afecta a la superficie de los objetos), contaminación externa (piel de las personas) o contaminación interna (órganos internos de personas).

COMPROMISO DE DOSIS EQUIVALENTE EFECTIVA COLECTIVA: dosis equivalente efectiva colectiva que afectará a lo largo del tiempo a futuras generaciones.

DAÑO NUCLEAR: Pérdidas de vidas humanas, lesión corporal o perjuicio material que se produce como resultado directo o indirecto de la radiactividad o de su combinación con las propiedades tóxicas, explosivas u otras peligrosas de los materiales radiactivos o de cualquier otra fuente de radiación.¹⁹

DOSIS: Cuando no se diga lo contrario, el término dosis se usa para expresar más simplemente el término dosis efectiva (antes dosis equivalente efectiva). Poco correctamente, en la práctica de la medicina nuclear, y por analogía con la terminología de uso corriente, se habla de dosis para expresar: - la cantidad de sustancia emisora (expresada en peso o en actividad) si se trata de una fuente no encapsulada administrada a un paciente (en forma comparable a la de dosis de un fármaco). – La energía radiada por una fuente o transportada por un haz; si se trata de la energía individual de los fotones o partículas se expresa en MeV.

¹⁹ I. Shigematsu. The 2000 sievert lecture-lessons from atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki. Health Physics. September 2000, vol 79, Number 3, p.234-241
Donald A. Pierce and Dale L. Preston. Radiation-related Cancer Risk at low Doses among Atomic Bomb Survivors. Radiation Research 2000; (154): 178 – 186.

DOSIS ABSORBIDA: mide la energía absorbida por un individuo en un punto del mismo. Por ejemplo, en las instalaciones de tratamiento oncológico, la dosis es la unidad que se utiliza para establecer el nivel de irradiación del paciente. Es un valor físico cuya unidad es el Gray (GY).

DOSIMETRÍA: Sistema para la medición y registro de la dosis absorbida.

DOSIS COLECTIVA: Dosis colectiva es la dosis efectiva a que ha resultado sometido un cierto grupo de personas. Se mide en sievert por persona (Sv.p.).

DOSIS COMPROMETIDA: Es la dosis efectiva que recibirá una persona durante los próximos 50 años (70 años en el caso de los niños). A consecuencia de la cantidad de material radiactivo que ha incorporado a su organismo. Se mide en sievert (Sv.).

DOSIS EQUIVALENTE: Es la dosis absorbida ponderada (corregida en proporción a) por la diferente eficacia biológica de las distintas clases de radiación sobre el medio vivo considerado. Los factores de corrección se denominan “factores de ponderación de la radiación” (antes factores de calidad de la radiación). Se mide en sievert (Sv.): $1 \text{ Sv.} = 1 \text{ J/Kg}$. La unidad antigua era el rem: $1 \text{ Sv.} = 100 \text{ rem}$.

DOSIS EQUIVALENTE EFECTIVA: suma ponderada de las dosis equivalentes recibidas en los distintos órganos.

DOSIS EQUIVALENTE EFECTIVA COLECTIVA: dosis equivalente efectiva procedente de una única fuente de radiación que afecta a un grupo de personas.

20

²⁰ Schull WJ. Late radiation responses in man: current evaluation from results from Hiroshima and Nagasaki. Adv Space Res 1983; 3(8): 231-9.

DOSIS EFECTIVA (DOSIS EQUIVALENTE EFECTIVA): Es la dosis equivalente ponderada (corregida proporcionalmente a) por la diferente sensibilidad de los distintos órganos y tejidos del cuerpo humano. Los factores de corrección se llaman factores de ponderación de los tejidos. Se mide en sievert (Sv.): $1 \text{ Sv.} = 1 \text{ J/Kg}$. La unidad antigua era el rem: $1 \text{ Sv.} = 100 \text{ rem}$. Hasta hace poco ese término se denominaba (dosis equivalente efectiva, pero las últimas recomendaciones de la ICPR han simplificado la denominación.

DOSÍMETRO: Instrumento o dispositivo que permite medir o evaluar una dosis absorbida, una exposición o cualquier otra magnitud radiológica. Los dosímetros emplean distintos procedimientos para las medidas de la dosis: emulsiones fotográficas sensibles a la radiación (dosímetro fotográfico), materiales que absorben la energía de la radiación y después la liberan en forma de luz (dosímetros de termoluminiscencia), sustancias químicas que se transforman en presencia de la radiación (dosímetros químicos, dosímetros de Fricke), un condensador eléctrico (dosímetro de condensador), etc. También hay diferentes tipos de dosímetros en función de su utilización: dosímetro de bolsillo, de solapa, de mano, tipo pluma, etc.

EFFECTOS ESTOCÁSTICOS: Se trata de efectos biológicos causados por radiación cuya gravedad es independiente de la dosis y cuya probabilidad se supone proporcional a la dosis sin que exista un umbral con respecto a dosis bajas de interés en protección radiológica. Entre los efectos se cuentan las enfermedades malignas y hereditarias. Cuando estos efectos se registran en la persona expuesta a la radiación, se los denomina efectos estocásticos somáticos; cuando se registran en la descendencia de padres irradiados, se los denomina efectos hereditarios.

EFFECTOS NO ESTOCÁSTICOS: Se trata de efectos biológicos causados por radiación para los que existe un umbral por encima del cual la gravedad varía con la dosis. Entre estos efectos figuran las lesiones cutáneas benignas, cataratas del cristalino, depresión celular en la médula ósea y lesiones celulares en las gónadas, que afectan a la fertilidad.²¹

EXPOSICIÓN: 1). Magnitud física que caracteriza la ionización que produce en el aire una radiación. Su unidad es el Roentgen (R): $1 \text{ R} = 2,58 \text{ E-4 culombios/kilogramo}$. 2). Efecto de someter o someterse a las radiaciones ionizantes.

EXPOSICIÓN CONTINÚA: Exposición externa prolongada cuya tasa puede, sin embargo, variar con el tiempo, o la exposición interna resultante de una incorporación permanente cuya intensidad varía con el tiempo.

EXPOSICIÓN EXTERNA/INTERNA: La exposición del cuerpo humano a fuentes exteriores a él (exposición externa) o interiores a él (exposición interna).

EXPOSICIÓN GLOBAL/PARCIAL: Exposición global es la considerada como homogénea en el cuerpo entero. Exposición parcial es la localizada esencialmente sobre una parte del organismo, o sobre uno o más órganos o tejidos, o la exposición del cuerpo entero considerada como no homogénea.

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A LA RADIACIÓN: Es aquel que está en contacto con radiaciones o material radioactivo.

EXPOSICIÓN TOTAL: Suma de las exposiciones interna y externa.

²¹ International Comisión on Radiological Protection. 1990 Recomendations of the International Comisión on radiological Protection. Vol.21. Nº. 1-3 of Annals of the ICRP. Oxford, England: Pergamon Press, 1991. (ICRP publication nº. 60)

EXPOSICIÓN ÚNICA: Exposición externa de corta duración o exposición interna resultante de una incorporación de radionucleidos durante un periodo corto de tiempo.²²

FACTORES DE RIESGO: Condición del ambiente, la tarea, los instrumentos, los materiales, la organización y el contenido de trabajo, que encierra un daño potencial en la salud física o mental, o sobre la seguridad de las personas.

FUENTE: Aparato o sustancia capaz de emitir radiaciones ionizantes.

GRAY (Gy.): Unidad de la dosis absorbida, en el Sistema Internacional de Unidades; es igual a un julio por kilogramo (J/Kg).

INCORPORACIÓN: Fenómeno por el cual una sustancia radiactiva existente en el medio exterior, pasa a formar parte del cuerpo humano por inhalación, ingestión, a través de la piel, etc.

IRRADIACIÓN: Acción de someter un material o un ser vivo a la acción de las radiaciones.

LÍMITE DE INCORPORACIÓN ANUAL (LIA): Actividad que, introducida en el organismo de un individuo dado ocasiona una dosis interna integrada igual al límite de dosis anual establecido.²³

LÍMITE INFERIOR DE ACTIVIDAD DETECTABLE (LID): Cantidad mínima de actividad que es posible medir con el método analítico empleado.

²² Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Diccionario nuclear. www.csn.es/plantillas/frame_diccionario.jsp?id_nodo=285.

²³ Limitation of exposure to ionizing radiation. NCRP report nº. 116. Bethesda, Md.:National Council on Radiation Protection and Measurements, March 1993.

LÍMITES ANUALES DE DOSIS: Valores máximos, referidos siempre a los doce últimos meses, de las dosis que pueden ser recibidas por los trabajadores profesionalmente expuestos y los miembros del público. Estos valores están fijados legalmente y en ellos no se tiene en cuenta las dosis resultantes del fondo radiactivo natural ni de las exposiciones sufridas como consecuencia de exámenes o tratamientos médicos. Los límites de dosis se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa, durante el período considerado, y de la dosis interna integrada resultante de la incorporación de radionucleidos que haya podido tener lugar durante ese mismo período.

MATERIAL RADIATIVO: Según la legislación española, cualquier material que contiene sustancias que emiten radiaciones ionizantes. Según esta definición toda sustancia, incluido el ser humano, es material radiactivo ya que toda sustancia existente contiene isótopos radiactivos. Ello no quiere decir que la existencia de esta radiactividad requiera la adopción de algún tipo de medidas de protección radiológica. Cuando se quiere expresar que un material radiactivo contiene radiactividad en una proporción tal que pueda ser necesaria la adopción de algún tipo de medida de cautela, el término utilizado es el de "sustancia radiactiva".

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA: Conjunto de normas y prácticas que se utilizan para prevenir los riesgos de la recepción de dosis de radiación y, en su caso, paliar y solucionar sus efectos.

RAD: Antigua unidad de dosis absorbida: $1 \text{ rad (rd)} = 0,01 \text{ J/Kg}$. La unidad usada actualmente, en el Sistema Internacional de Unidades es el gray: $1 \text{ gray} = 100 \text{ rad}$.

RADIACIONES IONIZANTES: Nombre genérico empleado para designar las radiaciones de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia producen iones, ya sea de forma directa o indirectamente.

RADIOACTIVIDAD: Propiedad de algunos elementos químicos de emitir partículas u ondas electromagnéticas. Esta propiedad se debe a la existencia de una descompensación entre el número de neutrones y de protones del núcleo del átomo, que provoca una inestabilidad y una liberación de la energía acumulada en forma de partículas u ondas. La radiactividad natural se debe a elementos que emiten radiaciones espontáneamente, como es el caso del uranio, el torio, el radón, etc.

RADIODIAGNÓSTICO: Utilización de los rayos X con fines de diagnóstico. Además de las instalaciones de radiodiagnóstico Básico, existen instalaciones de grandes equipos como la escanografía X (escáner) o la angiografía computerizada, donde la imagen recibe un tratamiento informatizado.

RADIOTOXICIDAD: Toxicidad debida a las radiaciones ionizantes emitidas por un radionucleido incorporado al organismo y por sus productos resultantes. La radiotoxicidad no sólo depende de las características radiactivas del radionucleido, sino también de su estado físico y químico así como del metabolismo de ese elemento en el organismo.

RAYOS X: Radiación electromagnética producido en las transiciones de electrones de los niveles más profundos. Su longitud de onda es menor que la de los rayos ultravioleta y mayor que la de los rayos gamma.

REM: Antigua unidad de dosis equivalente y de dosis efectiva. $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ J/Kg}$. En el Sistema Internacional de Unidades ha sido sustituido por el Sievert: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.

RESIDUO RADIOACTIVO: Es residuo radiactivo todo material o producto de desecho que presenta trazas de radiactividad y para el cual no está previsto ningún uso. Se incluyen los líquidos y gases residuales contaminados.

RIESGO NUCLEAR/RIESGO INDEBIDO: Contingencia de un daño nuclear. Si este riesgo es superior al admisible se denomina riesgo indebido.

RIESGO OCUPACIONAL: Probabilidad de ocurrencia de un evento generado por una condición de trabajo capaz de desencadenar alguna lesión o daño a la salud e integridad del trabajador, daño en los materiales y equipos o alteraciones del ambiente laboral.

SEGURIDAD NUCLEAR: Conjunto de normas y prácticas que se utilizan para la ubicación, el proyecto, control y funcionamiento de instalaciones nucleares o radiactivas sin riesgo indebido.

SIEVERT (SV): Unidad de la dosis equivalente y de la dosis efectiva en el Sistema Internacional de Unidades: $1\text{Sv} = 1\text{J/Kg}$. La unidad antigua es el REM. $1\text{Sv} = 100\text{REM}$.

SOBREDOSIS: Caso de superación de los límites de dosis; cuando se produce una lectura dosimétrica superior a los límites de dosis, es decir, al producirse un posible caso de sobredosis, el Consejo de Seguridad Nuclear requiere la realización de controles médicos especiales y realiza una investigación para averiguar si la dosis fue recibida realmente por la persona usuaria del dosímetro o solamente por éste- Los resultados de la investigación, de ser positivos, se reflejan en los historiales medidos y dosimétrico y en el carnet radiológico del trabajador.

SUSTANCIA NUCLEAR: En la legislación española, nombre que se aplica al combustible nuclear, con excepción del uranio natural y del uranio empobrecido, y a los productos y desechos radiactivos.

SUSTANCIA RADIATIVA: Cualquier material que contiene uno o varios radionucleidos cuya actividad deba tenerse en cuenta con fines de protección radiológica.

TASA DE DOSIS: Incremento de la dosis por unidad de tiempo. La tasa de dosis absorbida se mide en Gray por segundo (Gy/s) También se utiliza el Gy/m y Gy/h. La unidad de dosis equivalente y de dosis efectiva es sievert por segundo (Sv/s). También se utiliza Sv/m, Sv/h y Sv/año.

TRABAJO BAJO RADIACIONES: Todo trabajo relacionado con la exposición de los trabajadores a radiaciones ionizantes, realizado en locales con fuentes de radiación que originan exposiciones.

VIGILANCIA RADIOLÓGICA: Medición de la irradiación o radiactividad, por razones relacionadas con la estimación o el control de la exposición a radiaciones. El término incluye asimismo la interpretación de las mediciones.

ZONA CONTROLADA: Area en la que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades o bien, aquella zona en que sea necesario seguir procedimientos de trabajo con objeto de restringir la exposición a la radiación ionizante, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o *sus consecuencias*.

ZONA DE ACCESO PROHIBIDO: Son aquellas en las que existe riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites legalmente fijados.

ZONA DE PERMANENCIA LIMITADA: Son aquellas en las que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites de dosis legalmente fijados.

ZONA DE PERMANENCIA REGLAMENTADA: Son aquellas en las que existe el riesgo de recibir, en cortos periodos de tiempo, una dosis superior a los límites de dosis legalmente fijados y que requieren prescripciones especiales desde el punto de vista de la optimización.

ZONA VIGILADA: Area que no siendo Zona Controlada exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel, y las extremidades.²⁴

²⁴ Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Guía de seguridad 7.4 del C.S.N. rev-2. Bases para la Vigilancia Médica de los trabajadores expuestos a las radiaciones Ionizantes. Madrid, 25/06/98.