

**MAESTRIA INTERNACIONAL DE
SEGURIDAD, SALUD Y MEDIOAMBIENTE**

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
QUITO- ECUADOR

UNIVERSIDAD DE HUELVA
HUELVA-ESPAÑA

TESIS PARA LA OBTENCIÓN DE LA MAESTRIA DE SSA

**VIGILANCIA MÉDICA EN TRABAJADORES
EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES**

DR. RONALD CUEVA VITERI

2008

DEDICATORIA

Las adversidades nos harán más fuertes y humanos.

A mis hijos, con profundo amor por su comprensión, paciencia y madurez para soportar las largas ausencias laborales de su padre.

A mi madre por su inmenso cariño e invaluable apoyo que siempre me supo brindar.
A mi esposa por su comprensión y compañía

Ronald Cueva Viteri
Quito, Julio-2008

AGRADECIMIENTO:

Quiero expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a mis maestros, tanto nacionales como extranjeros, académicos brillantes que siempre nos supieron transmitir sin condición lo mejor de sus conocimientos.

**© Derechos de Autor
Ronald Efrén Cueva Viteri
2008**

RESUMEN

Desde inicios del siglo pasado las radiaciones ionizantes han sido utilizadas en el área médica, tanto en diagnóstico como en el tratamiento de ciertas patologías. Actualmente la irradiación médica se constituye en la principal fuente de exposición en el ser humano, conjuntamente con la exposición debida a la utilización de este tipo de radiación con fines industriales o de obtención de energía. Los efectos biológicos radioinducidos en el ser humano son el resultado de su interacción con las macromoléculas biológicas, afectando sobre todo al ADN, que se constituye en su blanco principal.

El presente esfuerzo propone un adecuado plan de vigilancia médica en los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, en el cual además de las valoraciones clínicas y de laboratorio rutinarias, se incluya a los estudios citogenéticos realizados en linfocitos obtenidos de sangre periférica, como un válido indicador biológico del efecto deletéreo que este tipo de riesgo físico tiene sobre el organismo humano y del grado de exposición.

PALABRAS CLAVE

Radiación Ionizante, Dosimetría, Citogenética, ADN, Cromosomas, Aberraciones Cromosomales, Linfocitos, Metafase.

ABSTRACT

Ionizing radiation has been used in the medical area since the beginning of last century). It's been used in the diagnosis as well as treatment of certain pathologies.

Medical radiation is, nowadays, the most important exposition source on human beings, together with exposition caused by the utilization of this type of radiation with industrial purposes or energy obtaining. Biological effects radiation-induced on humans are the result of biological macro molecules, thus affecting mostly on the DNA, which is its main target.

The present effort has the objective of introducing an adequate medical watch plan on workers exposed to ionizing radiations. It will include routine clinical assessment and lab tests, as well as cytogenetic studies carried out on lymphocytes obtained from peripheral blood. They will be a valid biological indicator of the deleterious effect that this type of physical risk represents in the human organism and level of exposure.

KEYWORDS

Ionizing radiation, Dosimetry, Cytogenetic, DNA, Chromosomes, Chromosomal Aberrations, Lymphocytes, Metaphase.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

VIGILANCIA MÉDICA EN TRABAJADORES EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES.....	1
1 PRESENTACIÓN.....	1
2 INTRODUCCIÓN.....	2
2.1 DESCRIPCIÓN DE ÁREA DE TRABAJO.....	2
2.2 PROBLEMA QUE SE PRETENDE ABORDAR. OBJETIVO.....	3
2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	4

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTO TEÓRICO.....	6
1 INTRODUCCIÓN A LAS RADIACIONES IONIZANTES.....	6
1.1 RADIACIONES IONIZANTES. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	9
1.2 TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES.....	11
1.2.1 RADIACIONES IONIZANTES ONDULATORIAS.....	11
1.2.2 RADIACIONES IONIZANTES CORPUSCULARES.....	11
1.3 PODER DE PENETRACIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.....	13
1.4 ORIGEN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.....	13
1.4.1 FUENTES NATURALES.....	13
1.4.2 FUENTES ARTIFICIALES.....	16
1.5 MAGNITUDES DE LAS SUSTANCIAS IONIZANTES.....	18
1.5.1 ACTIVIDAD.....	18
1.5.2 PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN.....	18
1.5.3 ACTIVIDAD ESPECÍFICA.....	18
1.5.4 DOSIS DE RADIACIÓN.....	18
1.6 UNIDADES DE MEDIDA DE RADIACIONES IONIZANTES.....	19
1.6.1 UNIDADES TRADICIONALES.....	19
1.6.2 UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL.....	20
1.7 EQUIPOS DE MEDICIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.....	21
1.7.1 DOSIMETRÍA AMBIENTAL.....	22
1.7.2 DOSIMETRÍA PERSONAL.....	23

1.8	TIPOS DE EXPOSICIÓN A LAS RADIACIONES IONIZANTES.....	24
1.8.1	IRRADIACIÓN.....	24
1.8.2	CONTAMINACION RADIATIVA.....	25
1.9	ABSORCIÓN DE RADIACIÓN Y DAÑO CELULAR.....	25
1.10	VALORES LÍMITE PERMISIBLES.....	28
1.11	EFFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA RADIACIONES IONIZANTES.....	29
1.11.1	EXPOSICIÓN EXTERNA.....	30
1.11.2	EXPOSICIÓN INTERNA.....	30
1.11.3	EFFECTOS DETERMINISTAS.....	31
1.11.4	EFFECTOS PROBABILÍSTICOS.....	31
1.11.5	EFFECTOS SOBRE LA SEGUNDA GENERACIÓN.....	32
1.12	CUADROS CLÍNICOS CAUSADOS POR RADIACIÓN IONIZANTE.....	32
1.12.1	SINDROME DE RADIACIÓN AGUDA.....	35
1.12.2	LESIONES POR RADIACIÓN AGUDA LOCALIZADA.....	37
1.12.3	CONTAMINACIÓN CON RADIONÚCLIDOS.....	38
1.12.4	EFFECTOS TARDÍOS DE DOSIS ELEVADAS.....	38
1.12.5	EFFECTOS DE BAJAS DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE.....	39
1.12.6	PREVENCIÓN DE LAS ALTERACIONES POR RADIACIÓN IONIZANTE.....	39
1.13	RADIACIONES IONIZANTES Y CÁNCER.....	40
1.13.1	CARCINOGENESIS.....	40
1.13.2	PERIODOS DE INDUCCIÓN O LATENCIA.....	41
1.13.3	RADÓN Y CÁNCER PULMONAR.....	43
1.13.4	OTROS CÁNCERES RELACIONADOS A RADIACIONES IONIZANTES.....	44
1.13.5	CÁNCER HEMATOLÓGICO Y RADIACIONES IONIZANTES.....	45
1.14	HEMATOLOGÍA LABORAL RELACIONADA A RI.....	46
1.14.1	ANEMIA APLÁSICA Y RADIACIÓN IONIZANTE.....	47
2	VIGILANCIA MÉDICA.....	48
2.1	PRÁCTICA DE LA MEDICINA LABORAL.....	49
2.2	VIGILANCIA DE LA SALUD EN EL TRABAJO.....	51
2.3	INSTRUMENTOS DE LA VIGILANCIA MÉDICA.....	53
2.3.1	INCAPACIDAD TEMPORAL.....	53

2.3.2 ENFERMEDAD CENTINELA.....	54
2.4 EXÁMENES DE SALUD.....	55
2.5 ASPECTOS ÉTICOS DE LA VIGILANCIA DE LA SALUD.....	57
2.6 VIGILANCIA MÉDICA EN CÁNCER LABORAL.....	58
3 CONTROL BIOLÓGICO DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES GENOTÓXICOS CON TÉCNICAS CITOGENÉTICAS.....	60
3.1 GENERALIDADES.....	60
3.2 ESTRUCTURA CROMOSOMAL.....	60
3.3 AGENTES GENOTÓXICOS.....	64
3.4 DAÑOS DEL ADN.....	64
3.5 TÉCNICAS CITOGENÉTICAS.....	66
3.5.1 ABERRACIONES CROMOSÓMICAS.....	67
3.5.2 MICRONÚCLEOS.....	69
3.5.3 TEST DE FRAGILIDAD CROMOSÓMICA.....	70
3.5.4 INTERCAMBIO DE CROMÁTIDES HERMANAS.....	70
 CAPÍTULO III PROGRAMA DE VIGILANCIA MÉDICA EN TRABAJADORES EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES.....	 73
1 OBJETIVO.....	73
2 CAMPO DE APLICACIÓN.....	73
3 REQUERIMIENTOS.....	75
4 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	75
5 DEFINICIONES Y CONCEPTOS DE INTERÉS.....	76
6 EPIDEMIOLOGÍA.....	77
6.1 MAGNITUD DEL PROBLEMA.....	77
6.2 FACTORES DE RIESGO.....	78
7 EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RI.....	78
7.1 EFECTOS DETERMINISTAS.....	78
7.2 EFECTOS PROBABILÍSTICOS.....	79
8 EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	80
9 VIGILANCIA MÉDICO SANITARIA ESPECÍFICA.....	81

9.1 HISTORIA LABORAL.....	83
9.1.1 EXPOSICIONES ANTERIORES.....	83
9.1.2 EXPOSICIÓN ACTUAL.....	83
9.1.3 INFORMACIÓN DE LAS DOSIMETRÍAS.....	84
9.2 HISTORIA CLÍNICA.....	84
9.2.1 ANAMNESIS.....	84
9.2.2 EXPOSICIÓN CLÍNICA.....	85
9.2.3 CONTROL BIOLÓGICO Y ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS.....	86
9.2.4 CRITERIOS DE VALORACIÓN EN CASOS DE SUPERACIÓN DEL LÍMITE DE DOSIS.....	88
9.3 CONDUCTA A SEGUIR SEGÚN LOS RESULTADOS DE LA VIGILANCIA SANITARIA.....	89
9.4 LEGISLACIÓN APLICABLE.....	91
9.4.1 DECISIÓN 584.....	91
9.4.2 DECRETO EJECUTIVO 2393.....	92
9.4.3 RESOLUCIÓN 741 DEL COMITÉ EJECUTIVO DEL IESS.....	93
9.4.4 DECRETO 1099.....	94
9.4.5 LEY DE LA COMISIÓN ECUATORIANA DE LA ENERGÍA ATÓMICA.....	94
9.4.6 REGLAMENTO DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA.....	94
9.4.7 RESOLUCIÓN 172 DEL IESS.....	96
9.5 RESULTADOS.....	97
9.6 DISCUSIÓN.....	98
9.7 CONCLUSIONES.....	98
9.8 RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFIA.....	101
ANEXOS.....	104
ANEXO A: MODELO DE CERTIFICACIÓN MÉDICA DE APTITUD.....	104
ANEXO B: DEFINICIONES Y CONCEPTOS DE INTERÉS.....	105
ANEXO C: RESUMEN DE TRABAJOS DE ESTUDIOS CITOGENÉTICOS EN TRABAJADORES EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES.....	110
ANEXO D: REGLAMENTO DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA.....	115

CAPÍTULO I

VIGILANCIA MÉDICA EN TRABAJADORES EXPUESTOS A

RADIACIONES IONIZANTES

1.-PRESENTACIÓN

La presente es una propuesta para realizar la vigilancia médica de los trabajadores que se exponen profesionalmente a las radiaciones ionizantes (RI), tratando de que tenga aplicabilidad en el Ecuador, que tome en cuenta nuestra realidad y que cumpla con la obligación que tenemos todos quienes somos responsables de la salud de los trabajadores de protegerla de manera integral, sobre todo con una visión de carácter preventivo y que cumpla los preceptos legales relacionados que en nuestro país existen.

Espero que este esfuerzo de alguna manera permita que los profesionales sanitarios prevencionistas cuenten con criterios unificados y basados en evidencia científica y en experiencias foráneas que se puedan aplicar en nuestro país, a la vez que sea una herramienta útil en la evaluación y control de la salud de los trabajadores de acuerdo a las características de esta exposición laboral (RI).

Las leyes ecuatorianas pertinentes relacionadas obligan al empresario a garantizar en los trabajadores la vigilancia de la salud de acuerdo a los riesgos inherentes a su actividad laboral lo que servirá para evaluar los efectos de las condiciones de trabajo sobre la salud de los trabajadores o para verificar si el estado de salud del trabajador podría constituir en un peligro para sí mismo, para los demás trabajadores u para otras personas relacionadas a la empresa o cuando la normativa recomiende esta vigilancia médica por ser actividades con especial riesgo como en el caso de las radiaciones ionizantes.

Los exámenes parte de la vigilancia de salud de los trabajadores se realizarán por personal sanitario acreditado de servicios propios o ajenos a la empresa y se utilizarán protocolos específicos u otros medios de acuerdo a los factores de riesgo a los que esté expuesto el trabajador. Dado que la exposición ocupacional durante el uso de las fuentes de radiación ionizante puede constituir un riesgo para la salud, el Reglamento General de Seguridad

Radiológica requiere que se practiquen exámenes médicos al personal ocupacionalmente expuesto. Para el mejor cumplimiento de este propósito, es conveniente dejar constancia del estado de salud del trabajador a través de exámenes sucesivos, a fin de disponer de elementos de referencia que permitan apreciar la importancia de cualquier modificación posterior y que suministren información en caso de exposiciones accidentales.

2.-INTRODUCCIÓN

2.1.- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO:

En los últimos años, en nuestro país, Ecuador, la visión de la Salud Ocupacional ha cambiado y empieza a ser considerada como una parte fundamental de la gestión empresarial y se ha convertido de a poco en una herramienta útil para elevar los estándares de salud y seguridad al interior de las empresas, incidiendo en mejoras en su producción, rentabilidad, competitividad e imagen.

Este cambio de visión ha hecho que el trabajador sea considerado como un eje fundamental de la actividad empresarial, tan importante como la producción, por lo tanto el precautelar su salud se ha constituido en una prioridad.

Es importante considerar que salud no es solo ausencia de enfermedad sino que su visión ahora es más integral, considerando además el aspecto mental, social y la satisfacción de aspiraciones.

Bajo esta óptica se han planteado sistemas de vigilancia de la salud en las empresas, que permitan conocer el estado de salud de los trabajadores y poder actuar de una manera temprana ante las afecciones de salud relacionadas a la actividad laboral.

La vigilancia de las enfermedades y lesiones profesionales consiste en el control sistemático de los episodios relacionados con la salud en la población activa, con el fin de prevenir y controlar los riesgos profesionales, así como las enfermedades y lesiones asociadas a ellos.

En el contexto de los riesgos laborales que existen en el desempeño de determinadas situaciones, se incluyen a las radiaciones ionizantes como un riesgo específico, en el presente trabajo plantearemos un modelo de vigilancia de la Salud en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.

Pretendemos que nuestro modelo de sistema de vigilancia de la salud en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes sea aplicable en todos aquellos sectores de servicio y de la industria en los que este tipo de radiaciones se han considerado un riesgo dentro de su actividad laboral, como son por ejemplo, aquellos servicios que utilizan Rayos X para aplicación en diagnóstico médico, servicios de Radioterapia, servicios de Gamagrafía (o Medicina Nuclear), y en servicios que mantienen personal que labora en control radiológico de soldaduras en la construcción de tanques y oleoductos (Defectoscopia).

2.2.- PROBLEMA QUE SE PRETENDE ABORDAR - OBJETIVO:

El control y la vigilancia de la salud en el ambiente laboral, consiste en el estudio concienzudo de la salud de los trabajadores expuestos a riesgos existentes, mediante la recogida y análisis constante de datos sobre los factores de riesgo y salud, para identificar problemas de salud, sus factores causales, y poder planificar y evaluar intervenciones de carácter preventivo frente a dichos problemas.

La finalidad de este trabajo es proponer un sistema de Vigilancia de la Salud para el control de los riesgos de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. Objetivo sencillo y práctico, que servirá de guía para el personal de salud de las empresas que enfrentan este riesgo, que nos permita mantener la salud de la población expuesta mediante la detección oportuna de manifestaciones precoces de patología radioinducida y que también ayude con la toma de las decisiones de carácter preventivo pertinentes.

En el desarrollo de nuestro modelo vamos a abordar en un inicio aspectos generales relacionados a la radiación ionizante y sus efectos biológicos en los distintos tejidos de los seres humanos.

Además plantearemos pruebas de laboratorio y reconocimientos médicos tanto preocupacionales, como ocupacionales periódicos y reconocimientos y pruebas en situaciones especiales. Estos reconocimientos médicos siempre aportarán datos clínico-laborales actuales con la descripción minuciosa de su puesto de trabajo y los riesgos laborales.

Asimismo se obtendrá datos sobre sus antecedentes médico-laborales anteriores que nos guiarán sobre exposiciones a riesgos, accidentes o enfermedades profesionales en trabajos anteriores.

El presente protocolo de vigilancia médica específico para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes tiene como objetivo orientar las actuaciones, es decir servir de guía al personal médico a cargo de la vigilancia médico-sanitaria de todos los trabajadores expuesto a radiaciones ionizantes. Pretendemos establecer los requerimientos que se deben cumplir en la evaluación y vigilancia médica del personal expuestos con fines de seguridad radiológica, así como también establecer requisitos a cumplir por los candidatos a laborar como personal ocupacionalmente expuesto a RI.

2.3.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO:

La vigilancia de la salud se constituye en uno de los pilares sobre los que se asientan todas las acciones de vigilancia de riesgos dentro de las empresas. Es decir la vigilancia de la salud dentro de las empresas, es el elemento fundamental en el quehacer prevencionista.

En el Ecuador existen una serie de regulaciones legales que defienden el derecho a la salud y a un ambiente de trabajo seguro y saludable, que sea han consignado en varios cuerpos legales , empezando desde la Constitución del Estado vigente, el Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo, el Código del Trabajo, el Reglamento para el Funcionamiento de los Servicios Médicos de Empresa, el Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo.

Así también existen reglamentaciones específicas en cuanto a la protección para el riesgo laboral por radiaciones ionizantes, pero en cuanto a establecer un sistema de vigilancia médica específica, este queda en recomendaciones un tanto generales.

Creo que esta propuesta se justifica en que existen varios intentos muy generales de establecer sistemas de vigilancia de la salud de los trabajadores en los cuales a veces se determinan pruebas o exámenes que no tienen razón de realizarse, ni se consideran los riesgos específicos a los que se exponen los trabajadores en sus jornadas laborales en las empresas.

Además de cumplir con las regulaciones legales existentes en nuestro país, creo que esta propuesta encaminada a planear un modelo de vigilancia de la salud en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes es novedosa ya que permitiría, tener ciertas directrices de actuación y elementos de juicio en casos de situaciones específicas como la determinación de aptitud de los trabajadores, y la recomendaciones de reconocimientos y pruebas especiales en casos de sobre-exposición.

El establecer este modelo de sistema de vigilancia de la salud en trabajadores expuesto a radiaciones ionizantes sería un buena guía de referencia a la hora de establecer sistemas de vigilancia al interior de las empresas que tienen que enfrentar este riesgo ,que les permita optimizar recursos siendo eficaces en la realización de exámenes y procedimientos con un propósito específico y que sirvan en realidad para la efectiva evaluación del estado de salud de los trabajadores, la detección precoz de alteraciones tempranas y la toma de correctivos para evitar complicaciones y secuelas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTO TEÓRICO

1.- INTRODUCCIÓN A LAS RADIACIONES IONIZANTES

Desde el descubrimiento de los Rayos X por Roentgen en 1895 y de la radiactividad por Becquerel, en 1896, el conocimiento sobre sus consecuencias para la salud ha avanzado a medida que los estudios sobre radiaciones se han profundizado.

El propio Becquerel sufrió las consecuencias de la exposición a las radiaciones, presentando lesiones en piel cuando guardó en un bolsillo un frasco que contenía radio. Marie Curie, ganadora en dos ocasiones del premio Nóbel falleció víctima de leucemia, con certeza consecuencia de la exposición a la radiación (1).

Hubo muchos fallecimientos en el colectivo de los primeros trabajadores que laboraron con radiación, entre los que destacan los de aquellos que laboraban con sales de radio para pintar las esferas luminosas de relojes y mirillas, que desarrollaban cáncer de mandíbula por la rutina de humedecer los pinceles en la boca.

A raíz de la utilización de las bombas atómicas en las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki, se pudo estudiar ampliamente a la población de supervivientes y evaluar de mejor manera los efectos biológicos ocasionados por las radiación a largo plazo.

Es indudable que el uso de las radiaciones en la actualidad, sobre todo con fines médicos, tanto terapéuticos como diagnósticos constituyen uno de grandes beneficios de los que ha podido disfrutar la Humanidad, pero no fue así en sus inicios ya que existieron daños atribuibles a exposiciones a radiación que ahora no se justificarían.

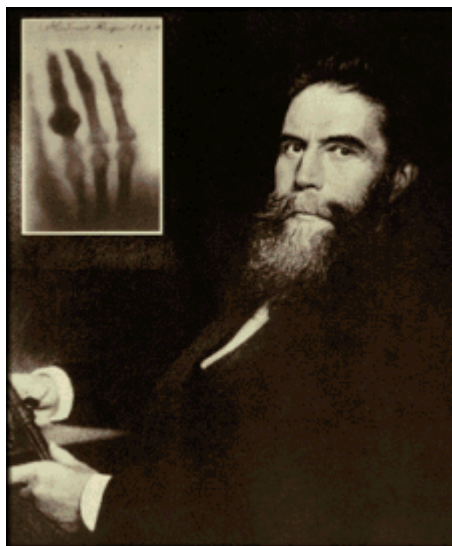


Imagen 1: Roentgen que descubrió lo Rayos X en 1895

Todo este lastre de aspectos negativos a lo largo de la historia a hecho que las poblaciones tengan concepciones más bien erradas de la radiación y de la radiactividad, considerándolas como un nefasto invento del hombre e intrínsecamente peligrosas, desconociéndose que la radiación y radiactividad forman parte usual de la Naturaleza y de nuestro propio cuerpo. Sin embargo, la radiactividad es uno de los grandes descubrimientos realizados por el hombre contemporáneo, ya que a medida que se profundizó en su conocimiento también se abrió importantes campos de aplicación de esta característica, tanto en medicina, en agricultura, en la industria, en la biología y en muchas otras áreas, que hace que en la actualidad las sustancias radiactivas y los aparatos emisores de radiaciones ionizantes sean prácticamente insustituibles (1).

Cuando se habla de radiación, nos referimos en general a fenómenos físicos que consisten en emisión, propagación y absorción de energía por parte de la materia, ya sea como ondas (radiaciones electromagnéticas) o como partículas subatómicas (corpúsculares) (2). En otras palabras la radiación es un proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o algún medio, pero también este término se aplica tanto a las ondas como a las partículas por sí mismo. Lo usual es que la radiación se produzca predominantemente en una estas dos formas tanto como ondas o como partículas.

Las radiaciones electromagnéticas se ven determinadas por variables como:

Frecuencia (γ): que corresponde al número de ondas que pasan por un punto del espacio por unidad de tiempo y se mide en **Hz** (Herz).

Longitud de onda (λ): que es la distancia medida a lo largo de la línea de propagación entre 2 puntos en fase de ondas adyacentes. Se mide en unidad de longitud desde **nm** (nanómetro) hasta **Km.** (kilómetro).

Energía (E): La cual es proporcional a la frecuencia, se mide en energía por fotón y su unidad es el **eV** (electrón voltio).

Las radiaciones pueden ser de dos tipos, **radiaciones ionizantes (RI)** y **radiaciones no ionizantes (RNI)**, de acuerdo a la capacidad de producir **fenómenos de ionización** sobre la materia en la que inciden. Esta capacidad de producir fenómenos de ionización sobre la materia está relacionada con la cantidad de energía que conllevan tal como se aprecia en el Cuadro 1.

Cuadro 1

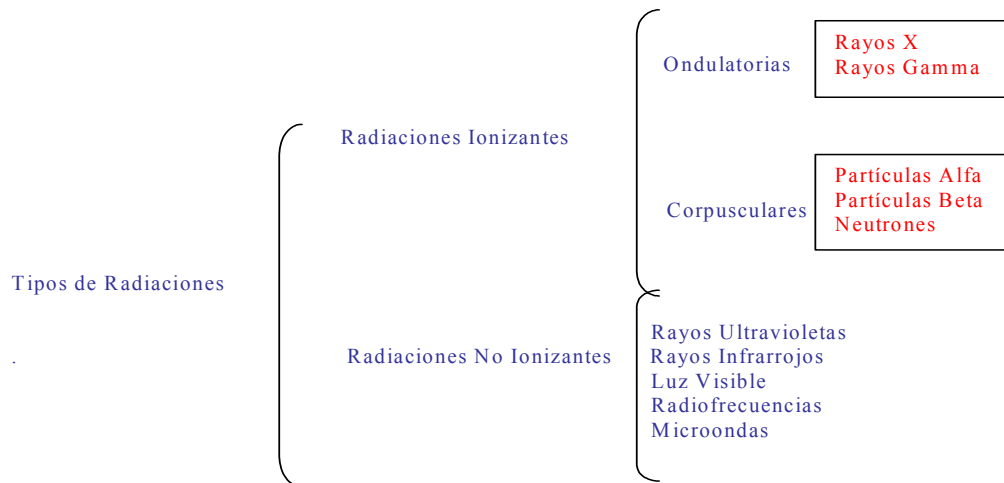
RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS

TIPO DE RADIACION	FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA	ENERGIA/FOTON
IONIZANTE (RI)	> 3000 THz	< 100 nm	>12.4 eV
NO IONIZANTE (RNI)	< 3000 THz	> 100 nm	< 12.4 eV
ULTRAVIOLETA	3000-750 THz	100-400 nm	12.4 -3.1 eV
VISIBLE	750-385 THz	400-780 nm	3.1-1.59 eV
INFRARROJA (IR)	385 -0.3 THz	0.78-1000 μm	1590-1.24 meV
MICROONDAS (MO)	300-0.3 GHz	1-1000 mm	1240-1.24 μeV
RADIOFRECUENCIAS(RF)	300-0.1 MHz	1-3000 m	1240 -0.41 neV

Las **radiaciones ionizantes (RI)** poseen suficiente energía como para provocar la expulsión de electrones de la órbita atómica (**IONIZACIÓN**) en la materia y **las radiaciones no ionizantes (RNI)** no tienen la suficiente energía de los fotones emitidos como para ionizar los átomos de la materia .En el grupo de las radiaciones ionizantes , que como anteriormente indicamos se caracterizan por su capacidad de incidir sobre la materia, ionizándola, pueden dividirse en **ondulatorias** entre las que se encuentran los **rayos X** y los **rayos gamma (γ)**, y en **corpúsculares** entre las que destacan las **partículas alfa (α)** , **partículas beta (β)** y los **neutrones** . Dentro del grupo de las radiaciones no ionizantes se incluyen a los campos eléctricos, las radiofrecuencias,

microondas, rayos infrarrojos, luz visible, luz ultravioleta y rayos láser (2). (Cuadro 2)

Cuadro 2
TIPOS DE RADIACIONES



1.1.-RADIACIONES IONIZANTES – CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Los seres humanos conviven en medio de múltiples tipos de radiaciones, que son radiaciones de origen natural (las radiaciones terrestres y las radiaciones cósmicas) y radiaciones de origen artificial, producto de la actividad humana.

Como indicamos anteriormente, al hablar de radiación nos referimos a una forma peculiar de transmisión de energía ya sea como ondas electromagnéticas o como partículas de materia (que tienen o no carga eléctrica).

Cuando la radiación incide sobre la materia (ser vivo o inerte) produce diversos efectos, los cuales dependen del tipo de radiación, de la energía que lleve implícita y del tiempo de exposición.

La materia está constituida por átomos y cada uno de ellos está compuesto por un núcleo que contiene a su vez **Protones** (carga eléctrica positiva) y **Neutrones** (carga eléctrica nula), por fuera del núcleo existe una corteza de electrones (que tienen carga eléctrica negativa).

Normalmente, los electrones que forman parte de un átomo, se mantienen ligados al núcleo por intensas fuerzas electrostáticas (atracción por cargas eléctricas de distintos signos). El átomo mide del orden de 10^{-8} cm., y el núcleo mide menos de 10^{-12} cm. En estado normal, la materia es eléctricamente neutra, ya que los átomos son eléctricamente neutros porque la carga negativa de la corteza de electrones es igual a la carga del núcleo.

Se conoce como fenómeno de ionización cuando la radiación incide sobre la materia y tiene la energía suficiente como para arrancar en el átomo a alguno de los electrones ligados al núcleo (3), dando como resultado **un electrón libre** dotado de mayor o menor energía cinética y de un resto del átomo remanente, es decir un **Ion** (que está constituido por el núcleo y el resto de electrones) con carga positiva.

Todas las radiaciones que son capaces de producir fenómenos de **ionización** se denominan radiaciones ionizantes y esta capacidad tiene relación con la suficiente energía de la radiación que supera un valor mínimo necesario como para producir iones en la materia.



Imagen 2: Señales de Peligro exposición a Radiaciones Ionizantes

Resumiendo, hablamos de radiaciones ionizantes (RI), cuando estas, al interactuar con la materia, producen su ionización, es decir originan partículas cargadas eléctricamente (iones).

La utilización de fuentes radiactivas (radioisótopos) o de generadores de radiaciones ionizantes (rayos X, rayos gamma (γ), aceleradores de partículas, etc.) es cada vez más común en diversas aplicaciones, no solamente en el área médica (diagnóstico y

tratamiento de enfermedades) , sino en áreas de investigación, en producción de energía nuclear y en la industria, como por ejemplo la incorporación de radioisótopos en instrumentos de medida , o de control de intrusismo.

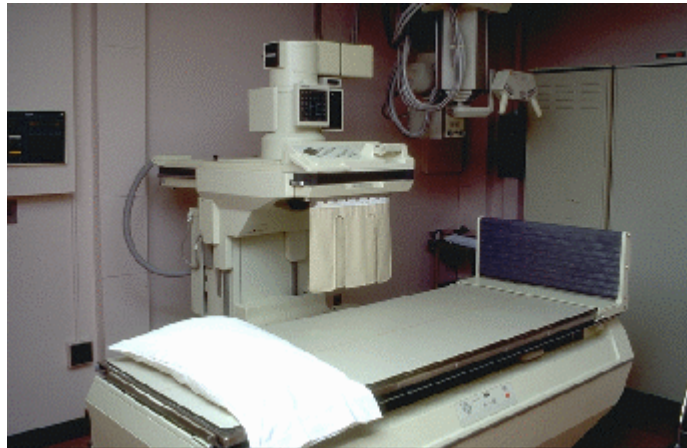


Imagen 3: Unidad de rayos X

1.2.-TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES

Las radiaciones ionizantes se las puede dividir en dos grandes grupos, **RI Ondulatorias** (rayos X, rayos gamma (γ) y rayos cósmicos) y las **RI Corpusculares** (partículas subatómicas).

1.2.1.-RADIACIONES IONIZANTES ONDULATORIAS: Son radiaciones electromagnéticas de alta energía y que tienen como particularidad el carecer de masa y no poseer carga eléctrica y sus principales exponentes son los rayos X y los rayos gamma (γ).

- **Rayos X:** Se producen en reacciones en la corteza del átomo, con energía superior a la luz visible, lo que le da la capacidad de atravesar cuerpos opacos.
- **Rayos gamma (γ):** Tienen su origen en reacciones de núcleos atómicos inestables tanto naturales como artificiales y que por su pequeña longitud de onda pueden atravesar importantes espesores de la materia. **radiación gamma (γ)** que es radiación electromagnética del extremo más energético del espectro, por tanto muy penetrante.

1.2.2.-RADIACIONES IONIZANTES CORPUSCULARES: A diferencia de las

anteriores (ondulatorias), estas tienen masa y poseen una carga eléctrica definida, y las más importantes corresponden a las partículas alfa (α), partículas beta (β) y a los neutrones.

Partículas alfa (α): Son núcleos de helio con 2 unidades de carga eléctrica positiva y cuatro unidades de masa. Tienen mucha intensidad energética, son altamente ionizantes pero tienen un bajo poder de penetración, siendo detectadas fácilmente, son detenidas por la piel humana.

Partículas Beta (β): Corresponden a electrones o positrones procedentes de la transformación del núcleo, de carga eléctrica negativa y masa nula. Tienen menor capacidad de ionización por menor intensidad energética que las partículas alfa, pero mayor poder de penetración.

Neutrones: Conjuntamente con los protones forman parte del núcleo atómico, Tiene una unidad de masa y carga eléctrica nula, Poseen gran poder de penetración pero baja capacidad de ionización.

Las instalaciones en las que se labora con radiaciones ionizantes pueden ser instalaciones nucleares o instalaciones radiactivas:

- **Instalaciones Nucleares** son aquellas como las centrales nucleares, reactores nucleares, fábricas que utilicen combustibles nucleares, que realicen tratamiento de sustancias y residuos nucleares, o que almacenen sustancias nucleares.
- **Instalaciones Radiactivas** son aquellas que tienen fuentes de radiaciones ionizantes, incluidas aquellas aparatos generadores de RI utilizadas para fines médicos, así como también aquellos locales, laboratorios, fábricas donde se produzca, manipule o almacene material radiactivo.

La emisión de RI es una característica común a muchos átomos con núcleos inestables, cuyo número de neutrones resulta escaso o excesivo; se los llama átomos "**radiactivos**", en los que las ligaduras nucleares se transforman en busca de configuraciones más estables, liberando energía, asociada a la radiación emitida. También pueden generar RI, aquellos aparatos en los utilizando intensos campos electromagnéticos se consigue acelerar partículas elementales (electrones, positrones o protones) que en sí mismas son

radiaciones ionizantes, o que al interactuar con la materia provocan reacciones que liberan radiación ionizante, como es el caso de los rayos X.

1.3.- PODER DE PENETRACIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

La radiación ionizante tiene propiedades penetrantes, importantes en el estudio y utilización-aplicación de los materiales radiactivos. Los rayos alfa de origen natural son frenados por un par de hojas de papel o unos guantes de goma. Los rayos beta son detenidos por unos pocos centímetros de madera. Los rayos gamma y los rayos X, según sus energías, exigen un blindaje grueso de material pesado como hierro, plomo u hormigón, tal como se puede apreciar en la figura 1.

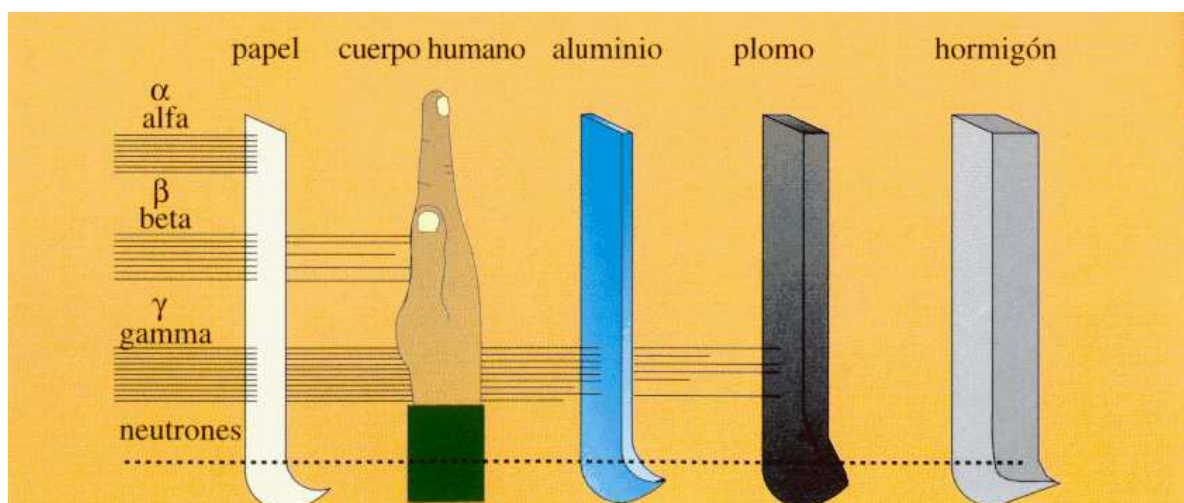


Figura 1.- Capacidad de penetración en la materia de los distintos tipos de radiación (Sollet, 1997)

1.4.-ORIGEN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

La presencia de las radiaciones ionizantes es una constante en nuestro mundo y en el universo. Existen fuentes naturales y fuentes artificiales de radiación ionizante.

1.4.1.-FUENTES NATURALES:

Son resultado de la radiación intrínseca existente en la naturaleza (en la propia tierra) así como también de la radiación proveniente del cosmos.

La radiación cósmica que se originan en el sol y en el espacio exterior y de la cual

llegan a la Tierra cada segundo aproximadamente 2×10^{18} partículas de muy elevada energía, fundamentalmente protones (86%) y partículas alfa (α) (12%) junto con radiación X y gamma (γ). Al interactuar con la atmósfera de la tierra, sobre todo con el oxígeno y nitrógeno, los protones más energéticos provocan reacciones que dan lugar a la aparición de neutrones, junto con una cascada de piones y mesones, que acaban acompañados por radiación gamma (γ), electrones y positrones. Esta radiación, al reaccionar con los componentes atmosféricos produce varias sustancias radiactivas como el ^{39}Ar , el ^{14}C , el ^3H , el ^7Be y otros. Cabe anotar que la atmósfera ejerce un efecto protector de este tipo de radiación frenándola y absorbiéndola, razón por la cual es menor la dosis de radiación que se recibe a nivel del mar con relación a la radiación que se puede recibir en las zonas montañosas o mientras se viaje en avión. Como referencia se sabe que a 10000 m de altura se reciben en promedio 5 mSv al año, mientras que a 600 metros solamente 0,03 mSv/año.

El campo magnético terrestre también protege de las RI, desviándolas, razón por la cual en la zona ecuatorial existe menor dosis de radiación que en los polos terrestres. Para el promedio mundial, la radiación cósmica supone un **16%** de la dosis anual (0,4 mSv al año).

Radiación natural terrestre: Ofrece la mayor contribución a la dosis media recibida por los habitantes de nuestro planeta ya que en el subsuelo hay importantes cantidades de elementos radiactivos como el uranio, torio y otros que esparcen radiactividad sobre todo lo que existe en nuestro planeta, incluyendo nuestro propio organismo (Figura 2), así por ejemplo, se reciben por hora cerca de **200.000.000** de rayos gamma(γ) que provienen del suelo y de distintos materiales de construcción que corresponden a un **20%** de la dosis promedio mundial (0,5 mSv al año).

Cuando el uranio que se encuentra en forma natural en la tierra se desintegra, provoca la formación del Radón, que es un gas que difundirá a través de todas las grietas, resquicios y poros del suelo y de los materiales de construcción, llegando a ser parte del aire que respiramos, siendo importante su influencia al interior de los edificios y de los hogares. Este gas en espacios abiertos se dispersa fácilmente pero en cambio el grado de exposición al radón aumenta notablemente en sitios cerrados y domicilios con buen

aislamiento térmico.

Los productos de la desintegración del radón, conocidos como los hijos del radón también son radiactivos, pero son sólidos y pueden quedar unidos a las partículas de polvo presentes en el aire. Las cantidades de radón o torón (fruto de la desintegración del torio) y sus descendientes varían de acuerdo al tipo de roca que forme el suelo y los materiales de construcción de los edificios y de su ventilación. Contribuyen aproximadamente al **45%** de la dosis promedio mundial (con 1 mSv al año).

Alimentos y bebidas: Es evidente que existe radiactividad incorporada a los alimentos y bebidas que ingerimos. Ciertos crustáceos y moluscos tienden a concentrar radiactividad; entre los radionucleidos naturales que ingerimos destaca el uranio y sus descendientes (como el ⁴⁰ K). (2) .Algunas aguas minerales, procedentes de macizos graníticos ricos en uranio y que también son especialmente ricos en material radiactivo natural contribuyen con aproximadamente el **12%** de la dosis media mundial (0,3 mSv al año). En la figura 2 se representa el contenido de radiactividad de algunos materiales naturales y artificiales.

1 Gallegos Díaz E ,Riesgos por Exposición a Radiaciones Ionizantes..Departamento de Ingeniería Nuclear. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales .Madrid.

2 Cortez J.M. Seguridad e Higiene del Trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales. Cap: 26. 9na edición Tebar. España.

3 Evaluación y prevención de Riesgos. Biblioteca Técnica de Prevención de Riesgos Laborales. Capítulo 2.10.

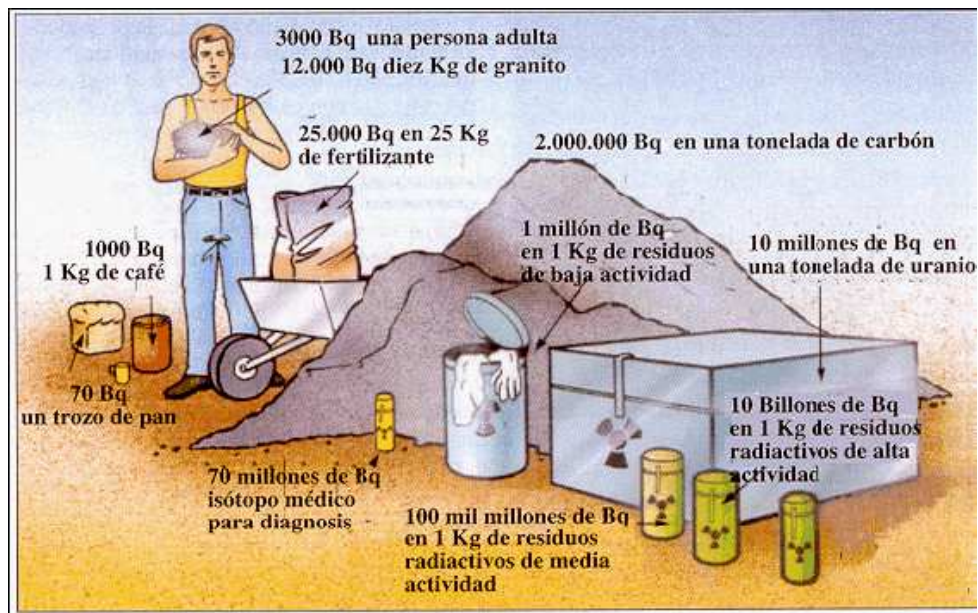


Figura 2 Contenido radiactivo en Bq (desintegraciones por segundo) de varios materiales naturales y artificiales. (Sollet 1997)

1.4.2.-FUENTES ARTIFICIALES:

Las fuentes artificiales de RI son producto de la actividad humana y destacan sobre todo por su cantidad y por su utilización. La radiación para uso en procedimientos médicos tanto diagnósticos como terapéuticos es la principal fuente de radiación artificial para la población en general. Son fundamentales los rayos X y el empleo de radioisótopos en medicina nuclear para diagnóstico en cambio para tratamiento médico sobre todo del cáncer se emplea radioterapia con intensas fuentes de radiación, con las que precisamente se busca destruir las células del tejido enfermo.

La radiación y las sustancias radiactivas tienen numerosas aplicaciones en la industria y en nuestra vida cotidiana en la que es común estar en contacto con detectores de humo, relojes luminosos, sensores de nivel en tanques y en máquinas para llenado de bebidas, sensores de densidad para la fabricación del papel o de los cigarrillos, fuentes de gammagrafía industrial para verificación de soldaduras de ductos, etc., son sólo algunos ejemplos de su utilidad y aporta un pequeño porcentaje del **0,3%** de la dosis mundial.

Explosiones nucleares en la atmósfera, bélicas o experimentales y accidentes nucleares como el de Chernóbil, también aportan una pequeña exposición de RI a la población de todo el planeta, cifrada actualmente en unos pocos microSievert al año (0,007 mSv).

Observamos que también la producción de energía eléctrica también libera radiactividad al medio ambiente. No sólo las centrales nucleares para producción de electricidad sino también aquellas en las que la combustión del carbón libera radionucleidos naturales.

La basura nuclear constituye otra fuente de radiaciones ionizantes de origen artificial y la componen los materiales de desecho radiactivos de la industria nuclear, de los hospitales y los centros de investigación. En la figura 3 se resume las dosis medias anuales que recibe la población mundial por todas las fuentes de radiación ionizante.

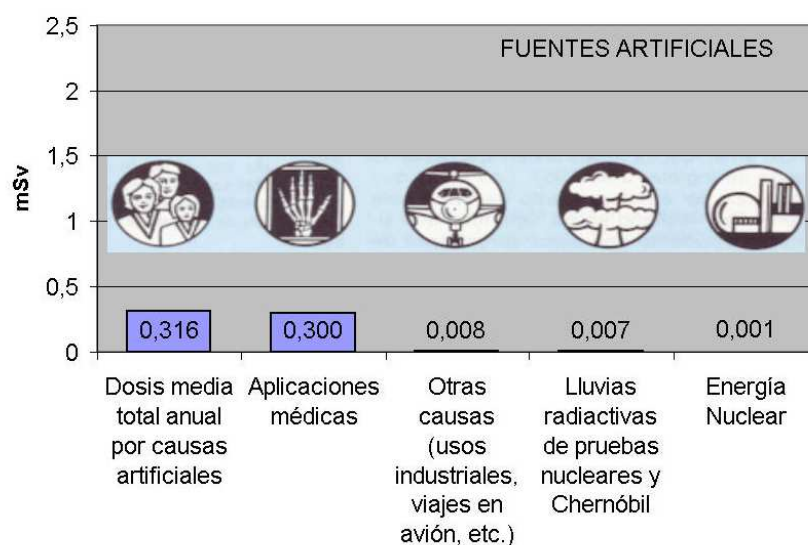
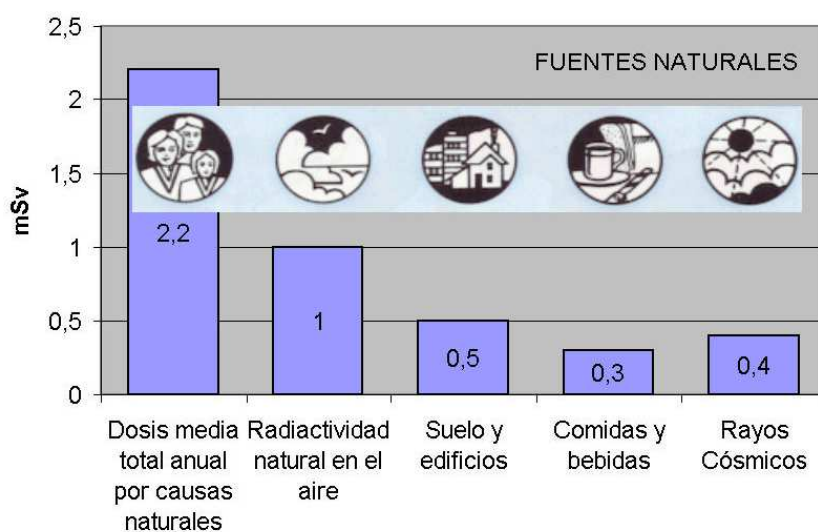


Figura 3- Contribución de las diferentes fuentes de radiación naturales y artificiales a la dosis media anual recibida por la población mundial. (Datos de UNSCEAR, 2000)

1.5.-MAGNITUDES DE LAS SUSTANCIAS IONIZANTES

Las sustancias que generan RI tienen varias características que las diferencian, como son las que a continuación exponemos:

1.5.1.-ACTIVIDAD: Corresponde a la velocidad con la que se suceden las transformaciones en una sustancia radiactiva y que se medirá como el número de átomos que se transforman o desintegran por unidad de tiempo, siendo la unidad natural el Becquerel (Bq) que corresponde a 1 desintegración / segundo, así llamado en honor al descubridor de la radiactividad. El Becquerel es la unidad del Sistema Internacional (SI). Anteriormente se utilizó como unidad de actividad al Curie, que correspondía a la actividad existente en 1 gramo de ^{223}Ra (aproximadamente $3,7 \times 10^{10}$ Bq (desintegraciones /segundo). El Curie (Ci) no corresponde al Sistema Internacional de medidas. Dado que el Bq es una unidad muy pequeña, en la práctica se impone el uso de sus múltiplos. En cambio el Ci es una unidad de actividad más bien considerable por lo cual se recomienda el uso de sus submúltiplos.

1.5.2.-PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION: Es el tiempo que toma para que la radiactividad de una sustancia se reduzca a la mitad de su valor, el cual puede ser de varios minutos hasta inclusive centenares de años.

1.5.3.-ACTIVIDAD ESPECIFICA: Corresponde a la relación entre la actividad nuclear y su unidad de masa y se la puede expresar en Curies/ gramo (Ci/ g).

1.5.4.-DOSIS DE RADIACION: Para poder determinar los efectos biológicos de la RI se debe cuantificar la cantidad de radiación que reciben los órganos afectados, razón por la cual se deben definir las dosis absorbida y la dosis equivalente que exponemos a continuación:

- **Dosis Absorbida:** Es la cantidad de energía que absorbe un objeto irradiado por unidad de masa siendo importante cuando se estudia los efectos sobre un órgano o un tejido de manera individual. Se expresa en **Gray (Julio/Kg.)** o en **Rad (100 ergios/**

g).

Un Gray corresponde a 100 rads. (**1 Gy = 100 rads**). Dado que el Gray es una unidad considerablemente grande se suele utilizar un submúltiplo que es el mili Gray (**mGy**).

- **Dosis Equivalente:** esta magnitud corresponde a la dosis absorbida por el individuo, y toma en cuenta el tipo de radiación y el potencial daño biológico que provocara en el tejido irradiado, razón por la cual se constituye en un mejor índice de la toxicidad de las radiaciones. En su cálculo se toma en cuenta un factor (ERB) o factor de Eficacia Biológica Relativa para expresar la dosis equivalente expresada en REM (Roentgen Equivalent Man). El valor del factor EBR es igual a **1** para los rayos X, gamma y radiaciones beta.

$$\text{Dosis equivalente} = \text{Dosis absorbida} \times \text{factor EBR}$$

La unidad de medida que en la actualidad le correspondiente es el Sievert (Sv), que en la práctica resulta una unidad de medida muy alta, razón por lo que es común el uso de su submúltiplo que es el miliSievert (**mSv**)

1.6.-UNIDADES DE MEDIDA DE RADIACIONES IONIZANTES

Las unidades de medida de la radiación tienen cierta complejidad, ya que existen un grupo de unidades de uso tradicional y un grupo de unidades de uso reciente adoptado por el Sistema internacional de unidades (SI).

1.6.1.-UNIDADES TRADICIONALES:

El Roentgen es una unidad utilizada para la medición de la exposición a la radiación. Es usada solo para la medición de cantidades de radiación ionizante electromagnética, (rayos X, rayos gamma γ) en el aire. Es realmente una medida de la ionización existente en las moléculas de una masa de aire y corresponde a la energía radiante que deposita $2.58 * 10^4$ culombios por kilogramo de aire seco. Esta unidad es fácil de medir de forma directa.

El rad como ya indicamos anteriormente es una unidad de medida de la dosis de radiación absorbida. Se relaciona con la cantidad de energía absorbida por un material y

puede ser utilizada para cualquier tipo de radiación y para cualquier material. Se define como la absorción de **100 ergios por gramo de material**. No toma en cuenta los efectos biológicos de los distintos tipos de radiaciones.

El rem (Roentgen/Rad Equivalent Man). Es una unidad utilizada para cuantificar los efectos biológicos de la radiación. No todas las radiaciones tienen el mismo efecto biológico, incluso con la misma cantidad de dosis absorbida. Para determinar la dosis equivalente (rem) hay que multiplicar la dosis absorbida en **rad** por un factor de calidad **Q (factor ERB – factor de Eficacia Biológica Relativa)**, propio de cada tipo de radiación. Para las radiaciones electromagnéticas, el rad y el rem coinciden en su valor, puesto que se les asigna un valor Q de 1. Las dosis suelen expresarse en términos de milésimas de rem o **milirem (mrem)**.

1.6.2.-UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL (SI):

Estas unidades son cada vez utilizadas con mayor frecuencia y son las que se acepta en la actualidad, y son:

El Gray (Gy) es una medida de la dosis absorbida y tiene al rad como su contraparte en el sistema tradicional, es utilizada para cualquier tipo de radiación y para cualquier tipo de material. Un Gray es igual a un Julio de energía depositado en un kilogramo de materia. Al igual que el rad no describe los efectos biológicos de la radiación. Un **Gy es equivalente a 100 rads** y a menudo la dosis absorbida se expresa en centiGray (cGy) o en miliGray (mGy).

El Sievert (Sv) es una unidad utilizada para describir la dosis equivalente tomando en cuenta los efectos biológicos de los distintos tipos de radiación. Tiene similar significación al rem y equivale a 100 rem. A menudo debe utilizarse en unidades fraccionarias, que van desde el miliSievert (mSv) hasta **millonésimas de Sievert, o micro-Sievert. (μ Sv)**.

En el cuadro 3, se aprecia un resumen de los parámetros y las unidades de medida de la radiación.

Cuadro 3
UNIDADES DE RADIAC IÓN

Parámetro	Unidades SI	Unidades CGS	Conversión
Actividad=velocidad de desintegración (desintegración por seg.)	Becquerel(Bq)	Curie(Ci)	1Ci=3.7x10 ¹⁰ Bq 1Bq+=2.703x 10 ⁻¹¹ Ci
Exposición (dosis)= cantidad de radiación de rayos X o γ en un momento dado	Coulomb (C)/Kg. de aire	Roentgen (R)	1C/Kg. de aire= 3876 R R=258 mC/Kg. de aire
Velocidad de dosis= dosis por unidad de tiempo(cuentas por minuto)	Coulomb (C)/Kg. de aire/hora	Roentgen (R)/hora	Igual que la anterior
Dosis absorbida=cantidad de radiación absorbida por unidad de masa	Gray (Gy) Joules(J)/Kg.	Rad Erg.	1Gy= 1 J/Kg. 1 Gy=100 rad 1 rad= 0.01 Gy 1 rad= 100 erg
Dosis equivalente= dosis absorbida en términos de efecto biológico estimado en relación con la exposición a 1 roentgen de radiación de Rayos X o γ	Sievert (Sv)	Rem	1 Sv= 100 rem 1 rem= 0-01 Sv

1.7.-EQUIPOS DE MEDICION DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

El ser humano carece de órganos sensoriales como para poder detectar la radiación, lo que nos hace dependientes de los instrumentos para determinar la presencia de RI en nuestro entorno. La radiometría se encarga de la medición de las magnitudes de RI, y en cambio cuando se mide dosis, se denomina dosimetría. El instrumento utilizado es el radiómetro o dosímetro de radiación y podrá destinarse a dosimetría de los ambientes trabajo o a dosimetría individual o personal para lo cual el trabajador lo llevará colocado durante todo el tiempo de exposición, permitiendo comprobar la radiación acumulada.

La unidad usada en los aparatos de medición en higiene del trabajo es el rem.

Los dosímetros se basan en detectar RI, aprovechando varios de los efectos que producen en la materia al interactuar y que pueden ser:

- Ionización de gases
- Ennegrecimiento de películas fotográficas
- Termoluminiscencia

Centelleo

1.7.1.-Para dosimetría ambiental se utilizan 3 tipos de detectores:

Cámaras de ionización

Contadores de Geiger Muller

Detectores de centelleo

a. Detectores de cámara gaseosa o cámaras de ionización:

Es el tipo más común de detector de RI, se basa en la capacidad de la radiación de formar iones al atravesar el aire u otro gas específico. Cuando se dispone un alto voltaje entre dos zonas de una cámara llena de gas, los iones positivos serán atraídos hacia el polo negativo del detector (el cátodo), y los electrones libres lo serán hacia el polo positivo (el ánodo). Si ambos electrodos se conectan a un instrumento de medida de la diferencia de potencial creada, aparecerá una señal que será mayor mientras mayor sea la dosis de radiación detectada por el instrumento.

Los contadores de Geiger Muller, se basan también en este principio pero tienen mayor sensibilidad es decir se utiliza para medir cantidades de radiación muy pequeñas, ya que pueden captar mayores diferenciales de potencial en los electrodos. Generalmente se lo usa para determinar actividad, como **activímetros**. No pueden evaluar energía.

b. Detectores de centelleo

Aprovechan la presencia de fotones luminosos producidos en algunas sustancias como el cristal de yoduro sódico por efecto de las RI (fenómeno de centelleo).

La luz producida por la radiación (centelleo) es reflejada a través de una ventana, y es amplificada por un tubo fotomultiplicador. Este tipo de detectores son muy sensibles y son ideales como **espectrómetros o medidores de energía de las partículas**, utilizados fundamentalmente en el entorno de los laboratorios de experimentación. Tienen como desventaja el ser caros, inestables y menos manejables.

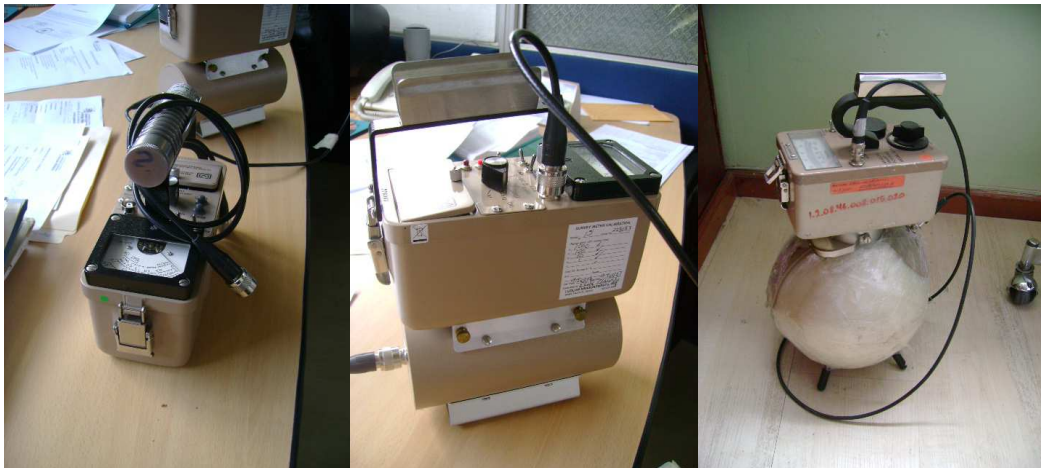


Imagen 4:
Ejemplos de dosímetros de radiación ambientales con los que cuenta la Ex CEEA.

1.7.2.-Para dosimetría personal se pueden usar detectores termoluminicentes y fotográficos. Dada su utilización y gran número de usuarios deben ser: livianos, baratos y sobre todo mantener la información a lo largo del tiempo.

Termoluminicentes: Al atravesar ciertos materiales la RI, hace que sus electrones más exteriores queden atrapados en su estructura, Estos electrones luego al aplicarles calor vuelven a su estado inicial y producen luz, la que será proporcional a la cantidad de partículas depositadas. Son los detectores más baratos, de fácil lectura y los más utilizados en la actualidad.

Fotográficos: se basan en la capacidad de ennegrecer las películas fotográficas ocasionada por la RI, son de fácil manejo pero poco útiles donde existe variabilidad de elementos radiactivos.



Imagen 5:
Ejemplos de dosímetros de radiación personales



Imagen 6:
Laboratorio de control de detectores de radiación personal de la ex CEEA

1.8.-TIPOS DE EXPOSICION A LAS RADIACIONES IONIZANTES:

La exposición puede ser externa e interna y los trabajadores pueden estar expuestos a los riesgos de radiaciones ionizantes de dos formas, ya sea como irradiación, o como contaminación radiactiva:

1.8.1.-IRRADIACIÓN: Se denomina así a la exposición de los trabajadores a la fuente

de radiación sin que exista contacto directo con ella. La irradiación puede ser de cuerpo entero (global), o puede ser parcial si se expone solo una parte del cuerpo.

1.8.2.-CONTAMINACIÓN RADIATIVA: Se denomina así a aquella exposición en la que existe contacto directo con la fuente radiactiva, ya sea dispersa en el ambiente o depositada en superficies.

Se supone que una persona puede recibir **anualmente un valor medio de 150 mrem**, como dosis de radiación máxima permitida a la que puede estar expuesto.

1.9.-ABSORCIÓN DE RADIACIÓN Y DAÑO CELULAR:

La absorción de la radiación por la materia viva esta relacionada con la calidad y cantidad de radiación así como también de la estructura y composición del tejido absorbente.

Con ciertas variaciones, todo tipo de radiaciones terminan depositando su energía en el medio tanto de forma directa o indirecta a través de dos procesos, **ionización** y **excitación**. A pesar de que la **excitación** de átomos y moléculas, puede causar cambios moleculares en la materia, es la **ionización** la que cualitativamente es importante al producir cambios en los átomos, al menos de forma transitoria que lleven a alteraciones moleculares de la materia.

La **Transferencia Lineal de Energía (TLE o LET)** cobra especial importancia en la cuantificación de la ionización de los tejidos, concepto usado en radiobiología, que corresponde a la cantidad de energía cedida por unidad d recorrido y depende del tipo de radiación (masa, carga y energía de las partículas) así como del medio absorbente. Se puede simplificar clasificando a las radiaciones en radiaciones de **alta TLE** (electrones y radiación beta, rayos X y gamma) y de **baja TLE** (radiación alfa y neutrones). A mayor TLE de la radiación existe mayor concentración en la energía transferida al medio y consecuentemente mayores modificaciones moleculares por ionización.

Si la acción es sobre tejidos vivos, la célula puede verse afectada de forma directa por **alteración molecular** que resulte crítica para la función celular o de manera indirecta

mediante cambios químicos en las moléculas adyacentes como la **formación de radicales libres**.

El daño celular es particularmente importante si la afectación celular inducida por radiación afecta a las moléculas que portan el código genético (ADN) o del ARN Mensajero (información para sintetizar las proteínas), cambios que ponen en riesgo la supervivencia y la reproducción de las células, aunque frecuentemente sean reparados por éstas. Sin embargo si la reparación no es adecuada, puede dar por resultado células viables pero modificadas.

Podemos afirmar que la cantidad de mutaciones es mayor cuanto mayor es la dosis de radiación aplicada, sin que exista dosis umbral por debajo de la cual no existan mutaciones.

La radiosensibilidad corresponde al concepto de la respuesta celular a la radiación.

La célula puede ser muy radiosensible cuando a pesar de someterse a bajas dosis de RI, muere un alto porcentaje celular. Una célula es más radiosensible cuando menos diferenciada sea y cuando su reproductividad sea mayor.

Para que los **efectos somáticos agudos** aparezcan habrán de superarse unas dosis mínimas o "umbrales" para la manifestación de efectos clínicos. La reacción después de una irradiación varía mucho entre las distintas partes del organismo y si las dosis se reciben de una sola vez o en varias etapas. Cuando la dosis de radiación se recibe de forma paulatina es mejor tolerada que cuando se recibe la misma dosis en un solo episodio, ya que hay posibilidades de reparación de los trastornos de los distintos órganos.

Obviamente irradiaciones con dosis suficientemente elevadas, pueden llevar a la muerte del irradiado. Así, la muerte se presentará en cuestiones de horas o días con dosis de alrededor de **100 Gray**, por importante afectación del SNC.

Si las dosis están entre **10 y 50 Gray**, y son de cuerpo entero se producen lesiones gastrointestinales como destrucción de las vellosidades intestinales, pérdida de la función digestiva y grandes hemorragias, conjuntamente con inflamación aguda de los pulmones,

conduciendo todo ello a la muerte en cuestión de una o dos semanas.

Dosis inferiores, entre **3 y 5 Gray**, pueden no dañar tan seriamente al aparato digestivo, pero provocarían la muerte en la mitad de los casos, en uno o dos meses, al afectar seriamente a la médula ósea. La médula ósea y el resto del sistema de producción de la sangre son de las estructuras más radiosensibles del cuerpo humano, siendo afectados por dosis tan bajas como **0,5 a 1 Gray**.

Sin embargo, presentan una marcada capacidad de regeneración, de forma que si sólo se irradia una parte del cuerpo, generalmente sobrevive una cantidad de médula suficiente para reproducir la afectada.

Los órganos genitales y en especial los ojos son bastante radiosensibles. Dosis de apenas **0,15 Gray** que afecten a los testículos pueden provocar la esterilidad temporal con absorción de una sola vez, mientras que serían necesarios **0,4 Gray/año** en el caso de una exposición prolongada; dosis mayores (**3,5 a 6 Gray**), podrían conducir a una esterilidad definitiva. Los ovarios son menos radiosensibles, aunque dosis entre **2,5 y 6 Gray** administradas de una sola vez serían causa de esterilidad, más sensibles al aumentar la edad de la mujer. Además, los órganos genitales parecen ser más sensibles si la dosis es recibida de forma repetitiva que cuando se recibe de una sola vez, ya que bastarían **2 Gray/año** para causar la esterilidad permanente en hombres y **0,2 Gray/año durante largo tiempo** para causarla en mujeres.

El cristalino es la parte del ojo más vulnerable a la radiación, generándose cataratas y opacidades, que ocurren después de algún tiempo luego de una exposición aguda de entre **2 y 10 Gray** para radiación de **baja LET**, mientras que basta una dosis 2 a 3 veces inferior cuando la radiación causante sea de **alta LET**. Para una exposición crónica durante años, el umbral para este efecto se estima en **0,15 Gray/año**. Asimismo, los niños son sensibles a RI, en especial los huesos y el cerebro, pudiendo verse afectado el crecimiento de los huesos si se reciben dosis relativamente pequeñas. El feto también es muy vulnerable a las lesiones cerebrales, existiendo importante retraso mental si su madre es irradiada entre las ocho y las quince semanas de embarazo, pareciendo no existir umbral para este tipo de daño, por lo que ha de evitarse la irradiación (sobre todo rayos X) durante el embarazo.

Del resto de órganos, la mayoría son relativamente resistentes y demoran en manifestar daños agudos a excepción del pulmón que es más sensible por su complejidad.

1.10.-VALORES LÍMITE PERMISIBLES

Al tiempo que transcurre entre la exposición y la aparición del efecto de la radiación se le denomina **periodo de latencia**. Existe una **dosis umbral** para cada efecto biológico y se la define como la dosis mínima de radiación que produce el efecto. La **dosis máxima permisible** en cambio consiste en la máxima dosis a la que de acuerdo con los conocimientos actuales se espera que no cause ninguna lesión o afectación apreciable en el individuo irradiado y se expresa como **dosis máxima permitida anual**, la cual suele ser revisada periódicamente y varía cuando se refiere a exposiciones de cuerpo entero o a exposiciones localizadas, o cuando se refiere a trabajadores laboralmente expuestos o a la población en general.

Como ejemplo, se presentan en el siguiente cuadro 4 algunas de las dosis límite para trabajadores profesionalmente expuestos, referidos a cualquier periodo de doce meses consecutivos (1 año).

Cuadro 4

Órgano	Dosis (mSv)
Todo el organismo	50
Piel	500
Manos	500
Cristalino	150

Se considera como trabajadores profesionalmente expuestos a aquellas personas que en el desarrollo de su trabajo, son susceptibles de recibir dosis superiores a un décimo de cualquiera de los límites anuales de dosis y que por ley están obligados a usar un dosímetro. Toda dosis mayor de 4 mSv recibida en un mes, cuando se refiere a exposición total del organismo, o de 40 mSv si se refiere a dosis superficial en manos o piel, supone un aviso de que, de repetirse en los meses siguientes supondría la superación de la dosis total anual máxima permitida.

Desde 1928, el ICEP (International Council on Radiation Protection) y el National Council on Radiation Protection han definido niveles aceptables de exposición a la radiación en los trabajadores. Así varían las exposiciones aceptables para los diferentes órganos con exposiciones de 5 rems de cuerpo total o entero, hasta 50 rems para exposición de la piel o el hueso. Según se indica en el cuadro 5, y que corresponden a los Valores Máximos Permisibles o TLV en unidades **rem** y en **Sievert**, que de acuerdo al estado actual de los conocimientos corresponde a la máxima dosis anual con la cual no se espera que ocurra ninguna lesión apreciable en ningún momento.

Cuadro 5
LÍMITES DE EXPOSICIÓN A RADIACIÓN EXTERNA

Grupos o partes corporales expuestas	Límites de radiación
Adultos	5 rem(0.05 Sv) por año (1)
Todo el cuerpo, cabeza, tronco, brazo arriba del codo y pierna arriba de la rodilla.	2 REM (0.02 Sv) por año promediado en 5 años
Mano, codo, brazo debajo del codo, pie rodilla y pierna por debajo de la rodilla.	50 rem (0.5 Sv) por año
Cristalino del ojo	15 rem(0.15 Sv) por año
Piel (10 cm.)	50 rem (0.5 Sv) por año
Mujeres embarazadas	0.05 rem (0.5mSv) por mes

(1) Incluye equivalente de dosis profunda anual acumulada (externa) o y la dosis equivalente efectiva depositada (interna).

Estas dosis pueden ser revisadas, ya que se considera que la extrapolación de los efectos de dosis elevadas a las dosis bajas puede no ser adecuada. Para los menores y especialmente para el feto, la dosis máxima es de 5 mSv/año.

1.11.-EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Las afectaciones a la salud, debidas a los efectos biológicos, consecuencia de la exposición a RI en los tejidos de los organismos vivos ocurren por el efecto de la transferencia de energía a las moléculas de las células, dando como resultado deterioro de las funciones celulares, de forma temporal o permanente que pueden llevar a la muerte celular. La gravedad de las lesiones celulares depende de varios factores como el tipo de

radiación, la dosis absorbida, la velocidad de absorción, el tiempo de exposición, así como también la sensibilidad de los tejidos expuestos.

Los efectos biológicos de una misma dosis de RI van a variar de acuerdo al tiempo de exposición, ya que con exposiciones de cortos periodos de tiempo los efectos se deben sobre todo a muerte celular y son evidentes a las pocas horas, días o incluso semanas. Cuando la misma dosis se recibe en tiempos de exposición prolongados, se observa mejor tolerancia al efecto y los daños celulares pueden repararse. Si la dosis llega a ser lo suficientemente alta como para causar graves trastornos la recuperación es más difícil y a veces no se concreta.

Las exposiciones prolongadas, inclusive a bajas dosis, aunque no lleguen a provocar muerte celular, si pueden provocar afectación a largo plazo.

1.11.1.-Las exposiciones externas de cuerpo entero a dosis altas de RI en general además de los daños locales de los tejidos puede haber lesiones vasculares de zonas expuestas que pueden complicarse y progresar a gangrena y necrosis .

1.11.2.-Igualmente con exposiciones internas, los tejidos irradiados pueden degenerar, destruirse e inclusive llegar al desarrollo de neoplasias. Las consecuencias menos graves de una radiación ionizante se manifiestan en muchos órganos, en concreto en la médula ósea, riñones, pulmones y el cristalino de los ojos, debido a deterioro vascular, dando como resultado cambios degenerativos y funciones alteradas.

Sin embargo, el efecto a largo plazo más importante en comparación a poblaciones no irradiadas es el aumento de la incidencia de casos de cáncer y de leucemia.

Resumiendo, las afectaciones para la salud como resultado de las radiaciones ionizantes se las puede dividir en los siguientes grupos:

- Efectos deterministas o no estocásticos.
- Efectos probabilísticas o estocásticos.
- Otros efectos sobre la segunda generación.

1.11.3.-EFECTOS DETERMINISTAS O NO ESTOCÁSTICOS: Son efectos inmediatos a la exposición a RI, y generalmente se deben a exposiciones agudas a altas dosis, al parecer este tipo de efectos no se producen a exposiciones a dosis menores a **0.25 Sv**, siendo su gravedad proporcional a la dosis recibida, así por ejemplo vemos que a dosis de **6 Sv**, se tiene consecuencias morales en el **100 %** de expuestos, presentando cuadros clínicos variables relacionados a las dosis y que pueden ser : náuseas, vómito, diarreas, enrojecimiento de la piel , fatiga , malestar general, y hemorragias.

Así también en exposiciones breves a dosis superiores a **1 Sv** se generan opacidades y cataratas en el cristalino. Dosis de **2 Sv** producen depresión del sistema inmunológico, con incremento de las infecciones y dosis por sobre **3 Sv**, se relacionan con la producción de esterilidad en ambos sexos.

Es importante anotar que exposiciones a RADIACIONES IONIZANTES (RI) a estos niveles son poco frecuentes en la actualidad y solo se los puede ver en casos de accidentes.

1.11.4.-EFECTOS PROBABILÍSTICOS O ESTOCÁSTICOS: Estos efectos no son inmediatos y se relacionan sobre todo con alteraciones celulares, mutaciones y cáncer, caracterizándose sobre todo por alteraciones del material genético celular y de sus procesos de reparación. Pueden aparecer a cualquier nivel de exposición y hay evidencia de que, aunque existe mayor probabilidad de apareamiento a dosis mayores, la gravedad de la lesión es independiente de la dosis recibida.

Las alteraciones celulares afectan sobre todo al ADN, su material genético y los procesos de reparación celular. Algunos de los cánceres relacionados a exposición a RI son el cáncer de estómago, de pulmón, de colon, de piel, de tiroides y sobre todo las leucemias.

Hay que indicar que por ser un efecto probabilístico, **no existe un umbral seguro de exposición que relacione el cáncer con las RI, por lo tanto el riesgo existe y aumenta a partir de cualquier dosis de exposición.**

1.11.5.-EFECTOS SOBRE LA SEGUNDA GENERACIÓN: Existe una categoría adicional de efectos y que tienen cierta importancia y se los conoce como los efectos en la segunda generación, que incluye abortos, malformaciones congénitas, retraso mental y cáncer en la descendencia de trabajadores expuestos. Los mecanismos de producción no han sido aclarados y la evidencia para sostener el riesgo de aparición de estos efectos es variable.

1.12.-CUADROS CLÍNICOS CAUSADOS POR RADIACIONES IONIZANTES

Las respuestas biológicas generadas por la acción de las RI pueden ser una **respuesta aguda** caracterizada por el SINDROME DE RADIACION AGUDA (debido a la exposición masiva, pero de breve duración) y una **respuesta tardía** caracterizada por EFECTOS CRÓNICOS (debido a exposición a altas dosis en tiempos también breves o a exposiciones acumuladas altas).

Los efectos que tienen relación con exposición crónica a dosis bajas son mucho más difíciles de establecer sin embargo se ha encontrado padecimientos cerca de sitios de pruebas nucleares y en asociación con ciertas ocupaciones como por ejemplo en radiólogos, mineros de uranio, pintores de esferas de radio y operadores de plantas nucleares .

En el cuadro 6 se indica el grupo de trabajadores en riesgo según su potencial de exposición.

Cuadro 6
EXPOSICION LABORAL POTENCIAL A LA RADIACIÓN IONIZANTE

Auxiliares y técnicos de RX
 Biólogos
 Buscador de minas
 Colocador de baldosas
 Embalsamador
 Fabricante de alarmas de fuego
 Fabricantes de camisas de lámparas de gas
 Fabricantes de medicamentos y esterilizadores
 Fabricantes de tubos de rayos catódicos
 Fabricantes y operadores de microscopios electrónicos
 Fabricantes, usuarios y reparadores de tubos de electrones de alto voltaje, de vacío, de radares y de klistrón o televisores.
 Inspectores y trabajadores que utilizan o están próximos a fuentes selladas de rayos γ (Cesio¹³⁷, Cobalto⁶⁰, Iridio¹⁹² y rayos X.
 Médicos y enfermeras
 Operadores de antorchas de plasma

Operadores de aparatos de difracción de rayos X
Operadores de eliminadores electrostáticos
Operadores en probadores de grosor
Perforadores de pozos petroleros
Personal militar
Personal que trabaja en la preservación y esterilización de alimentos
Pintores de cubiertas luminosas
Pintores para medición de niveles líquidos
Probadores de minerales
Químicos
Radiografistas y fluoroscopistas industriales
Técnicos de plástico
Trabajadores dentales
Trabajadores en aerolíneas
Trabajadores en metales y aleaciones de torio
Trabajadores en plantas de energía atómica
Trabajadores en refinerías de radio
Trabajadores en refinerías petroleras
Trabajadores y mineros de uranio
Trabajadores, químicos, biólogos, físicos en investigación.
Veterinarios.

(Tomado de La Dou, Diagnóstico y Tratamiento en Medicina Laboral.)

Las diferentes formas de radiación comparten la capacidad de ionizar materiales incidentes y corresponden a las frecuencias más elevadas del espectro electromagnético. El desplazamiento de un electrón de un átomo incidente y las reacciones químicas e inestabilidad biomolecular resultantes pueden producir daño tisular.

Los efectos clínicos de la radiación ionizante se resumen a continuación en el Cuadro 7

Cuadro 7
RESUMEN DE LOS EFECTOS CLÍNICOS DE LAS DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE

	LÍMITES SUBCLÍNICOS		LÍMITES TERAPÉUTICOS		LÍMITES LETALES	
	0 a 100 rem	100 a 200 rem (vigilancia clínica)	200 a 600 rem (tratamiento efectivo)	600 a 1000 rem (tratamiento promisorio)	1000 a 1500 rem (tratamiento paliativo)	>5000 rem (tratamiento paliativo)
Incidencia de vómito	Ninguna	5% a 100 rem 50 % a 200 rem	100% a 300 rem	100%	100%	100%
Retraso en el tiempo para el vómito	-	3h	2h	1h	30min.	30 min.
Órgano principal afectado	Ninguno	Tejido hematopoyético	Tejido hematopoyético	Tejido hematopoyético	Aparato gastrointestinal	Sistema Nervioso Central
Signos y síntomas característicos	Ninguno	Nausea leve y leucopenia moderada	Leucopenia grave, diarrea, náusea, púrpura, hemorragia e infección; pérdida de pelo por arriba de 300 rem	Leucopenia grave, púrpura hemorrágica, infecciones, postración, coma	Diarrea, fiebre, alteraciones del equilibrio electrolítico	Convulsiones, temblores, ataxia, letargo.
Periodo crítico postexposición	-	-	4 a 6 semanas	4 a 6 semanas	5 a 14 días	1 a 48 horas
Tratamiento requerido	Tranquilizar	Tranquilizar y vigilancia hematológica	Transfusión de sangre, antibióticos, y factores de crecimiento hematopoyético	Transfusiones de sangre, antibióticos, factores de crecimiento hematopoyético, considerar trasplante de médula ósea	Mantenimiento de equilibrio electrolítico	Sedantes
Pronóstico	Excelente	Excelente	Bueno	Reservado	Nulo	Nulo
Convalecencia	Ninguna	Varias semanas	1 a 12 meses	Prolongada	-	-
Incidence de muerte	No	No	0-80%	80 a 100%	90 a 100 %	90 a 100%
Tiempo hasta que ocurra la muerte	-	-	2 meses	2 meses	2 semanas	2 días
Causa de muerte	-	-	Hemorragia e infecciones	Hemorragia e infecciones	Colapso circulatorio	Insuficiencia respiratoria y edema cerebral

(Tomado de La Dou, Diagnóstico y Tratamiento en Medicina Laboral.)

La exposición biológica externa a la radiación de los rayos X, rayos γ , protones y neutrones da lugar a una elevada absorción, en tanto que las partículas beta (β) tienen mala penetración por la piel y las partículas alfa (α) no lo hacen en lo absoluto. Pero la

exposición interna tanto a partículas alfa (α) como a beta (β) por vía inhalatoria o digestiva pueden provocar graves lesiones agudas o retardadas.

1.12.1.-SINDROME DE RADIACIÓN AGUDA:

Este síndrome se debe a intensa exposición a RI de corta duración, que afecta la corporalidad en forma total o parcial. La radiación altera los enlaces químicos, originando excitación molecular y formación de radicales libres, que reaccionan con otras moléculas esenciales como los ácidos nucleicos y las enzimas alterando de esta manera la función celular.(4)

La gravedad y el cuadro clínico dependen de la dosis recibida, la distribución corporal y la duración de la exposición. Los tejidos con recambio celulares más acelerados (reproductores, hematopoyéticos y gastrointestinal) son más sensibles al efecto de la radiación ionizante.

Cuadro clínico: Es poco probable presentar síntomas con exposiciones menores a **100 cGy**, aunque en laboratorio se ha determinado alteraciones con exposiciones por arriba de 25 cGy.

Para dosis de entre **100 a 400 cGy**, los síntomas pueden aparecer entre las 2 y las 6 horas con duración de hasta 48 h; con exposiciones en el grupo más bajo (**80 a 210 cGy**) existe linfopenia ligera a los pocos días, seguida de granulocitopenia y trombocitopenia leves a las 4 semanas; para dosis de entre **600 a 1000 cGy**, los síntomas comienzan en las primeras 2 horas. Luego de estudios realizados a después del accidente nuclear de Chernóbil a las personas con exposiciones mayores a 600 cGy, la sintomatología fue cefalea, fiebre y vómito en la primera media hora, en los siguientes 6 días había aparecido linfopenia grave seguida de gastroenteritis, granulocitopenia y trombocitopenia graves.

Con dosis de **1000 a 3000 cGy** se pueden observar síntomas gastrointestinales inmediatos y pérdidas masivas de líquidos, sangre y electrolitos con denudación de la mucosa intestinal.

Las dosis que exceden de **3000 cGy** son letales, producen incapacidad neurológica progresiva caracterizada por ataxia, letargo, temblores y convulsiones. Con dosis más altas la muerte es casi inmediata.

Se describe la existencia de cuatro fases en el Síndrome de Radiación Aguda y son las siguientes:

a) Fase prodrómica: Los signos y síntomas incluyen anorexia, náusea, vómito, diarreas, cólicos intestinales, salivación, deshidratación, fatiga, apatía, postración, arritmias, fiebre, insuficiencia respiratoria, hiperexcitabilidad, ataxia, cefalea e hipotensión. En general predominan las manifestaciones del aparato gastrointestinal y del sistema nervioso central.

b) Fase latente: Sigue a la fase prodrómica y es característico que exista un periodo de bienestar relativo previo al periodo de enfermedad, el cual se acorta o desaparece en el caso de exposiciones a elevadas dosis; existe un predominio de manifestaciones gastrointestinales y neurológicas.

c) Fase de enfermedad: Esta fase se caracteriza por presentar mayor fatiga, astenia, fiebre, diarrea, anorexia, pérdida de peso, caída del cabello, arritmias, íleo paralítico, ataxia, desorientación, convulsiones, coma y estado de choque. Los efectos primarios son hematopoyéticos. Existe de manera secuencial una disminución de los linfocitos, de los granulocitos, plaquetas y eritrocitos. La leucopenia y la trombocitopenia pueden asociarse a infecciones secundarias, diátesis hemorrágicas, o anemias. Existen reportes de colapsos cardiovasculares, pericarditis y miocarditis.

Con dosis mayores a **200 cGy** se observan efectos en el aparato reproductor (esterilidad, afectaciones de la espermatogénesis, cese de menstruación) así como también toxicidad y muerte embrionario-fetal.

d) Fase de recuperación: Existe buen pronóstico de recuperación con exposiciones a dosis de hasta 600 cGy cuando se ha instaurado los tratamientos adecuados. El pronóstico empieza a complicarse con exposiciones mayores, las afectaciones al sistema hematopoyético, las infecciones y la sepsis son las causantes de la mayor morbi-mortalidad en casos de exposiciones por debajo de

1000 cGy.

Tratamiento: Previa descontaminación el paciente se debe hospitalizar para cuidado médico de hematología e infectología, vigilando estrechamente sus signos vitales, equilibrio hidroelectrolítico, además las funciones hematopoyéticas, gastrointestinales y del SNC.

Ante granulocitopenia importante se debe establecer la adecuada protección antimicrobiana, antimicótica y antiviral, si se acompaña de fiebre es preferible el uso de la vía endovenosa y hay que mantener la terapia hasta que la fiebre haya desaparecido por lo menos durante 5 días.

También se debe administrar vía transfusión células y elementos sanguíneos (granulocitos, plaquetas y paquetes globulares). En ocasiones se recomiendan la administración de factores de crecimiento hematopoyético (filgrastin y sargramostim) que se han reportado como efectivos en la aceleración de la recuperación hematopoyética.

La recomendación de trasplante de médula ósea se ha tomado en casos de hemorragias intratables infecciones y es una opción en pacientes expuestos a dosis de entre 600 a 2000 cGy, decisión que debe tomarse en el transcurso de la primera semana posterior a la exposición. El tratamiento de sostén sintomático también cobra importancia para el control de la náusea y la deshidratación.

1.12.2.-LESIONES POR RADIACIÓN AGUDA LOCALIZADA:

Cuando existe exposiciones aisladas de la piel o partes del cuerpo a RI, se puede ocasionar pérdida de pelo (> a **300 cGy**), eritema (> a **60 cGy**), radionecrosis o descamación seca (> a **1000 a 2000 cGy**). Después de la exposición existe dolor y prurito locales seguidos de enrojecimiento, formación de ampollas y en casos graves presencia de quemaduras severas, con isquemia y necrosis tisular.

De inicio el manejo es conservador, pero hay que estar atentos a las complicaciones ya que de inicio no suelen ser claras ni la profundidad ni la extensión de las lesiones

tisulares, necesitando los casos más severos tratamiento médico radical o inclusive quirúrgico.

1.12.3.-CONTAMINACIÓN CON RADIONÚCLIDOS

Es raro que la contaminación de la piel con radionúclidos ponga en riesgo la vida. Se recomienda en estos casos la descontaminación inmediata mediante profuso lavado de la piel con agua caliente y jabón, y de ser necesario el recorte del cabello.

En las heridas contaminadas se debe desbridar los tejidos afectados y lavar por irrigación. En ocasiones y dependiendo del radionúclido se recomienda la administración de agentes quelantes (DTPA- ácido dietilentriaminopentacético efectivo para el plutonio y los emisiones alfa) y a veces del uso de agentes bloqueadores como es el caso del yodo radiactivo.

1.12.4.-EFECTOS TARDIOS DE LAS DOSIS ELEVADAS DE RADIACIÓN

Con frecuencia se produce radiodermatitis luego del tratamiento por radioterapia ionizante, caracterizado por piel seca, suave, brillante, delgada, pruriginoso, y sensible con presencia de telangiectasias, atrofia y pigmentación difusa.

Las uñas se vuelven quebradizas, con estrías. También por exposición en imaginología a altas dosis, se reporta endarteritis obliterante, síndrome de ojo seco, mielopatía, pericarditis, hepatitis, nefritis, enfermedad arterial coronaria, daños cromosómicos, estenosis intestinal, fibrosis pulmonar y cataratas.

Las exposiciones sistémicas, debidas a accidentes nucleares se han asociado a un incremento de las neoplasias tiroideas y de leucemia, Los tumores relacionados a radioactividad localizada incluyen cáncer óseo por radioisótopos localizados, cáncer del tiroides secundario a radiación del timo en la infancia, Ca de hígado asociado a bióxido de torio, y cáncer pulmonar asociado a derivados del radón en mineros de uranio.

Se ha reportado leucemia en pacientes que recibieron radioterapia por espondilitis anquilosante. Existen otros cánceres asociados con exposición a RI el cáncer de piel y

de mama.

También se reporta como efecto de exposición a dosis elevadas, envejecimiento prematuro, acortamiento de la esperanza de vida y por supuesto trastornos teratogénicos y reproductores.

1.12.5.-EFECTOS DE BAJAS DOSIS DE RADIACIÓN IONIZANTE

Plantea gran controversia, ya que en la actualidad no ha sido posible establecer la curva de dosis -respuesta en los límites bajos, por lo que la mayoría de los cálculos se basan en extrapolaciones de experiencias con dosis mayores. (4). Aunque se han relacionado anomalías en el desarrollo con dosis desde y tumores con dosis **menores a 10 cGy**, resulta en extremo difícil establecer la relevancia práctica de los fenómenos con dosis bajas, no solo por las inconsistencias de la literatura. Datos actuales sugieren que una exposición baja acumulativa de (50 a 100 mSv) es carcinogénica, pero el riesgo depende de la dosis total, del tipo de cáncer y de la edad de la exposición.

1.12.6.-PREVENCIÓN DE LAS ALTERACIONES POR RADIACIÓN IONIZANTE:

Roentgen descubrió los rayos X en 1895, y a partir de 1902 ya existían principios básicos de protección contra la radiación, como disminuir al mínimo la dosis bajando el tiempo de exposición, el uso de protecciones e interponiendo distancias. Básicamente la prevención se centra en una adecuada vigilancia de la exposición laboral a la RI, para lo cual en la actualidad se dispone de múltiples aparatos de medición de la exposición tanto del personal como ambiental, tal como lo señalamos anteriormente.

En exposiciones potenciales la protección mediante la utilización de barreras de plomo u otros materiales de alta densidad como el cemento o el vidrio plomado, ha demostrado ser efectiva para contener la emisión y como medida de prevención.

4 Cohen R, Hoire S .Lesiones Causadas por Riesgos Físicos .Capítulo 11. La Dou J. Diagnóstico y tratamiento en medicina laboral y ambiental. Cuarta edición.2006

1.13.-RADIACIONES IONIZANTES Y CÁNCER

Las radiaciones ionizantes se comportan como un cancerígeno demostrado, dosis-dependiente y sin un umbral establecido para la exposición a pequeñas dosis, incluso cotidianas, que pueden llegar a desencadenar un cáncer al acumularse.

Cuando se trata de exposición a grandes dosis, el riesgo de presentar la leucemia aumenta rápidamente en los primeros años, declinando después, en cambio para los tumores sólidos el riesgo aumenta lentamente con el paso del tiempo.

Solo una pequeña fracción de las muertes por cáncer se pueden atribuir a la radiación. La información relativa al cáncer o a los defectos hereditarios inducidos por la radiación a bajas dosis no es concluyente, siendo ésta una cuestión abierta a la discusión científica, ya que esta información se ha obtenido de extrapolar los riesgos conocidos producidos por dosis altas, al campo de las dosis reducidas; por esta razón los organismos internacionales en forma prudente sostienen la inexistencia de umbral para la aparición de cánceres o de efectos hereditarios. En general, los estudios demuestran que los distintos tipos de cáncer se manifiestan después de un período de latencia de algunos años.

1.13.1.-CARCINOGENÉISIS:

Hay evidencia que supone que a partir de una sola célula anormal puede desarrollarse cáncer. En etapa inicial existe una alteración del material genético (ADN) la cual puede ser causada espontáneamente o por exposición a cancerígenos como las RI. Para que a partir de una célula alterada se desarrolle un cáncer dependerá de la capacidad que tenga la célula de repararse o de otros factores que estimulen o inhiban el desarrollo de tumores así como también de la integridad del sistema inmune.

En el proceso de carcinogénesis se describen al menos 3 etapas, la de inicio, la etapa de promoción y una etapa de progresión.

Etapa de inicio se cree que se debe a un cambio irreversible en el material genético celular, (ADN), resultante de la interacción con un cancerígeno, constituyéndose en una

condición necesaria pero no suficiente como para desarrollar un tumor. (Efectos genotóxicos o mutacionales de los iniciadores).

La promoción consiste en algunos procesos posteriores que facilitan el desarrollo del tumor. Ya sea por estimulación de mecanismos de proliferación de la célula alterada. Estos mecanismos se los llama mecanismos epigenéticos. Lo usual es que con la promoción se cree tumores benignos y células preneoplásicas si capacidad de invasión ni de metástasis.

La progresión permite crear los cambios heredables adicionales como para el desarrollo de un tumor maligno.

De acuerdo a lo anterior, a los agentes cancerígenos se los puede dividir en agentes iniciadores o carcinógenos genotóxicos, propios de etapas tempranas y en agentes promotores o epigenéticos (de etapas tardías) Existen además agentes que gozan de ambas característica como por ejemplo el humo del cigarrillo.

El mecanismo por el que una alteración del ADN ocasionado por cancerígenos, que da lugar al inicio y posterior desarrollo de tumores, esta relacionado al menos parcialmente con mutaciones en los **protooncógenes** y en los **genes supresores de tumores**.

Para un agente cancerígeno iniciador, una sola exposición puede inducir el daño genético celular suficiente como para desarrollar un tumor varios años después de que la exposición ha terminado.

1.13.2.-PERÍODOS DE INDUCCIÓN O LATENCIA:

Está claro que el cáncer requiere un intervalo de tiempo entre la primera exposición al cancerígeno y el aparecimiento de la neoplasia el cual se conoce como período de inducción o latencia o de incubación.

La necesidad de que existan muchos cambios que sean heredables en la célula es responsable de periodos de latencia prolongados. En general la mayoría de los tumores tienen intervalos de latencia de entre 12 y 25 años (5). Periodos o intervalos de latencia

que ensombrecen la relación causa–efecto ante exposiciones remotas y cánceres posteriormente descubiertos.

En la práctica podemos considerar que no existen umbrales ni niveles seguros para la exposición a carcinógenos, persiste por lo tanto la controversia para identificar en gran medida las exposiciones que sean seguras, tanto dentro como fuera de los sitios de trabajo. La exposición a mayores dosis de un agente carcinógeno específico, da lugar a un mayor riesgo de presentar cáncer que en exposiciones a dosis más bajas.

Las pruebas para la reparación del DNA, logran demostrar el daño ocurrido en el DNA luego de la exposición a cancerígenos, se detectan las aberraciones cromosómicas mediante pruebas citogenéticas que evalúan cambios en la estructura morfológica de los cromosomas, pruebas que en humanos se realizan en linfocitos y los cambios morfológicos que se llegan a apreciar son, translocaciones cromosómicas y formación de micronúcleos.

Otra prueba utilizada es establecer el recambio de cromátida hermana que es una forma más sofisticada de investigación citogenética y se basa en la tinción diferencial de las cromátidas hermanas. Lo que permite determinar el intercambio de material genético entre ellas.

Existen 5 categorías para clasificar los cancerígenos en humanos según la IARC (Agencia Internacional de Investigación en Cáncer):

GRUPO 1:

El agente, mezcla o actividad laboral es cancerígeno para los humanos

GRUPO 2A:

El agente, mezcla o actividad laboral es probablemente cancerígeno para los humanos

GRUPO 2B:

El agente, mezcla o actividad laboral es posiblemente cancerígeno para los humanos

GRUPO 3:

El agente, mezcla o actividad laboral no es clasificado respecto de su carcinogenicidad para los humanos.

GRUPO 4:

El agente, mezcla o actividad laboral probablemente no es cancerígeno para los humanos.

La RI esta considerada dentro del GRUPO 1 de los cancerígenos humanos para cánceres como leucemia, cáncer de piel y otros. (Fuente de la IARC) .También se ha relacionado como causal al proceso industrial de minería de hematita bajo tierra (con exposición a radón - como agente posible o probable al radón, y que se relaciona con cáncer de pulmón.

1.13.3.-RADÓN Y CÁNCER PULMONAR

Este gas se relaciona con el cáncer pulmonar en actividades de minería de uranio.

Se conoce que la exposición al radón aumenta el riesgo de padecer cáncer pulmonar, el cual es independiente del tabaquismo, aunque la exposición a estos 2 factores es sinérgica.

Cuando hablamos de los minerales que contienen uranio nos referimos a todos los minerales producto de su desintegración que forman una serie de radionúclidos, uno de los cuales es un gas inerte llamado radón (5).

El radón difunde hacia la atmósfera de la mina, donde se desintegra en radioisótopos de polonio, bismuto y plomo, que se los llama los hijos del radón, radionúclidos que se encuentran en el aire y se inhalan como iones libres o adheridos a partículas de polvo.

Estudios epidemiológicos demuestran en trabajadores de minas de uranio, que el riesgo de cáncer pulmonar es directamente relacionado con la exposición a los hijos del radón, hecho también observado en mineros de flour, de minerales de hierro (hematita), y en mineros de roca dura.

Es un importante punto la exposición domestica al radón.

Se han intentado vigilancia médica en el sitio de trabajo como método de prevención secundaria para detección temprana, Así por ejemplo hoy en día la NIOSH recomienda el estudio con RX seriadas de tórax y citología en esputo en grupos de trabajadores de alto

5 Rugo,H. Cáncer laboral .Capitulo 16. La Dou J. Diagnóstico y tratamiento en medicina laboral y ambiental. Cuarta edición.2006

riesgo.

El riesgo es que ni las radiografías, ni las citologías con intención de detección temprana, mejoran el pronóstico de las personas con cáncer.

Aunque tienen más utilidad las radiografías, las citologías pueden servir para establecer signos de daño de la mucosa, como atipias que podrían identificar a los individuos con riesgo aumentado, con la finalidad de disminuir la exposición.

1.13.4.-OTROS CÁNCERES RELACIONADOS A RADIACIONES IONIZANTES

Existen otros cánceres como el de la cavidad nasal y de los senos paranasales, que afectan el epitelio nasal y de las celdas aéreas de las mastoides sobre todo en mujeres expuestas al radio, utilizado para pintar las carátulas de relojes y en aquellos químicos que trabajan con radón.

La mayoría de estos pacientes se quejan de problemas sinusales y se los debe evaluar adecuadamente mediante un examen de las estructuras faciales, como el ojo, las órbitas, de los movimientos extraoculares, y las cavidades nasales. Otros cánceres sobre los que existe evidencia de que sean radioinducidos son el cáncer de tiroides y la neoplasia de glándulas salivales.

Igualmente el cáncer de piel no melanomatoso está asociado a la radiación ionizante y era prevalente en los mineros de uranio y en el personal de trabajadores de la salud. Este carcinoma y su relación con los rayos X se reportó inicialmente desde 1902, a poco de su descubrimiento en los trabajadores que laboraban con equipos de rayos X de ese entonces. Las muertes por cáncer de piel se incrementaron en los radiólogos en los periodos desde 1920 a 1939, también en los pacientes sometidos a tratamiento radioterápico presentaron esta afectación. Como indicamos con anterioridad el periodo de latencia del cáncer de piel radioinducido tienen variación inversa a la dosis, con intervalos que van de 7 semanas hasta 50 años y con un promedio de entre 25 a 30 años; generalmente asienta en zonas de piel afectadas por dermatitis crónica por radiación.

El riesgo con dosis por debajo de **1000 cGy** no es mayor, siendo probable con dosis equivalentes a **3000 cGy**. Últimamente con mejora de la gestión de la exposición laboral,

la RI ya no incide de manera importante en la morbilidad por cáncer de piel.

1.13.5.-EL CÁNCER HEMATOLÓGICO Y LAS RADIACIONES IONIZANTES

Común en ciertas ocupaciones como en los trabajadores de la salud, personal militar, trabajadores de plantas nucleares así como también en quienes laboran en defectoscopia y los mineros de uranio.

La leucemia no linfocítica aguda (LNLA) que incluye a la mielodisplasia o preleucemia y por otro lado la leucemia mielógena crónica (LMC) se han relacionado a exposición ocupacional. La radiación sigue siendo el factor leucemógeno identificado más concluyente en el ser humano.

Las leucemias crónicas se clasifican en linfocíticas y en mielógenas, de estas solo la leucemia mielógena crónica se ha reportado como una enfermedad industrial. Datos que se obtuvo en supervivientes de los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki, establecen el aumento de incidencia de leucemia luego de exposición a radiación mixta, rayos gamma y neutrones, además la correlación existente con la dosis. El riesgo de leucemia aumenta en relación a exposiciones a RI, desde 50 a 100 cGy, y hasta los 500 cGy, con latencias de entre 4 a 7 años que pueden llegar inclusive hasta los 14 años.

Exposiciones de cuerpo entero a RI en dosis únicas pueden ocasionar supresión del crecimiento celular a nivel de médula ósea y cuando estas exposiciones son mayores a 400 cGy pueden inclusive ser letales. Exposiciones más bajas o subletales pueden llevar a citopenias que a pesar de afectar los precursores de la médula ósea, tienden a recuperarse gradualmente.

El intervalo entre la exposición y la posibilidad de padecer leucemia varía de 8 a 18 años. Los efectos de las RI, dependen de múltiples factores como el tipo de radiación, la dosis, la duración de la exposición, la zona corporal expuesta y el contenido de oxígeno del tejido expuesto.

El daño secundario a RI es mayor en células que se dividen con gran rapidez, como las

células madre de la médula ósea, las células de los epitelios y las células productoras de gametos.

El efecto de la RI, a nivel celular implica daño de l material genético, especialmente al ADN, daño molecular que a veces es tan grave que la célula deja de funcionar y muere. Hay células que no llegan a morir y sobreviven con su estructura y función alteradas, Con exposiciones corporales totales de entre 300 y 400 cGy es con certeza que hablamos de exposiciones letales en el ser humano.

Las exposiciones subletales producen náusea y vómito, con posterior apareamiento de signos y síntomas de supresión de la médula ósea, así aparecerá trombocitopenia, anemia y neutropenia. El desarrollo de una leucemia aparecerá con retraso de entre 8 y 18 años desde el inicio de la exposición.

La mayoría de pacientes con LMC en etapa temprana son asintomáticos. En ocasiones presentan cansancio, fiebre, anorexia, o hemorragias retinianas

1.14.-HEMATOLOGÍA LABORAL RELACIONADA A RI.

Varios trastornos asociados a los efectos de las RI afectan a las células sanguíneas. Debido a la dificultad de establecer causalidad en aquellos trastornos con latencias largas, se ha recurrido a nuevos métodos para poder corroborar esta relación, así se ha recurrido al estudio citogenético, que consiste en estudiar los cromosomas somáticos de las células hemáticas en período de metafase.

El análisis citogenético se ha utilizado como elemento de detección en la vigilancia de poblaciones industriales con exposiciones tempranas a agentes mutágenos, aunque es recomendable estudiar células sanguíneas obtenidas de la médula ósea en casos de detección o despistaje se prefiere utilizar linfocitos de sangre periférica por razones obvias (costo facilidad, tiempo y comodidad del trabajador).

El utilizar la citogenética en vigilancia de la salud tiene base en una relación conocida entre la dosis y la respuesta con aberraciones cromosomales en caso de exposición a

las RI. Se ha podido determinar por citogenética la correlación entre leucemia y exposiciones a RI de origen laboral o de quienes la recibieron por tratamientos con radioterapia, siendo lo común observar aberraciones en los cromosomas 5 y 7. Es importante anotar que la principal utilidad de la citogenética, es en la esfera de la prevención y de desarrollo de nuevas técnicas que permitan evaluar las futuras consecuencias a la exposición en momentos en los que los efectos todavía sean reversibles.

1.14.1.-ANEMIA APLÁSICA Y RADIACIÓN IONIZANTE:

Esta alteración es dosis-dependiente y se ha demostrado la relación entre la exposición interna a las partículas α absorbidas y la anemia aplásica en los trabajadores de relojes de radio que pintaban sus esferas y que ingerieron radio al mojar las brochas con su lengua. La exposición externa es más común, y puede relacionarse a exposición corporal total a dosis altas como en casos de accidentes nucleares, en pacientes sometidos a tratamiento radioterápico, o por exposición crónica a dosis bajas como en la práctica de la imagenología.

En datos obtenidos en pacientes irradiados sobrevivientes de los bombardeos de Nagasaki e Hiroshima en Japón sugieren que el riesgo de anemia aplásica aumenta de 3 a 5 años después de la exposición.

Igualmente la radiación ionizante ha sido implicada también en aparición de síndromes mielodisplásicos, que son trastornos caracterizados por una hematopoyesis ineficaz dando como resultado anemia, neutropenia, trombocitopenia o una combinación de estas. Pueden existir formas celulares anormales y puede existir la tendencia a transformarse en una leucemia aguda. Los síndromes mielodisplásicos son más comunes en varones que en mujeres y asociados a exposición se acompañan de incremento de las deleciones en los cromosomas 5 y 7. La supervivencia es en promedio menor a los 12 meses y la mayoría de los pacientes terminara por presentar leucemia a o complicaciones por las citopenias.

Asimismo se ha podido establecer una importante relación entre la exposición a altas

dosis de RI y el aparecimiento de Mieloma Múltiple en la población expuesta. El mieloma múltiple es una leucemia de tipo crónico de las células B maduras (células plasmáticas) y se caracteriza por anemia, lesiones líticas dolorosas, osteopenia, producción monoclonal de inmunoglobulinas (en orina o en suero o en ambas) hipogamaglobulinemia y baja supervivencia. Los pacientes también presentan hipercalcemia, insuficiencia renal y neuropatía.

Se ha propuesto también la relación del aparecimiento de mieloma múltiple a la exposición a bajas dosis de radiación ionizante pero no se ha podido confirmar y no existe en la actualidad información suficiente para aseverar esta relación salvo en la exposición a altas dosis.

2.-VIGILANCIA MÉDICA

PRINCIPIOS ORIENTADORES PARA LA ATENCION MÉDICA:

“EN OCACIONES CURAR, AVECES ALIVIAR Y SIEMPRE RECONFORTAR”

Adagio francés vigente en el ejercicio de la medicina desde hace 5 siglos.

“EL SECRETO DEL CUIDADO DEL PACIENTE SE ENCUENTRA EN CUIDAR AL PACIENTE”.

Francis Peabody.

Los principios éticos que orientan la atención médica con un adecuado enfoque hacia el diagnóstico y tratamiento son la honestidad, la caridad, la justicia, el evitar conflicto de intereses y sobre todo la voluntad de no dañar (6).

La participación del médico no termina en diagnosticar y prescribir el tratamiento, se debe insistir en la empatía del médico para ayudar a que el paciente y sus familiares logren sobrellevar la carga de los padecimientos graves e inclusive enfrentar la muerte. Dentro del ejercicio de la medicina y específicamente en la medicina laboral o salud ocupacional las acciones preventivas cobran especial importancia.

La medicina preventiva en términos generales puede ser Primaria, Secundaria y Terciaria (6).

Medicina Preventiva Primaria: procura eliminar o disminuir los factores de riesgo que contribuyen a padecer determinada enfermedad, ejemplo de esta acción constituye la inmunización o el hecho de interrumpir o no iniciar el tabaquismo.

Medicina Preventiva Secundaria: trata de establecer una detección temprana de la enfermedad o de sus estados precursores, como por ejemplo la práctica de la DOC, para la detección precoz del cáncer de cuello uterino.

Medicina Preventiva Terciaria: procura eliminar el impacto de una enfermedad ya establecida como por ejemplo la realización de cirugía (mastectomía parcial) y radioterapia para extirpación y control del cáncer de mama localizado.

2.1.-LA PRÁCTICA DE LA MEDICINA LABORAL:

En el año de 1970 se instaura en los EUA el OSHA Act (Occupational Safety and Health Act), acta que promulga “ que todo hombre o mujer trabajador en los EUA, trabaje en condiciones de seguridad y sanidad ” ; acta que dió por resultado la creación de la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) y el NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), lo cual permitió a su vez que la medicina laboral u ocupacional crezca como especialidad médica (7) .

Como información recién a partir de 1955, el ABPM (American Board of Preventive Medicine) empezó a certificar especialistas en medicina laboral.

Tanto en los EUA, como en la mayoría de los países, las lesiones y las enfermedades laborales están entre las 5 primeras causas de morbilidad y mortalidad. Los profesionales de salud laboral cumplen con una importante función en tareas de prevención, reconocimiento y tratamiento de las lesiones y enfermedades laborales. Uno de los dilemas difíciles de resolver es que para muchas enfermedades laborales existen prolongados tiempos de latencia, entre la exposición y el desarrollo de la enfermedad, lo

que no permite establecer una relación causa-efecto. Los programas de salud y seguridad en el trabajo deben contar en las empresas con un equipo especializado tanto en salud como en seguridad y que trabajen en forma armónica en preservar la salud de los trabajadores. Sin embargo en nuestros países todavía esa armonía ideal no se consigue y el concepto de equipo tiende a diluirse sobre todo por el hecho de considerar al profesional de salud como un miembro opcional u ocasional del equipo. Los esfuerzos por evitar o minimizar los accidentes laborales y la enfermedad profesional hacen que actualmente se insista en que la salud laboral tenga un importante peso

específico en la agenda internacional, que se impulse el mejoramiento de las condiciones y estándares laborales.

.La OIT y la OMS, son organizaciones que a nivel mundial establecen estándares y lineamiento mínimos para prevenir el accidente laboral y la enfermedad ocupacional.

Es evidente que el proceso de establecer los programas para mejorar la salud laboral en los países en vías de industrialización es lento y prácticamente nulo en los países más pobres.

Las convenciones y recomendaciones de la OIT, que sobre salud laboral y seguridad se realizan, son acuerdos internacionales con carácter legal si lo suscriben los gobiernos de los respectivos países. Cerca de la mitad de las 184 convenciones tienen relación con temas de seguridad y salud.

La mayoría de los países en vías de industrialización al tener pocos profesionales capacitados en salud y seguridad laboral, tienen dificultades para la ejecución de normas y políticas que permitan la provisión de servicios de Salud Laboral.

6 Diagnostico clínico y tratamiento. Tierney JR, Lawrence M, McPhee S, Papadakis M, 41va Edición .El Manual Moderno Colombia

7 La Dou J, Diagnóstico y tratamiento en medicina laboral y ambiental. Capítulo 1.

2.2.-VIGILANCIA DE LA SALUD EN EL TRABAJO

Para efectos prácticos cabe que tengamos claro algunas definiciones que materia de prevención de enfermedades son de suma importancia:

Control Biológico: En 1980 en Luxemburgo, en un seminario patrocinado por la CEE (Comunidad Económica Europea) , por el NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) y por la OSHA (Occupational Safety and Health Association) se definió al control biológico como “ **la determinación y evaluación de los agentes (tóxicos) o de sus metabolitos presentes en tejidos, secreciones, aire espirado o cualquier combinación de los mismos con el objeto de evaluar la exposición y el riesgo para la salud en comparación con una referencia adecuada** ”.

El control biológico es una de las tres herramientas utilizadas para la prevención de enfermedades debidas a agentes tóxicos, en el medio ambiente en general o en el medio ambiente del trabajo, las otras herramientas son el control ambiental y la vigilancia de la salud.(8)

Vigilancia de la salud: Se la definió en el mismo seminario CEE/ NIOSH / OSHA de 1980 como “La **exploración médico fisiológica periódica de los trabajadores expuestos, con el objeto de proteger la salud y prevenir la enfermedad**”.

Tanto el control biológico y la vigilancia de la salud, son parte de un todo que puede abarcar desde la determinación de agentes químicos o sus metabolitos en el organismo mediante la evaluación de sus efectos bioquímicos o celulares, hasta la detección de signos de alteración precoz y reversible del órgano crítico. **La detección de la enfermedad ya establecida queda por fuera del alcance de estas evaluaciones.** (8)

En otras palabras la **VIGILANCIA DE LA SALUD**, consiste en recoger, analizar e interpretar de sistemáticamente datos relacionados con el objeto de proteger la salud y prevenir la aparición de enfermedad de los trabajadores (9). Es un importante

instrumento de prevención dentro de un sistema multidisciplinario en base a actuaciones protocolizadas soportadas en evidencia científica, eficacia y eficiencia.

Su objetivo principal es la detección de alteraciones o daños del estado de salud relacionados con las condiciones de trabajo tanto en fase preclínica como en fase clínica. Los daños o alteraciones que son de interés son las enfermedades relacionadas con el trabajo, las lesiones por accidentes laborales, las enfermedades profesionales, las incapacidades laborales y los trastornos subclínicos.

La vigilancia de salud se la puede realizar de una manera activa mediante la búsqueda de casos o de forma pasiva utilizando datos en los sistemas de información y notificación sanitaria.

La consecuencia de establecer vigilancia médica en los trabajadores, además de instaurar tratamientos en los casos denominados problema, ayuda a investigar casos relacionados, identificar riesgos laborales causales, y establecer estrategias preventivas que deben ser evaluadas.

La vigilancia de la salud según se ocupe del individuo o de un colectivo de trabajadores podrá ser individual o colectiva (epidemiológica o pública).

a) La vigilancia de la salud individual (vigilancia médica): consiste en el conjunto su estado de salud, detectar desviaciones de la normalidad y correlacionarlo con sus propios riesgos laborales además de orientar las estrategias preventivas. También se la llama vigilancia médica o más bien vigilancia sanitaria ya que involucra no solo a gestión de los profesionales médicos sino también de otros entes de salud.

Resumiendo la **vigilancia médica, sanitaria o de salud individual** consiste en administrar pruebas y aplicar procedimientos sanitarios a los trabajadores a fin de establecer daños derivados del trabajo o de la presencia de factores de riesgo en el

medioambiente de trabajo en cada caso.

Cuando los factores de riesgo ya han sido determinados nos permite verificar si las medidas preventivas son suficientes o adecuadas, a la vez que nos ayuda a establecer medidas clínicas pertinentes en los casos del trabajador afectado.(9)

b) La vigilancia de la salud colectiva: también se la llama epidemiológica o publica porque se basa en la epidemiología como instrumento para el análisis de los datos de una población.

En el caso concreto del trabajador expuesto a radiaciones ionizantes ,este debe contar con servicios de salud en el mismo grado que quien se expone a otros peligros profesionales, es así como antes de su contratación se le realizaran a los candidatos evaluaciones generales de la salud , en donde se podrán establecer líneas de base o datos referentes. Debe obtenerse siempre el historial médico y de exposición de cada empleado. De acuerdo a la naturaleza de la exposición radiológica esperable puede recomendar la realización de reconocimientos especializados a discreción del médico responsable.

2.3.-INSTRUMENTOS DE LA VIGILANCIA MÉDICA

De manera tradicional la vigilancia médica se ha asociado a la práctica de exámenes de salud o de reconocimientos médicos sin embargo existen otros instrumentos útiles que aportan datos relevante sobre la salud de los trabajadores.

Estos instrumentos son: las incapacidades laborales y las enfermedades centinela.

2.3.1.-Incapacidad Temporal: Es información que se recoge de manera sistemática sobre los problemas de salud del trabajador que afectan su capacidad para poder seguir realizando las actividades laborales habituales y es útil para valorar directa o indirectamente el impacto de las de las condiciones de trabajo en la salud. (9)

Cuando se interpretan datos sobre incapacidades se debe tener en cuenta ciertas consideraciones: primero, no se busca detectar todos los problemas de salud del

colectivo de trabajadores, sin solo los más graves que lleven a incapacidad temporal o permanente para desempeñar su trabajo.

En segundo término, la incapacidad especialmente la temporal es un fenómeno complejo en el que intervienen muchos otros factores además de la salud y que de hecho la motivan.

Tercero, la notificación sistemática de incapacidades tiene un objetivo fundamental administrativo y adolece de limitaciones como para que sea usado en forma confiable y directa como sistema de vigilancia con finalidad preventiva.

2.3.2.-Enfermedades centinela: Concepto que se lo toma de la definición de Rutstein et al, en 1983, en que se refiere como “enfermedad, incapacidad o muerte prevenible asociada a una ocupación y su aparición debe servir para impulsar estudios sobre sus causas y como señal de alarma para generar mecanismos de prevención (9).

Entonces las enfermedades centinela se caracterizan por constituir un daño innecesario, que al prevenirlo modificaría su aparición. Y la aparición del daño esta relacionado con un fallo en el sistema productivo, preventivo o sanitario y su detección debe generar actuaciones preventivas.

Su uso en salud laboral se basa en 3 elementos:

1. Ayudar al medico en el reconocimiento y diagnóstico de enfermedades profesionales.
2. Servir como marco de referencia para el desarrollo de sistemas nacionales de vigilancia de la salud laboral
3. Constituir una base de datos actualizada periódicamente de enfermedades relacionadas con el trabajo como guía para los investigadores en salud laboral.

En el ámbito empresarial, el establecer un sistema de detección de enfermedades centinela, a través de consultas médicas espontáneas puede ser una útil herramienta, incluso a veces más útil que los exámenes de salud para la vigilancia de la salud, siempre que vaya acompañada de actuaciones protocolizadas para la evaluación de las

condiciones de trabajo y la aplicación de medidas correctoras.

2.4.-EXÁMENES DE SALUD

Los exámenes de salud, llamados también reconocimientos médicos se definen como aquellos procedimientos sanitarios que permiten la evaluación sistemática del estado de salud de cada individuo de un colectivo laboral. Y consiste en recoger, evaluar datos de salud del trabajador dirigido a la búsqueda activa de cambios fisiopatológicos que se atribuyan a exposiciones laborales. (9)

Cuando estos se realizan de manera periódica, permiten establecer un seguimiento longitudinal del trabajador en riesgo y solo tienen sentido si están integrados en los planes y programas de prevención y mejoras de las condiciones del trabajo. El desarrollo de programas de exámenes de salud en ausencia de programas de control y reducción de riesgos no tiene sentido. Y no es aceptable.

Otro objetivo de los exámenes de salud podría ser la prevención secundaria, es decir la detección temprana de enfermedades o alteraciones de la salud, en relación con el trabajo, no reconocidas previamente en el ambiente clínico, y que permita su tratamiento efectivo y su prevención en etapas tempranas de la enfermedad para de mitigar su progresión.

Nota una alteración que se detecta de manera precoz en un trabajador puede servir para prevenir la aparición de más casos en compañeros de trabajo.

Los exámenes de salud pueden ser:

- **Las evaluaciones iniciales:** tienen como objetivo, conocer el estado de salud de un trabajador y permiten en el futuro establecer una relación causa -efecto entre una exposición laboral y la afectación de la salud. Por otro lado permite detectar trabajadores especialmente susceptibles que requieran de una vigilancia médica específica.
- **Los exámenes periódicos:** se realizan intervalos regulares de acuerdo las

características de exposición y de los potenciales daños. Su objetivo es detectar daños en la salud clínicos o subclínicos derivados del trabajo teniendo en cuenta los períodos de latencia

- **Los exámenes de reincorporación al trabajo luego de ausencias prolongados:** cuando se debieron a motivos de salud tienen como finalidad detectar posibles secuelas o nuevas susceptibilidades y recomendar acciones apropiadas de protección de la salud y analizar su posible origen laboral.
- **Por asignación de una nueva tarea con nuevos riesgos laborales.**

Los exámenes de salud pueden incluir cuestionarios, pruebas biológicas y una exploración física.

Los cuestionarios permiten recoger información valiosa de forma homogénea entre los sujetos de una población.

En la práctica los exámenes de salud deben realizarse de acuerdo a los riesgos laborales, los recursos disponibles, los conocimientos y las actitudes de los trabajadores y de las empresas sobre las funciones y fines de dicha vigilancia, así como también de las leyes y normas que les son aplicables. Además se requiere de protocolos específicos de acuerdo con los riesgos de acuerdo a criterio con rigor científico.

Reconoce como protocolo al plan preciso y detallado de actuaciones para la vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con el riesgo laboral al que están expuestos y supone una estrategia de actuación en prevención y una forma de gestionar la actuación técnica de los recursos sanitarios. En realidad corresponden a guías de actuación genéricas que los profesionales sanitarios encargados de la vigilancia sanitaria de los trabajadores en las empresas deben adaptar a sus realidades y necesidades como una parte de la planificación de su programa de vigilancia de la salud.

La vigilancia de la salud debe estar basada en la evidencia, es decir en una revisión

crítica del respaldo científico existente sobre los efectos en la salud de riesgos laborales específicos, sobre el uso de instrumentos diagnósticos fiables y adecuados para la detección de esos efectos y sobre la efectividad de medidas preventivas.

Está demostrado que la realización de los exámenes de salud si un objetivo concreto, resultan inútiles, costosos y poco eficaces a la hora de la detección de los daños derivados del trabajo.

Para que un examen de salud sea efectivo, tiene que cumplir 3 requisitos básicos:

- El método utilizado tiene que ser específico, para lo que pretendemos evaluar,
- Debe ser adecuado y válido para la detección de enfermedades en un periodo preclínico
- Sus resultados han de ser eficientes desde el punto de vista sanitario y económico.

La elección de cuestionarios, pruebas biológicas y de una exploración física estará determinada por el problema de salud que se quiere detectar, su validez científica (de la prueba), su inocuidad y también de los recursos disponibles. Las características de las pruebas diagnósticas también serán: que tenga mínimo riesgo para el trabajador, que sea válida científicamente, que sea reproducible y que tenga un costo aceptable.

Una prueba debe ser por lo tanto sensible y específica. Por ejemplo: a pesar de su aceptable sensibilidad, la baja especificidad de las pruebas genéticas para la detección de daños subclínicos ocasionados por radiaciones ionizantes no permite tomar decisiones sobre la adecuación del puesto de trabajo. Finalmente un programa ha de ser aceptado, por los trabajadores, y su coste global incluyendo las pruebas el seguimiento y el tratamiento ha de ser asumible.

2.5.-ASPECTOS ÉTICOS DE LA VIGILANCIA DE LA SALUD

Se debe en la vigilancia de la salud cumplir ciertos aspectos éticos como preservar los derechos de los trabajadores a la intimidad, a la confidencialidad sobre la información individual y el deber de guardar secreto de quien por su competencia tenga derecho a información de su historia clínica. (9)

Lo que sí se puede informar a los empresarios es sobre las conclusiones de los resultados de la vigilancia de salud para salvaguardar de posibles conflictos entre los preceptos de intimidad y confidencialidad versus el interés preventivo de la información sanitaria.

La vigilancia de la salud deben por concepto servir para analizar las posibles relaciones entre exposición a riesgos profesionales y las enfermedades que puedan padecer los trabajadores expuestos y para evaluar la efectividad de las medidas preventivas pero bajo ningún concepto como medio de control de las razones de ausencia al trabajo.

Claro que no se debe confundir el utilizar esta fuente de información con el control administrativo del ausentismo.

Es derecho de los trabajadores acceder a vigilancia de la salud a cargo del empresario pero siempre contando con un consentimiento informado. Una excepción podrá ser cuando de manera obligada sea pertinente una vigilancia sanitaria por establecerlo así una disposición legal o sea imprescindible para evaluar los efectos de los riesgos laborales en el trabajo o la influencia de su estado de salud sobre los demás trabajadores. Debe finalmente garantizarse el acceso de los trabajadores a la información de sus estado de salud, con comunicación individual de los resultados de forma clara y comprensible para el trabajador utilizando un lenguaje llano y sencillo.

En el anexo N, en las tablas 1 y 2 se hace referencia a los contenidos mínimos y a los aspectos éticos de los protocolos de reconocimiento médico.

2.6.-VIGILANCIA MÉDICA EN CÁNCER LABORAL

Todavía no es clara la verdadera función de la vigilancia médica en caso de exposición a cancerígenos, pero la evidencia nos indica que esta vigilancia de la salud será efectiva si toma en cuenta ciertos aspectos que son prácticos como: que se utilicen pruebas sensibles, de fácil realización, que sirvan para detectar etapas tempranas del cáncer y finalmente que se acompañe de intervenciones que ayuden a reducir la morbi-mortalidad si se aplican en estadios tempranos de la enfermedad (10).

Los protocolos de vigilancia médica estarán diseñados para cada agente cancerígeno en particular según el riesgo de exposición y es importante en este proceso poder establecer la relación causa- efecto entre las neoplasias y el agente cancerígeno y si esta relación es de índole laboral o no. Para determinar la relación causa-efecto se debe evaluar la duración de los periodos de latencia de los cánceres, así por ejemplo es conocido que los tumores sólidos humanos tienen periodos de latencia de entre 10 a 12 años o más, a diferencia de los cánceres que afectan a la sangre que tienen latencias menores como por ejemplo las leucemias o los linfomas con latencias de entre 3 y 7 años.

Cobra especial importancia la información relacionada a los antecedentes personales y patológicos así como también antecedentes laborales de los empleados e información relacionada a los hallazgos de los chequeos físicos médicos. Estos últimos nos son útiles para demostrar afectaciones de la salud establecidas y si además existen condiciones asociadas a exposiciones a otros factores de riesgo.

En cáncer laboral siempre tienen importancia etiológica y que se debe tomar en cuenta a aquellas exposiciones regulares de larga duración a los agentes cancerígenos.

9 Serra C, Company A. Vigilancia de la Salud. Capítulo 22 .Salud Laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales. 3ra Edición .Masson.2007.España

10 Rugo H, Cáncer laboral. Capítulo 16. La Dou J. Diagnóstico y tratamiento en medicina laboral y ambiental. El Manual Moderno. Cuarta edición .2007

3.-CONTROL BIOLÓGICO DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES GENOTÓXICOS CON TÉCNICAS CITOGENÉTICAS

3.1.-GENERALIDADES: La citogenética es el estudio de los cromosomas y las enfermedades relacionadas con sus alteraciones tanto numéricas como estructurales.

El control biológico con técnicas citogenéticas es una interesante metodología que permite la evaluación de la exposición a agentes genotóxicos potencialmente cancerígenos, cuyos efectos se presentan luego de largos periodos de latencia y de los que no se conoce umbrales de seguridad. La exposición a agentes genotóxicos puede ser accidental, ocupacional o por hábitos y ciertos estilos de vida, lo cual incrementa el riesgo de padecer cáncer.

Cobra especial importancia en este tipo de técnicas, el daño que preferentemente se presentará en el ADN del núcleo celular por ser esta macromolécula un blanco fácil de la acción de los agentes genotóxicos (11).

La estructura y funcionamiento de todos los organismos dependen de un programa genético codificado en el ADN, que forma los genes, que están ubicados en los cromosomas celulares. Entonces podemos definir a los genes como un segmento de ADN cuyo número y secuencia de nucleótidos funciona como una unidad de información heredable, transcribible en ARN, para traducirse en una secuencia de aminoácidos de una proteína funcional. Los genes llevan con fidelidad la información genética de una generación celular a otra y de un individuo a sus descendientes.

3.2.-ESTRUCTURA CROMOSOMAL: Los cromosomas son complejas estructuras ubicadas en el núcleo de las células que poseen la información necesaria para regular el funcionamiento, la diferenciación, la morfogénesis y la reproducción de los organismos. Se componen de ADN, ARN, proteínas histónicas, proteínas no histónicas, polisacáridos,

11 Cantos G. Genética Toxicológica. Revista Cátedra N:3 .Dic 2007.Universidad Central Del Ecuador.

pequeñas cantidades de lípidos, sales de calcio y magnesio. Básicamente son las envolturas o paquetes que contienen el ADN, y son visibles a la microscopía óptica cuando se condensan durante la división celular.

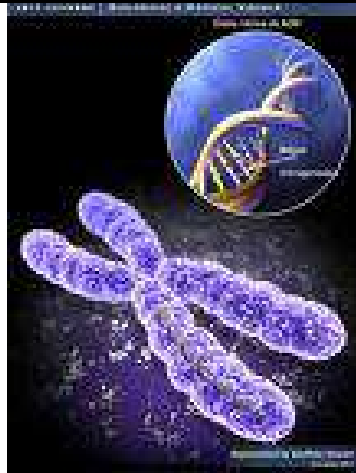


Imagen 7: Cromosoma/ doble hélice de ADN

Las células somáticas humanas tienen 46 cromosomas (22 pares autosomas u homólogos) y 2 cromosomas sexuales. Lo que se llama número **diploide (2n)**. Las mujeres poseen 2 cromosomas sexuales X(46 XX) en tanto que los varones tiene un cromosoma sexual X y un Y.(46 XY). Es interesante aclarar que las células germinales (óvulo y espermatozoides) solo poseen 23 cromosomas , 22 autosomas y un cromosoma sexual, a lo que se le llama un **número haploide(n)**.

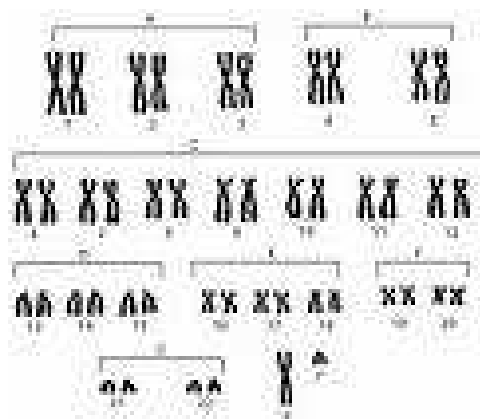


Imagen 8 : Cariotipo Humano

La unidad estructural de los cromosomas se denomina fibra de cromatina y define a un complejo de macromoléculas que constituye el material cromosómico de la célula en interfase o fase no mitótica (12). El grado de compactación de la fibra cromatínica será

variable de acuerdo al estado fisiológico del núcleo, ya que aumentará según la célula pase de interfase a mitosis y explicará los distintos aspectos que irán presentando los cromosomas durante la etapa de división celular. El cromosoma en metafase (mitosis) es más condensado y tiene la morfología adecuada para poder estudiarlo. Los cromosomas se ven al microscopio como estructuras delgadas y alargadas, con brazos cortos (p) y brazos largos (q) separados por estrechamientos llamado centrómero.

El cromosoma en metafase tiene la siguiente estructura básica:

Cromátides: cada cromosoma posee dos cromátides, de las cuales una es correspondiente al cromosoma original y la otra es el cromosoma duplicado en el periodo S de la interfase del ciclo de la división celular.

Brazos: Son las dos partes que conforman un cromosoma y están formados por los segmentos de las dos cromátidas y que se unen en la constricción primaria que se denomina Centrómero. Los brazos cortos se identifican con la letra (p) y los brazos largos con la letra (q). Los cromosomas en general pueden de acuerdo a disposición de sus brazos cortos y largos ser **Metacéntricos** (brazos corto y largo de la misma longitud con centrómero en el punto medio), **Submetacéntricos** (brazos corto y largo de longitudes desiguales y centrómero más próximo a uno de los extremos) y **Acrocéntricos** centrómero muy cerca de un extremo con un brazo corto muy pequeño y que con frecuencia tienen constricciones secundarias en los brazos cortos que conectan con pequeños trozos de ADN llamados tallos y satélites (que se conectan al centrómero) . Los tallos contienen genes que codifican el RNA ribosómico.

Telómeros: Corresponden a los extremos de los brazos cromosomales y tienen la característica de poseer polaridad que impide a otros segmentos cromosómicos unirse al cromosoma directamente.

Centrómero: como ya explicamos corresponde a al estrechamiento existente en las dos cromátides y que une al brazo corto con el largo. Es una zona que se tiñe menos y por lo tanto tiene menor contenido de ADN. Tiene como funciones mantener unidas a las 2 cromátides, permite la inserción de las fibras del huso y determina la forma de los cromosomas metafásicos.

El número y la forma de los cromosomas generalmente son constantes en las células de un mismo individuo y entre los individuos de una misma especie

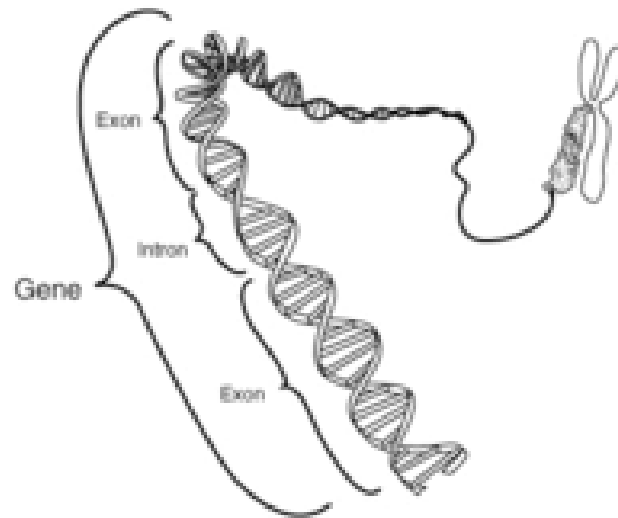


Imagen 9: Cromosoma y gen

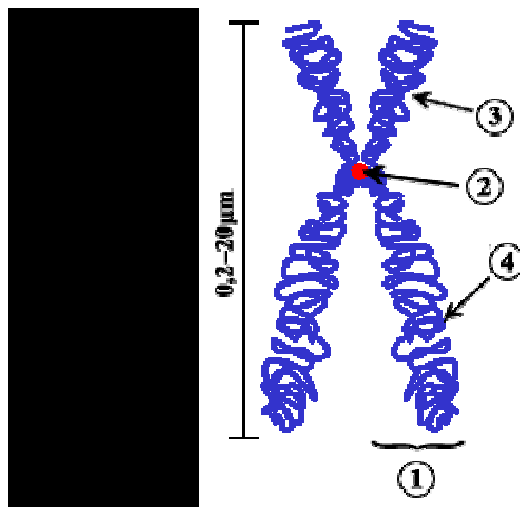


Imagen 10: Cromosoma Morfología

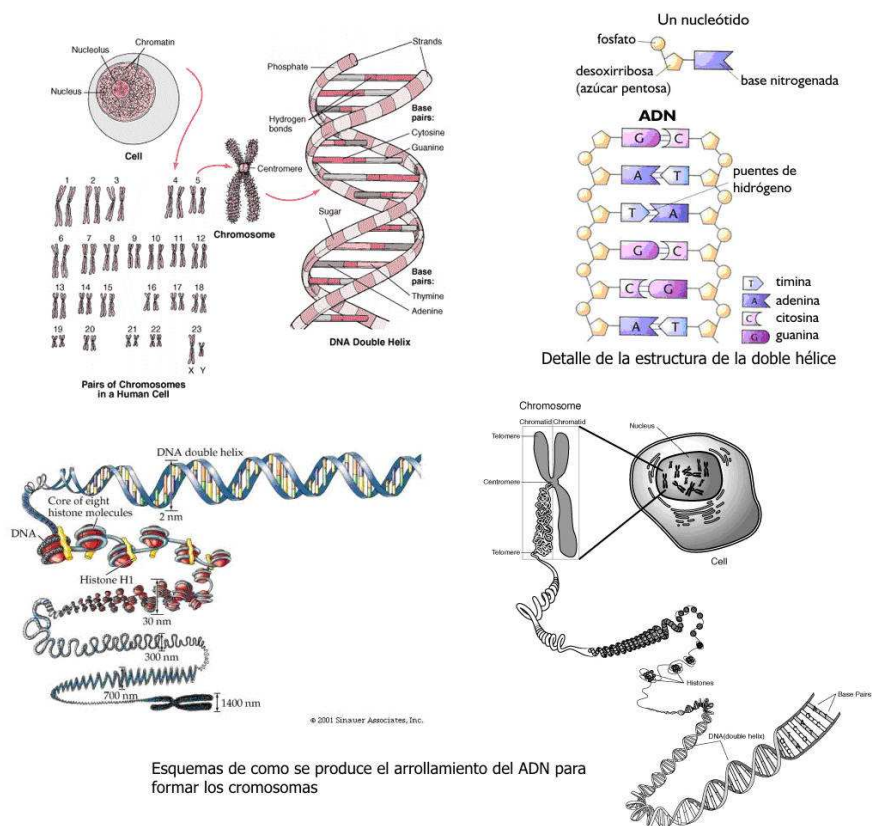


Imagen 11: Arrollamiento del ADN para formar el cromosoma

3.3.-AGENTES GENOTÓXICOS: Los genotóxicos pueden ser agentes físicos o químicos, que provocarán cambios estructurales cromosomales y que según actúen sobre el ADN pueden originar aberraciones cromosomales o intercambio de cromátides hermanas. Entre estos agentes se encuentran las radiaciones ionizantes y las radiaciones no ionizantes, así como también sustancias químicas cuyos efectos biológicos dependerán de factores como la naturaleza de la fuente emisora, la distancia entre el emisor y el receptor, la intensidad de la fuente, la dosis, el tiempo de exposición, y la acumulación del mutágeno en la célula o en el individuo.

3.4.-DAÑOS DEL ADN: La mutación se la define como todo cambio detectable y hereditario en el ADN de las células o de los individuos no relacionado a la segregación o recombinación génica.

La mayor parte de las mutaciones son deletéreas y el ADN puede sufrir rupturas o deformaciones que en muchos casos llevan a la muerte celular. Estas mutaciones pueden ser **espontáneas** (causas endógenas) o **inducidas** (por acción de agentes físicos, químicos

o biológicos). El proceso de inducción del daño genético se inicia cuando el agente genotóxico atraviesa las membranas, se reactiva por sí mismo o por enzimas metabólicas denominándose **promutágeno**, interactúa con el ADN, y lo daña. Este daño se puede reparar eficientemente o no, cuando ocurre lo segundo el daño se fija en una lesión primaria en la molécula de ADN ocasionando la mutación.

Las mutaciones pueden ser microlesiones y macrolesiones.

Las **microlesiones** son alteraciones del material genético a nivel molecular mediante la sustitución, pérdida o adición de las bases nitrogenadas de la cadena de ADN, alterando por lo tanto el mensaje genético codificado para la síntesis de una determinada proteína y que se detectan mediante **técnicas de biología molecular**.

Las **macrolesiones** son daños en el ADN, en los que el número de las base es mayor lo que da discontinuidad o rupturas de la cromatina, dañando la estructura, morfología o número de cromosomas y se los identifica por **técnicas citogenéticas**. Las mutaciones en células somáticas pueden desarrollar enfermedades, iniciar procesos cancerosos o alterar el desarrollo embrionario.

Existen mecanismos reparadores del daño ocasionado en el ADN, que disminuyen la frecuencia de las mutaciones inducidas por genotóxicos, mantienen la estabilidad del ADN y aumentan la frecuencia de las células sobrevivientes. Entre estos mecanismos están la **fotoreactivación, la reparación escindisidora, reparación por enzimas como la O6metilguanina metiltransferasa, o como las enzimas glicosilasas, reparación de falso apareamiento y enzimas del mecanismo SOS**.

DAÑOS CROMOSÓMICOS Y PRUEBAS GENÉTICAS: La exposición humana a genotóxicos puede monitorearse mediante pruebas que permitan determinar el daño cromosómico con la mayor precisión posible, tales como los ensayos citogenéticos para determinar aberraciones cromosómicas estructurales, presencia de micronúcleos, test de fragilidad cromosomal, intercambio de cromátides hermanas,(ICH) , pruebas que se realizan de preferencia en linfocitos periféricos (12), pruebas que son las más empleados para el control biológico de las poblaciones con exposición ocupacional a genotóxicos. Los agentes físicos o químicos capaces de generar estas alteraciones se denominan

clastógenos.

Los linfocitos de sangre periférica son parte del sistema inmune del organismo y de acuerdo a su origen y función pueden ser Linfocitos T (origen en el timo) y Linfocitos B (origen en médula ósea); cerca del 60% a 70 % son linfocitos T. Los linfocitos B participan en el proceso de inmunidad humoral produciendo anticuerpos, mientras que los linfocitos T, además de inducir respuesta inmunitaria, sobre todo participan del proceso de inmunidad celular (destrucción de las células infectadas y destrucción de células mutantes). El aporte de los linfocitos como un sistema celular de ensayo, se basa en ciertas características que los hacen apropiados para ser utilizados en técnicas citogenéticas (13).

-Los linfocitos normalmente están en fase de reposo celular (no división o fase G0). Existen en gran número y son de fácil disponibilidad (hasta 3 millones de células x ml de sangre). Además su cultivo y la estimulación de división (pasar a mitosis por efecto de **fitohemaglutinina**) no implica dificultades.

-Se distribuyen ampliamente en el organismo, con la particularidad de que los linfocitos T recirculan más entre la sangre y los espacios extravasculares, situación, que los convierte en espejo de lo que sucede en cualquier parte del organismo luego de una exposición.

-La vida media de los linfocitos es de alrededor de 4 años, aunque algunos pueden sobrevivir durante algunas décadas, lo que permite detectar los efectos clastogénicos por exposiciones crónicas y a bajas dosis ocurridos hace mucho tiempo ya que las lesiones del ADN persisten.

3.5.-TECNICAS CITOGENÉTICAS

Las Técnicas Citogenéticas como parte del control biológico están basadas en que el grado de de lesión genética en tejidos no diana (como por ejemplo los linfocitos de sangre periférica) refleja los cambios que se suceden en el resto de células luego de una

12 Cantos G, López R, Plomo, genotoxicidad y Salud Humana. 1999 .Facultad de Ciencias Médicas. Centro de Biomedicina.UCE.

exposición a clastógenos. Entonces los linfocitos serán considerados tanto como indicadores del nivel de exposición como de los efectos producidos en otras células del organismo.

El control citogenéticos se relaciona con exposiciones crónicas a dosis bajas de agentes genotóxicos potenciales y vemos que las lesiones observadas obedecen a por lo menos tres procesos que compiten entre sí, estos procesos son:

- Inducción prolongada de las lesiones
- Reparación continuada de las lesiones.
- Eliminación y redistribución de los linfocitos en la circulación.

3.5.1.-Aberraciones Cromosómicas: Las alteraciones del material genético pueden ser **espontáneos** que generalmente ocurren por causas endógenas (por ejemplo errores en la replicación) y las **mutaciones inducidas** se deben a la acción de agentes genotóxicos físicos, químicos o biológicos capaces de actuar en forma directa o indirecta sobre el ADN. Por otro lado las alteraciones en el material genético pueden ser cambios numéricos en el número de cromosomas (heteroploidías, poliploidías (pp.) y las aneuploidías). y aberraciones cromosómicas estructurales, visibles al microscopio óptico. Existe además otro tipo de aberraciones adicionales como la desespirilización cromosómica (desp), las rupturas múltiples (rmul), pulverización (pvz) y la asociación satélite (asosat).

Los cambios en el material genético inducidos son generalmente rupturas y recombinaciones de estas rupturas ordenaciones dentro de un mismo cromosoma o en cromosomas diferentes, ocasionados por la acción de clastógenos que rompen directamente la molécula de ADN (ej. radiaciones ionizantes) o que distorsionan su doble hélice (ej. los agentes intercalantes). Además estas **aberraciones estructurales** pueden ser estables o inestables, lo que refleja la capacidad o no de la célula de superar la división celular.

Las **aberraciones inestables** son: dicentricos, anillos, fragmentos, y otras reorganizaciones asimétricas) que conducen a la muerte de la célula durante el proceso de división celular (no permiten la división celular o conducen a la pérdida de material genético a las células hijas).

Las **aberraciones estables** como por ejemplo las translocaciones equilibradas, inversiones u otras reordenaciones simétricas) pueden ser transmitidas a las células hijas (progenie) ya que no interfieren con la división celular.

De acuerdo al momento del ciclo celular en que tenga lugar la exposición a los agentes genotóxicos, las aberraciones cromosómicas pueden ser de 2 tipos:

- a) Aberraciones cromatídicas (de tipo cromatídico) : Afectan a 1 sola cromátide del cromosoma y son : brecha de isocromática o gap cromatídico (**gct**) , rupturas cromatídicas(**rct**), intercambio cromatídico (**itc**)
- b) Aberraciones de tipo cromosómico: Afectan a ambas cromátides del cromosoma como la brecha cromosómica o gap cromosómico (**gcs**),ruptura cromosómica(**rscs**), dicéntricos (**dic**), anillo (**ani**), fragmento cromosómico acéntrico (**ace**).



Imagen 12 .Varias aberraciones cromosomales

Es importante conocer que los agentes clastógenos pueden ser **agentes S dependientes** y en **agentes S independientes** de acuerdo al tipo de alteración estructural que producen. Los S dependientes inducen aberraciones cromatídicas en cualquier fase del ciclo de la célula y solo se visualizan una vez atravesada la fase S del ciclo celular (radiaciones ultravioleta, agentes alquilantes). Los agentes S independientes como las radiaciones ionizantes y compuestos químicos radiomiméticos como la **bleomicina**, y el **neocacinostatin**, inducen aberraciones de tipo cromosómico cuando actúan sobre las

fases G0 y G1, y aberraciones cromatídicas durante la fase G2 y una mezcla de ambas alteraciones durante la fase S del ciclo de la célula.

Cuando los linfocitos periféricos se encuentran en la fase G0, los agentes radiomiméticos inducen lesiones que pueden comportarse ya sea reparándose inmediatamente, no repararse o repararse de forma inadecuada o incorrecta, dando lugar a aberraciones de tipo cromosómico cuya frecuencia no se reduce (excepto por dilución por linfocitos no afectados o por recambio celular) y que explica el porqué estas aberraciones puedan detectarse incluso varios años después de terminada la exposición.

En el caso de las lesiones inducidas por los **agentes S dependientes** estas solo se evidencian o expresan cuando la célula este en la **fase S** (fase de replicación del ADN), por tanto hasta que la célula sea estimulada pueden pasar largos periodos de tiempo en que la célula puede repararse, de tal manera solo algunas aberraciones se mantienen y se expresarán cuando se dé la estimulación in vitro.

El significado biológico de las aberraciones estructurales cromosómicas es que son indicadores tanto de la exposición a agentes genotóxicos, como de los efectos mutagénicos, aunque en si por concepto no constituyen una mutación por que llevan a la muerte de las células y de su descendencia; podrían originar mutaciones, cuando los cromosomas rotos se restituyen o intercambian fragmentos entre ellos. Por eso se establece que todos los agentes que producen rupturas cromosómicas también pueden inducir mutaciones.

Parece que en las células somáticas las aberraciones cromosómicas juegan importante papel en el origen y progresión del cáncer. Por lo tanto las aberraciones cromosómicas se encuentran sobre todo en células cancerosas, así como también en fetos productos de abortos espontáneos o en individuos con alteraciones del desarrollo.

3.5.2.-Micronúcleos: Son aberraciones cromosomales observados como pequeñas masas de cromatina de disposición circular u oval con apariencia de núcleos pequeños ubicados en el citoplasma cerca del núcleo principal durante la **interfase celular** que sigue a la mitosis producto de la acción de los clastógenos. Están formados por fragmentos de

rupturas cromosomales que carecen de centrómero por lo que no pueden migrar a los extremos celulares en **anafase**, o por cromosomas enteros rezagados que no se incluyeron en el núcleo por acción de los mutágenos que alteran el citoesqueleto y los componentes del huso.

3.5.3.-Test de Fragilidad Cromosómica: El test de inducción de fragilidad cromosómica constituye una de las pruebas más sensibles para establecer la posibilidad de malignidad en poblaciones de alto riesgo. La posibilidad de utilizar sustancias radiomiméticas como la **Aphidicolina** y **Bleomicina**, permite localizar sitios frágiles o puntos calientes de daño clastogénico y localización de protooncógenes.

La bleomicina actúa como alquilante radiomimético, produciendo inhibición de la síntesis y ruptura de la cadena de ADN en cultivos celulares, así como también inhibe la mitosis. La ruptura del ADN, se produce preferentemente en las regiones ricas en timina, citosina, adenina y guanina con más avidez sobre los sitios **G-C** y **G-T**, lo que ocasiona liberación de las bases nitrogenadas, radicales libres e hidrolasas, degradación del nucleosoma, ruptura de uniones fosfodiéster, destrucción de la desoxirribosa, e inhibición de los precursores de ADN y de síntesis de proteínas.

Se usa la droga conocida como **Blenoxane** que produce muerte celular, daño cromosómico, y retardo del ciclo celular. Los daños cromosómicos inducidos son tipo dicentricos, anillos, condensación prematura cromosómica, fragmentos acrocéntricos, e intercambio cromatídico, pulverización cromosómica y muerte celular. Uno de las estructuras más afectados suele ser el brazo corto, sobre todo de los cromosomas de los grupos A y D, mientras que el cromosoma 3 es el más resistente.

3.5.4.-Intercambio de Cromátides Hermanas: El mecanismo de inducción es distinto al de la prueba de aberraciones cromosomales, y consiste en la manifestación citológica de la ruptura, intercambio de material genético, y reparación post replicación de las cadenas de ADN en sitios aparentemente homólogos de las 2 cromátides de un mismo cromosoma. Estos cambios no van a alterar la polaridad, ni la estructura de la doble hélice de ADN, ni la morfología del cromosoma y se puede visualizar por tinción específica por fluorescencia y/o **Giensa**, también en linfocitos de sangre periférica que hayan sufrido 2 divisiones celulares.

Los agentes S dependientes son inductores eficaces de intercambio de cromátides hermanas, y de manera similar a las aberraciones cromosomales, la lesión que induce al intercambio puede haberse originado en cualquier fase del ciclo de la célula, pero solo se manifestará hasta que la célula entre en división y atraviese la fase S.

En casos de exposición a ciertos agentes químicos el intercambio de cromátide hermana puede tener mayor sensibilidad que las aberraciones cromosómicas, pudiendo verse efectos genotóxicos a concentraciones hasta 100 veces menores que las necesarias para inducir aberraciones cromosomales. Los mejores inductores de intercambios de las cromátides hermanas son aquellas sustancias que forman **aductos covalentes** con el ADN o que interfieren con su mecanismo precursor o de reparación.

El Significado biológico es que estos sucesos no llevan a la muerte de la célula y tampoco producen cambios en la información genética (mutaciones) sin embargo la evidencia demuestra un incremento de la frecuencia de intercambio de cromátides hermanas cuando las células se han expuesto a agentes mutágenos y cancerígenos conocidos y en ciertas enfermedades congénitas.

CONCLUSIONES:

Los linfocitos pueden acumular lesiones relacionadas con exposiciones prolongadas y repetidas a agentes genotóxicos, lo que los convierte en el tejido celular ideal para la detección de daños provocados por exposiciones crónicas y a bajas dosis.

Por lo tanto las técnicas citogenéticas pueden ser utilizadas para establecer en poblaciones expuestas a un determinado agente genotóxico, el daño producido por una exposición y para estimar los potenciales riesgos para la salud.

Incrementos en la frecuencia de aberraciones cromosómicas en una determinada población se considera como un indicador de aumento de riesgo de cáncer, mas no como indicador predictivo en individuos puntuales.

A pesar de que las aberraciones cromosómicas y a los intercambios de cromátides

hermanas son detectadas en distintos grupos de linfocitos (de 1ra y de 2da división celular) y que sus lesiones pueden ser diferentes, estos indicadores suelen ser complementarios para el estudio de poblaciones expuestas a mutágenos.

CAPÍTULO III

PROGRAMA DE VIGILANCIA MÉDICA EN TRABAJADORES

EXPUESTOS A

RADIACIONES IONIZANTES

1.-OBJETIVO

El presente protocolo de vigilancia médica específico para trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes tiene como objetivo ser orientador de las actuaciones, es decir servir de guía al personal a cargo de la vigilancia médico-sanitaria, en la evaluación y vigilancia médica, con fines de seguridad radiológica, así como también definir ciertos requisitos que deben cumplir por los candidatos a laborar como personal ocupacionalmente expuesto a RI.

2.-CAMPO DE APLICACIÓN

Pretendemos que esta propuesta se a aplicada para la vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes y los candidatos a serlo, gestión esta que debe ser responsabilidad de la empresa o de los patrones. Considerando que el objeto fundamental de la presente guía es prevenir las afectaciones a la salud causadas por las RI esperamos que la misma cumpla los siguientes objetivos específicos:

- Permita la detección precoz de signos y síntomas específicos.
- Ayude a identificar factores de riesgo adicionales.
- Permita el diagnóstico y despistaje de determinadas alteraciones.
- Facilite adecuadas y tempranas intervenciones para la prevención de patologías.
- Evite el agravamiento de patología preexistente.

Este protocolo se aplicará a todas las prácticas que impliquen un riesgo derivado de las RI sean estas de fuente artificial o de fuente natural, como por ejemplo:

- La explotación de minerales, la producción, tratamiento, manipulación, utilización, posesión, almacenamiento, transporte, importación, exportación y eliminación de sustancias radiactivas.
- La comercialización de fuentes radiactivas y la asistencia técnica de equipos que incorporen fuentes radiactivas o sean productores de radiaciones ionizantes.
- Actividades que supongan fuentes naturales de radiación con aumento significativo de la exposición , y que se consideren un riesgo desde el punto de vista de protección radiológica como son: riesgo de inhalación de torón, radón o exposición a radiaciones gamma en instalaciones termales, cuevas , minas o sitios de trabajo tanto subterráneos como no subterráneos .Actividades de almacenamiento o manipulación de materiales no radiactivos pero que contengan radionúclidos naturales que supongan incremento en la exposición. Actividades no radiactivas que sin embargo generen residuos con radionúclidos naturales que incrementen la exposición.
- Actividades laborales que impliquen exposición a la radiación cósmica como por ejemplo durante la operación de aeronaves.

Este protocolo de vigilancia médica lo aplicaremos a los trabajadores expuestos considerados de “**categoría A**”, los que se deberán someter a un **examen de salud inicial y a exámenes de salud periódicos**, que nos permitan de inicio la evaluación de base de su estado de salud, su aptitud para el trabajo con radiaciones ionizantes y la presencia de condiciones de salud que puedan ser agravadas por el trabajo.

Además los **chequeos periódicos, se realizarán anualmente** y nos permitirán evaluar que las condiciones en su ambiente de trabajo no estén generando afectaciones a la salud del trabajador y que continúa siendo apto para su ejercicio laboral. Podrán realizarse exámenes de salud periódicos adicionales a criterio del médico responsable o si las condiciones de trabajo o de salud del trabajador los justifiquen.

Los reconocimientos médicos tanto iniciales como los periódicos en trabajadores considerados expuesto de “categoría A”, deberán adaptarse a las características de contaminación externa o interna y serán en base tanto a un examen clínico-médico general, como en la realización de exámenes de laboratorio o gabinete que sean

necesarios para la determinación de la condición y funcionamiento de los órganos que pudieran ser afectados.

Podremos realizar **vigilancia médica especial**, cuando se hayan superado los límites de dosis establecidos en el Reglamento de Protección Radiológica vigente en el Ecuador. También se realizarán reconocimientos médicos luego de la asignación de tareas especiales con nuevos riesgos para la salud o luego de ausencias laborales prolongadas. Además podrán realizarse **otros exámenes de salud** que puedan ser considerados oportunos de realizar por los servicios de prevención responsables de la vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

La vigilancia médica de los trabajadores considerados de “**Categoría B**” se basará en criterios y directrices generales de la medicina del trabajo.

3.- REQUERIMIENTOS

Los profesionales que realicen la vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto, deben ser médicos titulados y tener conocimientos sobre el riesgo que para la salud supone las RI.

La vigilancia médica debe comprender exámenes médicos, previos a la contratación para trabajar en presencia de RI, así como exámenes periódicos posteriores para detectar la aparición de efectos en la salud del trabajador y confirmar que la misma no se ha modificado.

Una vez cumplidos los requerimientos en cuanto a la historia clínica y los resultados de sus exámenes, el profesional que realice la vigilancia médica debe pronunciarse acerca del estado de salud de la persona para realizar el trabajo (aptitud).

4.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Es derecho de los trabajadores contar con un ambiente de trabajo que sea seguro y saludable, lo que supone la obligación de las administraciones públicas y de los empresarios a asegurar la protección de los trabajadores frente a los riesgos laborales. Lo

cual se sustentará de acuerdo con la actual normativa en la adecuada evaluación de puestos de trabajo, adecuada formación e información a los trabajadores de acuerdo a los riesgos involucrados, la implementación de planes de emergencia y finalmente una adecuada vigilancia de la salud relacionada al riesgo específico en su puesto de trabajo. Por lo tanto la vigilancia médica-sanitaria específica para los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes es responsabilidad del empresario y de los servicios de protección propios o ajenos.

5.- DEFINICIONES Y CONCEPTOS DE INTERES

El personal ocupacionalmente expuesto: es aquel que en ejercicio y con motivo de su ocupación está expuesto a RI o a la incorporación de material radiactivo. Se excluyen los trabajadores que ocasionalmente en el curso de su labor estar expuestos a este tipo de radiación, siempre que el equivalente de dosis efectivo anual no supere el límite establecido para el público en general. Así los trabajadores podrán considerarse:

Trabajadores de Categoría A: Se denomina así a las personas que durante la realización de sus actividades pueden recibir **dosis efectivas superiores a 6 mSv** por año oficial o dosis equivalentes superiores a 3/10 límites establecidos para el cristalino, la piel y las extremidades (14). A cada trabajador de esta categoría se le abrirá una historia médica, que se actualizará durante el tiempo que el trabajador permanezca en esta categoría, en la que se consignará la información relacionada a la naturaleza del trabajo, los resultados de los exámenes clínicos y de laboratorio, así como también del historial dosimétrico durante toda su vida profesional. Los servicios de prevención de la salud, específicamente los servicios médicos, propios o ajenos a la empresa llevaran el control de esta información y la mantendrán hasta por 30 años después de terminar la actividad laboral o hasta que el trabajador llegue a los 75 años de edad. Archivos médicos que estarán siempre disponibles para las autoridades competentes y para el propio trabajador.

Trabajadores de Categoría B: Se considera así a las personas que por las condiciones en las que se realiza su trabajo es poco probable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, la piel y las extremidades (14).

El límite de dosis efectiva para trabajadores expuestos es de 100 mSv durante todo el periodo de 5 años oficiales consecutivos, o una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial.

El límite de dosis equivalente Será de **150 mSv** para el **crystalino** por año oficial, de **500 mSv** para la **piel** por año oficial; finalmente para las **manos, antebrazos, pies y tobillos** esta dosis será de **500 mSv** por año oficial.

En el Anexo B, se describe otras definiciones de interés.

6.-EPIDEMIOLOGÍA

El efecto tardío de mayor importancia ante la exposición a RI, es su capacidad de inducir la aparición de cáncer. De hecho las RI son un cancerígeno del que existe probada evidencia científica, por esta razón en la actualidad se considera que **cualquier dosis de radiación ionizante es capaz de inducir cáncer en las personas expuestas**, (hipótesis aceptada). Asimismo se acepta que, la probabilidad de aparición de cáncer, crece con el aumento de la dosis de radiación recibida. La principal fuente de información relacionada al cáncer radioinducido proviene del seguimiento a largo plazo que se ha hecho a los supervivientes de las bombas atómicas lanzadas en Hiroshima y Nagasaki, información que se complementa con estudios en pacientes que han recibido radioterapia o que se han expuesto ocupacionalmente o en forma accidental.

6.1.-MAGNITUD DEL PROBLEMA: En base a lo que se conoce actualmente, la exposición a RI en dosis inferiores a los límites seguros establecidos, asegura la no aparición de **efectos deterministas** en los sujetos expuestos, sin embargo no asegura de que los **efectos probabilísticos** o estocásticos se puedan presentar en algún momentos. Por esta razón los criterios de protección de los trabajadores expuestos se basan en parte, en el **concepto de la existencia de algún grado de riesgo independientemente del nivel de exposición.**

6.2.-FACTORES DE RIESGO: La estimación del riesgo como tal la han desarrollado varias organizaciones científicas como Academia Nacional de Ciencias, la cual ha publicado varios informes por el comité BEIR, el Consejo Nacional de Protección Radiológica, (NCRP), la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), y el Comité Científico de las Naciones Unidas para el estudio de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes (UNSCEAR), etc. A nivel mundial se acepta que los riesgos a lo largo de la vida calculados en los últimos años son de alrededor de 4 muertes por cáncer de cada 100 individuos expuestos a 1 Sievert (Sv).

7.- EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RI

Como ya lo revisamos en el fundamento teórico, los daños que las RI producen en las células son consecuencia de su interacción con la materia. El daño puede ser la muerte celular o trastornos celulares que terminan afectando los distintos tejidos u órganos. Cuando la muerte celular es importante, el daño en el tejido u órgano afectado será evidente y ocurrirá en individuos que han recibido dosis de radiación arriba del umbral determinado para cada efecto, estos son llamados **efectos deterministas o no estocásticos**, los cuales son dependientes de la dosis y no aleatorios; existen además otro tipo de alteraciones que son aleatorias e independientes de la dosis y son los **efectos estocásticos o probabilísticos**.

7.1.-EFECTOS DETERMINISTAS O NO ESTOCÁSTICOS: Estos efectos pueden ser agudos y tardíos. Entre **los efectos agudos** están:

- **Irradiaciones Globales:** Cuanto mayor es la dosis recibida, más precoz, más rica y prolongada es la sintomatología. Son efectos precoces debidos a pérdidas celulares. La lesión principal es la aplasia medular, con una linfopenia inicial. A partir de dosis superiores a 1 Gy para radiaciones X o gamma (cuando se trate de radiación X o gamma, el Gy es equivalente al Sv ya que en estos casos el llamado “factor de calidad” será igual a “1”) y 0,3 Gy para neutrones. En exposiciones de corto tiempo existen efectos sobre el tejido hematopoyético, que son más graves cuanto mayor es la dosis.
- **Irradiaciones Parciales:** Se observa en piel a partir de 10 Gy para radiaciones X y gamma y en exposiciones de pocos minutos, lo que puede producir una

radiodermatitis exudativa. En el pelo se observa afectaciones como alopecia tras irradiación localizada del cuero cabelludo, en exposiciones de pocos minutos e iguales o superiores a 3 Gy. Las gónadas también pueden afectarse, así las células testiculares que son muy radiosensibles se afectan a partir de dosis de 0,3 Gy (Para radiaciones X y gamma y en exposiciones de breves minutos se produce oligospermia). Dosis superiores a 4 Gy pueden entrañar esterilidad definitiva. Dado que los ovarios son más resistentes, es decir menos radiosensibles, la esterilidad se produce a dosis superiores 8 Gy.

Los efectos tardíos, en cambios aparecen en forma tardía luego de exposiciones breves o prolongadas, se pueden afectar distintos órganos como por ejemplo el ojo, con afectación del cristalino a dosis acumuladas de 10 Gy (rayos X) y de 0.8 Gy en neutrones. La piel puede desarrollar radiodermatitis crónicas con atrofia, hiperqueratosis y telangiectasias con exposiciones acumuladas superiores a 10 Gy o con exposiciones diarias repetidas de 5 mGy/ día. En ocasiones puede existir irradiación en accidental de la mujer embarazada, lo que lleva a afectaciones del embrión o del feto, las cuales serán dependientes de la dosis recibida y de la edad gestacional, ocasionando alteraciones como:

- Malformaciones cerebrales y malformaciones óseas con exposiciones de 0.3 Gy durante la organogénesis.
- Retraso intelectual: Con dosis superiores a 0,5 Gy recibidas en el feto, después de la octava semana.

7.2.-EFECTOS PROBABILÍSTICOS O ESTOCÁSTICOS: Cuando el daño celular radioinducido no es mortal, pero ocasionado modificaciones de la estructura genética (alteración del ADN), tienden a activarse mecanismos de reparación celular, los cuales si no llegan a completarse, permiten la supervivencia de las células alteradas (mutantes) que transmitirán sus modificaciones a sus hijas, generando el apareamiento de neoplasias en los órganos o tejidos afectados. Igualmente si las células afectadas son responsables de transmitir la información genética, se podría inducir enfermedad hereditaria en los descendientes de los individuos expuestos. Estos efectos ya somáticos, ya hereditarios se los conoce como efectos probabilísticos o estocásticos, los cuales son no dependientes de la dosis, y son de índole aleatorio. Son ejemplo de este tipo de efectos el cáncer de piel

(epitelioma espino-celular cutáneo), el osteosarcoma, todas los tipos de leucemias (excepto la leucemia linfocítica crónica) que son el cáncer radioinducido más común. Igualmente existe el cáncer de pulmón que ha sido asociado a exposiciones a radón, en actividades de minería.

A pesar de lo expuesto, es importante aclarar que en casos de exposiciones a bajas dosis y breves, lo común es que exista supervivencia de las células y reparación celular completa.

8.- EVALUACIÓN DEL RIESGO.

Su objetivo es analizar las condiciones laborales evaluar el puesto de trabajo del personal expuesto, para determinar la naturaleza y la magnitud de la radiación, que puede ser irradiación o contaminación interna, esta evaluación se ajustará a criterios y principios generales de la prevención de los riesgos laborales.

Según el artículo 118 del Reglamento de Seguridad Radiológica se establece que toda persona que se dedique a labores que la expongan a un contacto permanente con las radiaciones ionizantes queda expuesta a la posibilidad de sufrir lesiones inmediatas o mediatas, y por consiguiente, debe estar conciente de los efectos acumulativos de la radiación. Igualmente en este Reglamento se establece que la ex CEEA (hoy Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares, dependiente del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables del Ecuador), es la institución encargada de realizar las mediciones ambientales de las radiaciones ionizantes en el ambiente de trabajo y de las inspecciones pertinente previo al otorgamiento de las respectivas licencias a quienes van a laborar con RI, así como también se encargará de las mediciones e inspecciones subsecuentes que se realizarán en forma anual.

La vigilancia individual de exposición al riesgo según el artículo 5 del mismo Reglamento de Seguridad Radiológica, establece que todo licenciataria está obligado a usar detectores de control de dosimetría personal adecuados, como dosímetros de bolsillo, dosímetros de película o dosímetros termoluminiscentes. La portación de estos dosímetros es obligatoria

dentro de un área restringida.

La lectura de la dosimetría en nuestro país es un servicio que realiza el laboratorio de la CEEA y se la realiza cada 3 meses. Existen además otras instituciones como por ejemplo el Hospital CAM de Quito que realiza sus propias lecturas. Siempre es conveniente que el historial dosimétrico o los controles dosimétricos consten como información para el historial clínico de cada trabajador.

En caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea del organismo, la utilización de dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas sería lo más recomendado.

En caso de la existencia de sobreexposición a RI por parte de un trabajador, el mismo tiene derecho a que se le realice análisis clínicos y metabólicos a cargo del IESS, quien a través del departamento de Riesgos del Trabajo dictaminará si la sobreexposición es de origen laboral y puede ser considerada como enfermedad profesional. Para efecto de tener derecho a compensaciones fijadas por el IESS vigentes a la fecha de ocurrido el diagnóstico médico.

En el Artículo 9 referente a registros del mencionado reglamento de seguridad radiológica, establece que el empleador está obligado a llevar registros personales de cada trabajador profesionalmente expuesto en áreas controladas en donde se hará constar: la licencia de trabajo, índole de las tareas que cumple, el tipo de radiación o contaminación posible, los resultados de su monitoreo individual y los resultados de los reconocimientos médicos. Además deberá llevarse un record del personal que ingrese a áreas restringidas, mantener registro de las inspecciones a equipos e instalaciones certificadas por la ex CEEA y finalmente mantener registros de los usos de radioisótopos y máquinas generadoras de radiación.

9.-VIGILANCIA MÉDICO-SANITARIA ESPECÍFICA.

El capítulo IV relacionado con el Control del Estado de Salud del personal que trabaja con radiaciones, del Reglamento de Seguridad Radiológica vigente, en su artículo 112

relativo a los exámenes médicos al personal establece lo siguiente:

- a) Toda persona que trabaje por primera vez en el campo de las radiaciones, cualquiera sean sus responsabilidades, tiene que someterse a un examen médico adecuado antes de iniciar sus tareas, realizado por un profesional del departamento de Riesgos del Trabajo del IESS. El cual será requisito previo a la concesión de la licencia por parte de la EX CEEA;
- b) El personal que se encuentra laborando en el campo de las radiaciones se someterá anualmente a un examen médico;
- c) Dados los problemas médicos particulares que plantea el trabajo con radiaciones en el caso de las mujeres en edad de concebir, deberán adoptarse todas las precauciones para garantizar que no reciban dosis sobre las máximas permisibles ; y ,
- d) Se prohíbe que el personal femenino en estado de gravidez, reconocido por diagnóstico médico esté en contacto con radiación. Si tal es el caso, esa persona será destinada a labores que no sean de contacto directo con las radiaciones ionizantes.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente en la regulación específica anteriormente descrita, apreciamos que lo estipulado en el mismo relativo a la vigilancia médica para los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes, es muy general, y prácticamente no define ni siquiera un protocolo mínimo de vigilancia para aplicarlo.

Igualmente la EX CEEA(Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares) en la practica , para otorgar licencias para las personas que se exponen o se expondrán a RI , en su ambiente de trabajo, exige requisitos médicos mínimos que consisten en un Certificado Médico en donde conste que el trabajador no tiene afectación de su salud y pruebas de laboratorio como una biometría hemática , con énfasis en el conteo plaquetario. Además de que a pesar que el reglamento indica que el personal radiológicamente expuesto se debe realizar controles médicos anuales, la CEEA lo exige cada 2 años para renovación de sus licencias como personal autorizado a trabajar con radiaciones ionizantes.

En nuestro proyecto de vigilancia médica, se pretende dar pautas un poco más específicas para que la vigilancia médica como tal cumpla con su objetivo primordial que es el de la

protección de la salud y la prevención del apareamiento de la enfermedad en los trabajadores.

A Todos los trabajadores que los consideramos expuestos (categoría A) se les debe abrir su historia médica, que se actualizará constantemente, mientras el trabajador permanezca en esa categoría. En dicha historia médicas se consignará información referente a la naturaleza de su actividad laboral, los resultados de los exámenes médicos iniciales o de preempleo y la información de los reconocimientos médicos y las valoraciones adicionales así como también el historial dosimétrico a lo largo de su desempeño laboral.

Las historias médicas de cada trabajador se conservarán en los servicios de prevención que realicen la vigilancia médica, hasta por 30 años luego del cese de la actividad del trabajador o hasta que el mismo haya llegado a una edad de 75 años. Esta información siempre estará disponible tanto para las autoridades competentes como para el propio trabajador.

Esta propuesta plantea para la vigilancia médica, la realización de un examen médico clínico convencional con valoraciones especiales relacionadas al riesgo laboral específico que son la RI, enmarcadas en la competencia y criterio del médico, para que pueda plantear variaciones en las valoraciones que aquí se establecen. El contenido de la vigilancia sanitaria constará de la siguiente información:

9.1.-HISTORIA LABORAL: donde se consignen datos relativos a exposiciones anteriores y también datos de exposición al riesgo actual, con una descripción del puesto de trabajo, tiempo de exposición, y las medidas de prevención que se ha adoptado si las hubiere.

Se obtendrá información relacionada a los antecedentes laborales en donde se pondrá atención a:

9.1.1.- Exposiciones anteriores, (anamnesis laboral): En este apartado se incluirán los puestos de trabajo desempeñados en el pasado describiendo la actividad de la empresa, los riesgos a los que se expuso y el tiempo de permanencia en cada uno de ellos, indicando los principales riesgos existentes en los mismos .

9.1.2.- Exposición actual al riesgo : En este apartado se incluirán la denominación y dirección de la empresa actual, con una descripción detallada de puesto de trabajo y

el riesgo asociado, en este caso en particular si existe irradiación o contaminación. Además se consignara el tiempo de permanencia, la existencia de medidas de protección y si existen otros riesgos presentes

9.1.3.- Información de las dosimetrías : donde incluiremos en los trabajadores expuestos (categoría A) los resultados de las dosis mensuales en lo posible, sino de las dosis trimestrales , así como también de las dosis anuales acumuladas . Si es factible se mantendrá información de la dosis acumulada para 5 años y la de toda la vida laboral. También es importante anotar la existencia de sobreexposiciones si las hubiere. Para el trabajador considerado de categoría B, se registrará las dosis anuales determinadas o que se hayan podido estimar.

9.2.-HISTORIA CLÍNICA: Que constará de una anamnesis, una evaluación clínica o examen físico, Control biológico y exámenes de laboratorios, y de criterios de valoración.

9.2.1.-ANAMNESIS: pone énfasis en varios aspectos como:

Antecedentes Personales: como los hábitos y los antecedentes médicos quirúrgicos del trabajador, así como también información relativa a pruebas diagnósticas médicas o tratamientos en los se haya utilizado radiaciones ionizantes (especificar)

Antecedentes familiares: Donde se consignará la información de importancia relacionada a antecedentes patológicos de la familia, sobre todo insistiendo en información que haga referencia a patologías de índole neoplásico, como leucemias, linfomas, y otro tipo de cánceres.

Revisión actual de órganos y sistemas: para valorar afectación actual de algún sistema se interrogará sobre:

Sintomatología general como: astenia, anorexia, pérdida de peso, sudoración nocturna, febrícula y otros.

Síntomas Otorrinolaringológicos: como vértigos, obstrucción nasal, disfagia, odinofagia, otros.

Síntomas Oftalmológicos: como antecedentes de lesiones oculares, el uso de lentes

intraoculares o de lentes, antecedentes de parálisis ocular, antecedentes de desprendimiento de retina, daltonismo, cataratas, u otros.

Síntomas Cardiorrespiratorios: como tos, dolor torácico, palpitaciones, disnea, ortopnea y otros.

Síntomas gastrointestinales: como pirosis, reflujo, diarreas, estreñimiento, dolor abdominal, proctorragia etc.

Síntomas genito-uritarios: como disuria, hematuria, polaquiuria, nicturia.

Valoración de gineco-obstetricia: Se obtendrá información sobre la menarquia, FUR, características de los ciclos menstruales, presencia de flujos vaginales, menopausia, historia obstétrica relacionada a embarazos y lactancia (especificar).

Aparato locomotor: Presencia de tumefacciones, dolor articular dificultades para la deambulacion etc.

Piel y mucosas: interrogar sobre afectaciones actuales como lesiones pruriginosas o no pruriginosas, erupciones etc.

Síntomas neurológicos: como parestesias, disestesias, limitaciones o disfunciones motoras, cefaleas, pérdidas de la conciencia etc.

9.2.2.-EXPLORACION CLINICA: Comprenderá el examen general de signos vitales (pulso, tensión arterial, temperatura, frecuencia respiratoria), y otros aspectos como talla, peso, raza, biotipo, , así como también de una exploración específica de :

- Aparato circulatorio.
- Exploración oftálmica, con especial atención en la agudeza visual lejana y cercana, y la cromática. (Examen de fondo de ojo, visión estereoscópica, tensión ocular)
- Cavidad oral y dentadura.
- Exploración del cuello, específicamente examen de la tiroides.
- Exploración otorrinolaringológica.
- Presencia de adenopatías
- Aparato respiratorio.
- Aparato cardio-vascular.
- Abdomen. Hernias y organomegalias
- Aparato locomotor y capacidad mio-articular.

- Sistema nervioso (sensibilidad, tacto, equilibrio, reflejos osteotendinosos, etc.).
- Sistema genito-Urinario
- Exploración dermatológica, evaluación de piel, pelo, uñas.

9.2.3.-CONTROL BIOLÓGICO Y ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS ESPECÍFICOS.

Las exploraciones complementarias no deben ser, en sí mismas, los elementos únicos o principales del juicio clínico. El resultado del mismo será función del conjunto de factores que influyen en la calificación respecto a la aptitud del trabajador. Solicitarán los siguientes exámenes:

Análisis de sangre: Los análisis de sangre servirán para poder establecer ciertos parámetros hematológicos y variables bioquímicas.

Parámetros hematológicos:

- Hematíes.
- Hematocrito.
- Hemoglobina.
- Volumen corpuscular medio.
- Hemoglobina corpuscular media.
- Concentración de hemoglobina corpuscular media.
- Plaquetas.
- Volumen plaquetario medio.
- Leucocitos.
- Fórmula y recuento leucocitarios.
- Velocidad de sedimentación (1ª hora).

Parámetros bioquímicos.

- Glucosa.
- Proteínas totales.
- Fosfatasa alcalina.
- Pruebas de función hepática TGO-TGP

- Gammaglutamiltransferasa.
- Bilirrubina total y directa.
- Perfil lipídico (colesterol, triglicéridos, HDL, LDL).
- Urea, creatinina y ácido úrico
- Inmunoglobulinas.

Análisis de orina: Se determinarán los parámetros propios de un examen elemental y microscópico de orina como:

- Densidad
- pH.
- Glucosa.
- Proteínas.
- Cuerpos cetónicos.
- Bilirrubina.
- Urobilinógeno.
- Hematíes.
- Leucocitos.
- Nitritos.

Otras exploraciones: Se solicitará adicionalmente en el examen de ingreso un EKG, espirometría, audiometría y la valoración oftalmológica, y se repetirán en los exámenes periódicos como mínimo a los 5 años o de acuerdo a criterio médico a excepción del control oftalmológico (**examen del cristalino que deberá realizarse anualmente**).

Dada la evidencia que existe en la actualidad, en concordancia al a efecto que las radiaciones ionizantes producen en el material genético celular, sobre todo como parte de los efectos estocásticos, propongo que dentro de estas otras valoraciones se solicite a los candidatos a trabajar con radiaciones ionizantes un **estudio citogenético en linfocitos periféricos para establecer las aberraciones cromosomales que puedan existir**.

Como pudimos apreciar al revisar los fundamentos teóricos, **la realización de los estudios citogenéticos** con la finalidad de determinar aberraciones cromosomales inducidas por genotóxicos, entre los cuales la radiación ionizante ocupa un importante lugar, hace que este tipo de pruebas se conviertan en indicadores biológicos no solo del nivel de exposición, sino también de la afectación o daño a nivel celular en los individuos

expuestos, por lo tanto serán estas pruebas de invaluable valor al evaluar los sistemas de seguridad o protección radiológica y permitirán tomar las decisiones pertinentes en caso de daño o sobreexposición en los trabajadores. Este es un estudio que ha ido abaratando costos y se lo puede realizar en nuestro país en varias instituciones como el IESS (Departamento de Genética) y el Laboratorio de Genética de la Universidad Católica de Quito entre otros.

Lo adecuado sería que todo empleado que va a ingresar a trabajar en ambientes de trabajo donde exista exposición a radiaciones ionizantes se realice una de estas pruebas para tener un resultado que sirva de referencia o línea de base de las afectaciones cromosomales del trabajador contra la cual comparar los futuros resultados.

Este examen se deberá realizar en los chequeos ocupacionales periódicos, en forma anual cuando existan resultados por encima de lo aceptado como normal y cada 2 o 3 años cuando los resultados sean normales. Uno de los puntos claves de estas pruebas es que permiten detectar afectaciones de exposiciones crónicas y de bajas dosis.

Las **determinaciones bioquímicas en sangre** como glucosa, colesterol, y triglicéridos no hace falta que se repitan anualmente, salvo criterio médico.

Además se solicitará una **evaluación psicológica del trabajador o candidato a trabajador**.

9.2.4.-CRITERIOS DE VALORACIÓN EN CASO DE SUPERACIÓN DE LÍMITES DE DOSIS

A los trabajadores expuestos, en los que se supere o se sospeche de superación de los límites de dosis correspondientes se les realizará una **vigilancia sanitaria especial**, que se deberá iniciar lo antes posible y comprenderá lo que se establece en la revisión médica básica más aquellas pruebas adicionales de acuerdo a las circunstancias de la sobreexposición y sus consecuencias.

Si en el curso de la investigación surgen dificultades que cuestionan la información

aportada por el dosímetro en el proceso de asignación de dosis, o bien si no existe información dosimétrica alguna, se insistirá por parte del Servicio de Prevención sobre la idoneidad de utilizar métodos biológicos, a los cuales hicimos referencia en el punto anterior, para obtener información dosimétrica.

9.3.- CONDUCTA A SEGUIR SEGÚN LOS RESULTADOS DE LA VIGILANCIA SANITARIA.

De acuerdo con el resultado de la vigilancia sanitaria, se obtiene una apreciación del estado de salud del trabajador. Pueden existir alteraciones en alguna o varias de las exploraciones, pruebas o análisis realizados y pueden no implicar la presencia de enfermedad o trastorno funcional. Se debe mensurar adecuadamente la anomalía detectada en función de estado general del salud del trabajador para poder definir adecuadamente el criterio médico de aptitud para determinado puesto de trabajo.

Son considerados “Aptos en determinadas condiciones”, aquellos trabajadores que pueden realizar las actividades que implican el riesgo de exposición asociado al puesto de trabajo, siempre que se cumplan las condiciones que, al efecto, se establezcan en base a criterios médicos. A continuación exponemos criterios de aptitud a ser tomados en cuenta a con relación a la exposición laboral a RI.

En relación a la exploración oftalmológica: hay que poner énfasis a la transparencia del cristalino, ya que es conocida su sensibilidad a RI. La evidencia de catarata u opacidad del cristalino no es criterio de inaptitud per se, debiendo comprobarse en estos casos la agudeza visual con la corrección correspondiente. La evaluación médica final de la agudeza visual indicará si dicha anomalía es limitante para su puesto de trabajo.

En relación al examen dermatológico: Deberán valorarse las patologías dérmicas agudas o crónicas, y su posible relación etiológica o complicación al exponerse a RI.

En relación al estudio otorrinolaringológico: Nos permitirá la detección de alteraciones en oídos, nariz y garganta que pudieran complicarse en caso de contaminación local.

En relación al examen del aparato respiratorio: hay que tomar en cuenta como probable motivo de no aptitud la existencia de patología respiratoria con limitación funcional para las actividades a desarrollar en su puesto de trabajo.

En relación al examen del aparato digestivo: la utilidad de esta valoración se establece por la sensibilidad especial del tracto digestivo en casos de contaminación interna. Asimismo, está indicada la evaluación funcional hepática para descartar alteraciones que impliquen reducción en la actividad metabolizadora de desintoxicación en caso de contaminación interna. Si existe riesgo de contaminación interna por ingestión, habrá de conocerse, dentro de lo razonable, que no existen soluciones de continuidad en la barrera epitelial que pudieran favorecer una incorporación al organismo de sustancias radiactivas. En este caso será motivo de no aptitud la existencia de enfermedades inflamatorias crónicas del tracto intestinal. Asimismo, en caso de riesgo de contaminación interna por cualquier vía, la existencia de hepatopatías crónicas o agudas evidentes constituyen un motivo de no aptitud.

En relación al conjunto de parámetros hematológicos: es conocida la gran radiosensibilidad de los órganos hematopoyéticos y el examen nos permitirá una evaluación hematológica general y de los tipos celulares que caracterizan la sangre periférica que puedan estar siendo afectados.

En relación al examen cardiovascular: No existe contraindicación específica. Las anomalías de este examen se considerarán limitantes sólo cuando las características generales del puesto de trabajo así lo indiquen.

En relación con el examen de la función renal y urinaria: Es importante considerar la integridad de la función excretora, de importancia en la eliminación de radionucleidos ante la eventualidad de una contaminación interna. En este caso, serán motivos de inaptitud la insuficiencia renal por nefropatías glomerulares o tubulares evidentes.

En relación con el examen neurológico y evaluación médico-psicológica

Deben investigarse las alteraciones neurológicas que puedan implicar una limitación para

el trabajo a realizar. En relación a la evaluación médico-psicológica, podrán realizarse exploraciones específicas que puedan orientar la aptitud.

En relación con el examen endocrinológico: El examen médico debe incluir la evaluación de las posibles alteraciones endocrinas que impliquen incremento de riesgo en caso de posible contaminación interna (enfermedades tiroideas o de otras glándulas de secreción interna).

En relación con la protección especial durante el embarazo y la lactancia: apenas sea comunicado el estado de gestación, la prioridad de protección para la madre y el feto será prioritaria, y se deberá asegurar que las condiciones de trabajo de la mujer embarazada serán tales que la dosis equivalente al feto sea tan baja como sea razonablemente posible, de manera que no se supere de 1 mSv desde la comunicación del embarazo hasta el final del mismo. Igualmente desde que la mujer informe su estado de lactancia no se le podrá asignar trabajos que supongan un riesgo significativo de contaminación radiactiva.

En relación con la edad: por preceptos legales en nuestro país no deben los menores de 18 años realizar tareas donde exista exposición laboral a RI. A nivel internacional existe un límite de dosis efectiva para personas en formación y estudiantes de entre 16 y 18 años el cual será de 6 mSv por año oficial

9.4.- LEGISLACIÓN APLICABLE

9.4.1.-DECISIÓN 584. INSTRUMENTO ANDINO DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO. SUSTITUTIVO DE LA DECISIÓN 547. RO: 160 DEL 02 DE SEP-2003

CAPITULO III

GESTION DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN LOS CENTROS DE TRABAJO OBLIGACIONES DE LOS EMPLEADORES:

ARTICULO 11.- En todo lugar de trabajo se deberán tomar las medidas tendientes a disminuir los riesgos laborales. Estas medidas deberán basarse para el logro de este

objetivo en directrices sobre sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo y su entorno como responsabilidad social y empresarial.

ARTÍCULO 14.- los empleadores serán responsables de que los trabajadores se sometan a los exámenes médicos de preempleo, periódicos y de retiro, acorde con los riesgos a que estén expuestos en sus labores. Tales exámenes serán practicados preferentemente por médicos especialistas en salud ocupacional y no implicara ningún costo para los trabajadores y ala medida de lo posible, se realizarán durante la jornada de trabajo.

CAPITULO IV

DE LOS DERECHOS Y OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES

ARTICULO 22.- Los trabajadores tienen derecho a conocer los resultados de los exámenes médicos, de laboratorio o estudios especiales practicados con ocasión de la relación laboral. Asimismo tienen derecho a la confidencialidad de dichos resultados, limitándose el conocimiento de los mismos al personal médico, sin que puedan ser usados con fines discriminatorios ni en su perjuicio. Solo podrá facilitarse al empleador información relativa a su estado de salud, cuando el trabajador preste su consentimiento expreso.

9.4.2.-DECRETO EJECUTIVO 2393.

REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE LABORAL.

ARTÍCULO 11. OBLIGACIONES DE LOS EMPLEADORES

6.- Efectuar reconocimientos médicos periódicos de los trabajadores en actividades peligrosas, y especialmente cuando sufran dolencias o defectos físicos o se encuentren en estado o situaciones que no responden a las exigencias psicofísicas de los respectivos puestos de trabajo.

ARTICULO 62. RADIACIONES IONIZANTES

2.- Se prohíbe a los menores de 18 años y mujeres gestantes realizar cualquier tipo de trabajo sometido a riesgos de exposición a radiaciones ionizantes.

4.- Las dosis máximas permisibles de radiaciones ionizantes son las indicadas por el Reglamento de Seguridad Radiológica.

5.- Todos los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes deben ser informados de los riesgos que entrañan para su salud y de las precauciones que deban adoptarse.

8.- Toda persona que ingrese a un puesto de trabajo sometido a riesgo de radiaciones ionizantes se someterá a un examen médico apropiado. Periódicamente los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes deberán someterse a exámenes médicos específicos. También se efectuarán reconocimientos médicos cuando sufran una sobredosis a estas radiaciones.

10.- Reformado por el Art.42 del DE 4217. Publicado en el RO: 997 del 10 de agosto de 1988. El servicio médico de empresa practicará la evaluación médica de preempleo a las personas que vayan a someterse a radiación ionizante y a aquellas que se encuentran laborando se les sujetará a reconocimientos médicos por lo menos anualmente para controlar oportunamente los efectos nocivos de este tipo de riesgo.

A los trabajadores en quienes se ha diagnosticado enfermedad radioinducida se les realiza una evaluación médica específica, utilizando los recursos nacionales o la ayuda internacional.

11.- Cuando por examen médico del trabajador expuesto a radiación ionizante se sospeche la absorción de cualquiera de sus órganos o tejidos de la dosis máxima, se lo trasladará a otra ocupación exenta del riesgo.

9.4.3.-RESOLUCIÓN 741 DEL COMITÉ EJECUTIVO DEL IESS

REGLAMENTO GENERAL DEL SEGURO DE RIESGOS DEL TRABAJO

CAPITULO I

DE LOS ACCIDENTES DE TRABAJO Y ENFERMEDADES PROFESIONALES

Artículo 4: Se consideran agentes específicos que entrañan riesgo de enfermedad profesional a los siguientes:

I.-Agentes físicos. Numeral 2: Radiaciones Ionizantes: Rayos X, Radium, e isótopos radiactivos.

Artículo 6.- Al considerar a las enfermedades profesionales se asocia a las radiaciones ionizantes con afecciones en los órganos de los sentidos (sordera, oftalmías, cataratas etc.), con dermatosis profesionales, con afecciones carcinomatosas y precancerosas de la

piel y de los tejidos y con el cáncer pulmonar y de las vías respiratorias. Además se relaciona con Leucemia y Aplasia Medular.

9.4.4.-DECRETO SUPREMO 1099 DEL 11 DE JULIO DE 1958. PUBLICADO EN EL RO N: 569:

Que crea la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, como dependencia de la Presidencia de la Republica, y se establecen entre otras cosas, como atribuciones de la misma el que sea el organismo que dirigirá y controlará todas las actividades relacionadas al uso de RI.

9.4.5.-LEY DE LA COMISIÓN ECUATORIANA DE ENERGÍA ATÓMICA:

Publicada en el RO N: 798 del 23 de marzo de 1979, en donde en el artículo 10 , **inciso d**, dice : “ que la CEEA, asesorará a los organismos del sector público y privado en el uso pacífico de la energía atómica, prevención de sus riesgos, contaminación e higiene ambiental, y vigilar para que durante el desarrollo de sus actividades se cumplan con las disposiciones legales y reglamentarias pertinentes.

Además en el **inciso g** dice “que la CEEA, reglamentará lo concerniente a seguridad nuclear y protección radiológica, particularmente en lo relacionado con la producción, adquisición, transporte, importación, exportación, transferencia, utilización de materiales fértiles, fisionables y radiactivos, de los radioisótopos importados o producidos en el país, y de las máquinas generadoras de radiación ionizante.

9.4.6.-REGLAMENTO DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA:

Publicado en el RO N: 891 del 08 de agosto de 1979 donde entre otras cosas se exponen en la exposición de los motivos: que la exposición a RI es un serio problema de salud en el Ecuador.

Además se establecen las definiciones relacionadas.

En el TITULO PRIMERO, CAPITULO I Límites de Dosis. Art. I: se definen las dosis máximas permitidas para personas ocupacionalmente expuestas para irradiación externa e interna.

Además se establece en el Art. 2, la dosis máxima permitida para el público en general.

En el Art. 3: se prohíbe el trabajo para menores de 18 años en áreas de radiación.

En el CAPITULO II, de Procedimientos Preventivos.

Art. 5: Control de Dosimetría Personal, dice: Todo licenciataria está obligado al uso de detectores de control de dosimetría personal adecuados, como dosímetros de bolsillo, dosímetros de película o dosímetros termoluminiscentes. La portación de estos dosímetros es obligatoria dentro de un área restringida.

TITULO SÉPTIMO

CAPITULO IV

Control del Estado de Salud del Personal que trabaja con Radiaciones

Art.112- Exámenes médicos del Personal- El personal directamente involucrado en trabajos con radiaciones ionizantes se sujetará a las siguientes disposiciones:

- a) Toda persona que trabaje por primera vez en el campo de las radiaciones, cualquiera que sean sus responsabilidades, tiene que someterse a un examen médico adecuado antes de iniciar sus tareas, practicado por un profesional del departamento de Riesgos del Trabajo del IESS. Este será requisito previo para la concesión de la licencia por parte de la CEEA;
- b) El personal que se encuentra laborando en el campo de las radiaciones se someterá anualmente a un examen médico;
- c) En el caso de trabajadores que ya estén laborando en el campo de las radiaciones, a la fecha de promulgación de este reglamento, los exámenes médicos necesarios para obtener la licencia correspondiente serán realizados por el IESS;
- d) Dados los problemas médicos particulares que plantea el trabajo con radiaciones en el caso de las mujeres en edad de concebir, deberán adoptarse todas las precauciones para garantizar que no reciban dosis sobre las máximas permisibles; y
- e) Se prohíbe que el personal femenino en estado de gravidez, reconocido por

diagnóstico médico, esté en contacto con radiación. Si tal es el caso, esa persona será destinada a labores que no sean de contacto directo con las radiaciones ionizantes.

9.4.7.-RESOLUCIÓN 172

IESS-INSTITUTO ECUATORIANO DE SEGURIDAD SOCIAL.

REGLAMENTO DE SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO 12VA

EDICIÓN, QUITO 1992

CAPITULO V

DE LAS RADIACIONES

ART 21.- El empresario está obligado a dar al personal de trabajadores, las instrucciones necesarias de tipo administrativo, técnico-medico, sobre los riesgos que implica el trabajo en equipos productores de radiaciones, indicando los métodos seguros que se deben adoptar en cada trabajo.

ART 22.- El patrono proporcionará todo el equipo protector necesario y adoptará las medidas más convenientes para asegurar su utilización por los trabajadores que realizan labores profesionales y por todas las personas que aún ocasionalmente puedan encontrarse expuestas a las radiaciones.

ART 23.- El IESS, por intermedio de los técnicos en higiene industrial podrá efectuar las evaluaciones y el control de los aparatos que constituyan las fuentes de las radiaciones; siendo obligación del patrono proveer cualquier información relativa a las normas o detalle del trabajo.

ART 24.- El IESS por intermedio de su departamento especializado efectuará la evaluación de las dosis máximas de radiación externas e internas en las personas expuestas, y determinará con sujeción a las normas nacionales e internacionales la asimilación máxima permisible.

ART 25.- Los trabajadores que vayan a estar expuestos a radiaciones, deberán ser sometidos a examen médico de pre-empleo y a aquellos que se encuentren laborando, se les sujetará a reconocimientos médicos periódicos para controlar oportunamente los efectos nocivos de este tipo de trabajo.

9.5.-RESULTADOS:

Espero que mi propuesta de modelo de vigilancia de la salud sirva como referente para aquellas empresas que deban gestionar el riesgo de las radiaciones ionizantes en su proceso laboral y se convierta en un esfuerzo que dé lineamientos específicos para precautelar la salud de los trabajadores y prevenir los efectos de la exposición al riesgo mencionado.

Llama la atención que a pesar de que en nuestro país el número de personas expuestas a RI es importante, sin embargo, el proceso de vigilancia médica específica se queda en lineamientos generales al indicar que los trabajadores expuestos deben realizarse controles médicos **apropiados** y no se especifica en ningún referente legal a qué se refiere con el término apropiado.

Se exige pruebas de laboratorio que tratan de determinar efectos sobre las células sanguíneas, específicamente sobre los linfocitos y sobre las plaquetas, que ya traducen afectación de la médula ósea, y que tendrían relación a exposiciones a dosis que superan los límites permisibles.

En mi propuesta además de insistir en ciertos exámenes físicos específicos, propongo que los estudios citogenéticos realizados en linfocitos periféricos de poblaciones de trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes se convierta en un examen rutinario ya que permite evaluar el nivel de exposición y es además un indicador del efecto deletéreo de la radiación en el material genético.

La exposición humana a agentes genotóxicos es monitoreada por pruebas como el control citogenético, para determinar el daño cromosómico que se traduce como el efecto inicial o temprano de procesos patológicos o manifestaciones de enfermedad. Por lo tanto estas pruebas pueden servir como indicadores biológicos tempranos en la prevención de efectos adversos para la salud.

9.6.- DISCUSIÓN:

El presente modelo de vigilancia médica pretende llenar un vacío existente en nuestra reglamentación, ya que los lineamientos relativos, son muy generales y dejan de alguna manera desprotegido a un colectivo laboral que esta expuesto ocupacionalmente a radiaciones ionizantes.

La legislación ecuatoriana específica para los aspectos relacionados a radiaciones ionizantes se mantienen sin modificación desde 1979 lo que hace que en algunos aspectos no este actualizada.

Dada la magnitud del riesgo y la afectación para la salud de los trabajadores expuestos, sobre todo en lo relacionado a los efectos estocásticos o probabilísticos, en los que las leucemias son unas de las afecciones más importantes, hace necesario que se realicen esfuerzos para poder mantener la salud y evitar la enfermedad profesional que es el objetivo fundamental de la vigilancia médica o la vigilancia de la salud. En este esfuerzo planteamos la realización de pruebas citogenéticas en células sanguíneas de sangre periférica para evaluar el grado de aberraciones o alteraciones cromosomales que según evidencia científica estarían en relación con la con la exposición a radiaciones ionizantes y podrían ser consideradas como una forma biológica de evaluar los niveles de exposición.

9.7.- CONCLUSIONES:

Al finalizar este modelo de vigilancia médico específico para radiaciones ionizantes y luego de revisar como se ha venido llevando la misma por parte de los organismos encargados de precautelar la salud de los trabajadores ocupacionalmente expuestos podemos concluir que realmente en nuestro país este es un aspecto que no se ha manejado de forma adecuada ya que ni la CEEA ni el Departamento de Riesgos del Trabajo han podido establecer un protocolo de vigilancia específica que sea aplicable en todos los sectores en los que profesionalmente pueda existir trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes; esto se debe a que el marco legal no se ha actualizado desde hace mucho tiempo y permanece sin variación hasta la actualidad a pesar de los esfuerzos de ciertos sectores involucrados para que se actualice, sobre todo en reglamentar de una manera mas

clara los aspectos de control del estado de salud del personal que trabaja con radiaciones, para que cumpla con objetivo preventivista.

Creo que el control biológico mediante las pruebas que hemos recomendado en nuestra tesis, se pueden aplicar definitivamente en poblaciones de individuos con exposiciones a genotóxicos, entre los cuales constan las radiaciones ionizantes, con la finalidad de determinar su exposición, detectar sus efectos, y poder tomar acciones preventivas cuando existen alteraciones en el material genético. Los linfocitos, que son las células adecuadas para la realización de las pruebas citogenéticas pueden acumular lesiones debidas a exposiciones repetidas y prolongadas lo que nos permite detectar daños a exposiciones de bajas dosis y de larga data.

Un incremento en la frecuencia de aberraciones cromosomales o alteraciones como intercambio de cromátides hermanas puede usarse para establecer en una población determinada el daño resultante de exposición y estimar el potencial riesgo para la salud.

9-8.- RECOMENDACIONES:

Creo pertinente que se deba aunar esfuerzos por parte de todos los sectores relacionados con el control y prevención del riesgo que conllevan las radiaciones ionizantes, para gestionar una actualización del marco legal donde se establezca de una manera clara las responsabilidades de los organismos de control y donde se definan protocolos de vigilancia de la salud específica para los trabajadores que laboran con radiaciones ionizantes, que sea aplicable en todo el país y que ponga énfasis en el registro de los antecedentes laborales en una adecuada exploración física en exámenes que evalúen adecuadamente las alteraciones de la salud y finalmente donde se consideren criterios de acción al interpretar los resultados obtenidos.

Es un imperativo actualizar el marco legal, ya que la ley de Seguridad radiológica que es la que regula todos los aspectos relacionados a radiaciones ionizantes, fue promulgada en el año 1979.

La Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica, fue en el mes de Marzo de 2008, convertida en la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares dependiente del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables.

Es de esperar que este cambio se traduzca en mejorar y actualizar ese marco legal, que finalmente impacte en cuidado de la salud de la población de trabajadores laboralmente expuestos a radiaciones ionizantes.

BIBLIOGRAFIA

1. R. Gomero Cuadra, Palomino B, C. Llap Y. Los programas de vigilancia médica en los centros de trabajo. Rev. Médica Herediana 17 n2.Lima abr/jun 2006.
2. H. Baquero P./G.Guevara P./M.Giraldo S.7LM.Osorio S. Aberraciones cromosómicas en trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. Rev.Ciencias de Salud. Enero/junio/2004.Vol. 2 n: 001.U.del Rosario. Bogotá Colombia.
- 3.- OIT. Repertorio de recomendaciones prácticas. Protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes. Ginebra .1987.
- 4.- LaDou J. Diagnóstico y tratamiento en medicina laboral y ambiental. Cuarta edición México DF: El Manual Moderno; 2007.
5. - Keyes C, Grzywacz J. Health as a complete state: The added value in work performance and healthcare costs. JOEM 2005; 47 (5): 523-531.
6. - OPS. Módulos de principios de la epidemiología para el control de las enfermedades. Unidad IV. Vigilancia en salud pública. 2nd edition. Washington DC: OPS; 2002. p. 4-18.
- 7.- García M. La vigilancia de la salud de los trabajadores. Mapfre Seguridad 1998; 69(1):83-87.
- 8.- Rescalvo F. Manual de prevención de riesgos laborales. Madrid: IBERMUTUAMUR; 1998. p. 54-57.
9. -Gil F. Tratado de Medicina del Trabajo. Barcelona: Masson; 2005. p. 851-892.
- 10.- Ministerio de Energía y Minas del Perú. Reglamento de Seguridad e Higiene Minera DS N° 046-2001. Lima: Ministerio de Energía y Minas del Perú; 2001.
- 11.- Organización Internacional del Trabajo -OIT.Convenio N° 161 sobre servicios de salud en el trabajo. Ginebra: OIT; 1985.
- 12.- Rothstein M. A proposed revision of the ACOEM.Code of Ethics. JOEM 1997; 39(7): 616-622.
- 13.- OIT (Organización Internacional del Trabajo) Radiation Protection Recommendations, R114, ILO (OIT) ,1960
- 14.- Ministerio de Sanidad y Consumo (1988).Protección Radiológica. Partes I, II, III y IV. Madrid: Colección Sanidad Ambiental.
- 15.- Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo, Oficina Internacional del Trabajo, junto con Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Madrid, 1998.

- 16.- Consejo de Seguridad Nuclear. Guía de Seguridad 7.4 (Rev2), Bases para la Vigilancia Médica de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes. Madrid, 25 de junio de 1998.
- 17.- Fariñas Reinoso AT, Sierra Martínez, Metodología para el Diseño de Sistemas de Vigilancia, Reporte Técnico de Vigilancia ISSN 1028-4338 .Vol. 11N: 1. 2006
- 18.- Comisión de Salud Pública, Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud, Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica, Radiaciones Ionizantes. Junta de Extremadura.
- 19.- Ministerio de Trabajo y Empleo. Notas Técnicas de Prevención. Vigilancia de la salud de los trabajadores. NTP: 002.Ecuador 2004.
20. - Ministerio de Trabajo e Inmigración. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España .NPT 354: Control Biológico de la exposición a genotóxicos: técnicas citogenéticas.
- 21.- Cantos G, López R. Plomo, Genotoxicidad y Salud Humana. Editorial Universidad Central. Quito. 1999.
- 22.- Cantos G. texto de Genética. Universidad central del Ecuador. Facultad de Filosofía. Quito. 2005.
- 23.-Cantos G. La Genética Toxicológica. Revista Cátedra N: 3. Diciembre 2007 Universidad Central del Ecuador. Quito. Pag 16-21
24. - Maurice Tubiana. Radiation risk in perspective: radiation-induced cancer among cancer risk. Radiant Environment Biophys (2000) 39:3-16
25. - 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
26. - Donald A. Pierce and Dale L. Preston. Radiation-related Cancer Risk at low Doses among Atomic Bomb Survivors. Radiation Research 2000; (154): 178 – 186.
27. - Dominique Laurier and Denis Bard. Epidemiologic studies of Leukemia among Persons under 25 years of age Living Near Nuclear Sites. Epidemiologic Reviews 1999; Vol.21, N° 2: 188-206.
28. - Schull WJ. Late radiation responses in man: current evaluation from results from Hiroshima and Nagasaki. Adv Space Res 1983; 3(8): 231-9.
29. - Cologne JB, Preston DL. Longevity of atomic-bomb survivors. Lancet 2000 Jul 22; 356(9226):303-7.
30. - International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Vol.21. N°1-3 of Annals of the

ICPR. Oxford, England: Pergamon Press, 1991. (ICRP publication n°. 60)

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

32. - Molyneux M.K. The physical environment. Occupational Health Practice. 2ª Ed. By R.S.F. Schilling; 1981. Pag. 403-451.

33. - Arthur C. Upton. Radiation Hormesis. Data and Interpretations. Critical Reviews in Toxicology 2001, 31 (4&5):681-695.

34.- 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.

35.- Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Guía de Seguridad 7.5 del CSN: Actuaciones a seguir en caso de personas que hayan sufrido un accidente radiológico. Madrid, abril de 1989

36.- Boletín Oficial del Estado. Ley 39/1999, de 5 de noviembre, para promover la conciliación de la vida familiar y laboral de las personas trabajadoras (Capítulo III). BOE n° 266, 6/11/1999.

37.-Ruiz Frutos C, García A, Delclós Jordi, Benavides F. Salud Laboral. Conceptos y técnicas para la prevención de riesgos laborales .Tercera Edición. Masson 2007.Barcelona –España.

38.-Alonso L. Ibarra, Ignacio y otros. (1989) Los residuos radiactivos. Madrid: MOPU, 1989.

39.-Sangro, P. y Jenks, W. (1994) Enciclopedia de Medicina, Higiene y Seguridad del Trabajo. Española Copyright de la Oficina Internacional del Trabajo.

40.-Pardos, José Luis. (1984) Los vertidos radiactivos. Madrid: Editorial Tecnos.

41.-Cortez Díaz .José María. Seguridad e Higiene del Trabajo. Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales. Tercera edición. Editorial Tébar. Madrid.España.2007.

42.- Enciclopedia de Prevención de Riesgos LABORALES, Tomo I. ediciones Ceac. España -Perú

43.- Mateos Beato, Alfredo. Conceptos de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Diccionario de Seguridad y Salud Laboral. Segunda edición. Editorial Lux Nova. España

ANEXOS

ANEXO A:

MODELO DE CERTIFICACIÓN MÉDICA DE APTITUD

Modelo de certificación médica de aptitud

Espacio para el membrete del Servicio de Prevención que realiza la vigilancia de la Salud.

Dirección completa y teléfono de contacto

En fecha _____, Se ha realizado el examen de salud:

De Inicio

Periódico

Especial tras superación de límites de dosis,

Tras ausencia prolongada al trabajo,

Tras asignación de tareas con nuevos riesgos,

Otro examen considerado por el Servicio de Prevención
(Especificar) _____

De _____, categorizado como trabajador (A) (B) expuesto a riesgo de radiaciones ionizantes en empresa/servicio _____

La conclusión del mismo, considerando la información sanitaria obtenida y la laboral disponible respecto al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo, permite calificarle de:

APTO

NO APTO

APTO EN DETERMINADAS CONDICIONES.

En caso de Apto en determinadas condiciones, especificar condiciones de aptitud:

1. -----
2. -----
3. -----

Nombre del Médico

Número de Colegio Médico

Firma del Médico del Trabajo

ANEXO B

DEFINICIONES Y CONCEPTOS DE INTERES

Contaminación radiactiva: 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).

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.

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

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.

Dosis absorbida: Energía depositada por la radiación ionizante en la unidad de masa del medio atravesado. Es un valor físico cuya unidad es el Gray (Gy).

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 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.

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: $1 \text{ Sv.} = 100 \text{ rem}$.

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.

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 continua: 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 total: Suma de las exposiciones interna y externa.

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

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.

Límite inferior de actividad detectable (LID): Cantidad mínima de actividad que es posible medir con el método analítico empleado.

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 radiactivo: 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 rad (rd) = 0,01 J/Kg. La unidad usada actualmente, en el Sistema Internacional de Unidades es el Gray: 1 Gray = 100 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.

Radiactividad: 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 computarizada, 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 rem = 0,01 J/Kg. En el Sistema Internacional de Unidades ha sido sustituido por el Sievert: 1 Sv = 100 rem.

Residuo radiactivo: 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.

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, se 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 el historial médico y dosimétrico y en el historial 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 radiactiva: Cualquier material que contiene uno o varios radionucleidos cuya actividad deba tenerse en cuenta con fines de protección radiológica. (Ver “Material radiactivo”).

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.

Zona controlada: Área 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: Área 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.

Categoría A Trabajadores de instalaciones Nucleares, Radiactivas y otros lugares de trabajos con Radiaciones Ionizantes. Vigilancia Sanitaria Obligatoria.

Categoría B Vigilancia sanitaria siguiendo los principios generales de la prevención de riesgos

ANEXO C

RESUMEN DE TRABAJOS DE ESTUDIOS CITOGENETICOS EN TRABAJADORES EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES

FOLLOW UP STUDY OF CHROMOSOME ABERRATIONS IN LYMPHOCYTES IN HOSPITAL WORKERS OCCUPATIONALLY EXPOSED TO LOW LEVELS OF IONIZING RADIATION. CESAR PAZ Y MIÑO, PAOLA E LEONE, MIGUEL CHAVEZ, GABRIELA BUSTAMANTE, AUGUSTA CORDOVA, SARA GUTIERREZ, MA. SERENA PEÑAHERRERA, MA EUGENIA SANCHEZ. MUTATION RESEARCH 335 (1995) 245-251.

Es un estudio donde se analiza y se realiza seguimiento de los efectos citogenéticos relacionados a niveles bajos de radiaciones ionizantes, rayos X en trabajadores hospitalarios, en cultivos celulares de linfocitos de sangre periférica a las 72 horas. La meta del estudio es evaluar los efectos citogenéticos tardíos que la exposición prolongada a bajas dosis de RI de origen artificial produce en los cromosomas de trabajadores hospitalarios con un intervalo de 12 meses entre el primer y el segundo estudio.

Este estudio focaliza los efectos tardíos de la exposición prolongada a bajas dosis de RI, que provocan en los cromosomas analizando cultivos celulares a las 72 horas procurando analizar la segunda y la tercera división mitótica.

Se tomaron muestras de sangre periférica y se analizaron cultivos de los linfocitos mantenidos por 72 h. Las aberraciones cromosomales fueron observadas en la segunda y tercera divisiones mitóticas.

Los efectos tardíos de la exposición a bajas dosis de radiación ionizante resultan ser de interés ya que sus efectos no se manifiestan de inmediato.

Con dosis altas tanto como 100 mSv / año, se ha relacionado a la presencia de alteraciones cromosómicas como la presencia de anillos y de cromosomas dicéntricos. La RI inclusive en bajas dosis pueden intervenir en la formación de radicales libres muy activos que provocan alteraciones cromosómicas relacionadas al complejo de reparación.

Se acepta que la exposición a bajas dosis de radiación ionizante puede inducir el apareamiento de cáncer, enfermedades genéticas y otros desordenes.

Los datos muestran que alteraciones cromosomales inestables como gaps y breaks, y otras alteraciones como hipodiploides y hiperdiploides son un buen parámetro para evaluar los efectos biológicos (en cultivos celulares de 72 horas) de la RI en bajas dosis por largos periodos de tiempo, cuando existe ausencia de alteraciones clásicas como anillos o núcleos dicéntricos.

Un seguimiento en individuos expuestos a bajas dosis de RI, como una vez al año es un eficiente método para evaluar los reales efectos de los rayos x.

Comparando las 2 últimas evaluaciones citogenéticas podemos establecer un rango individual de alteraciones.

Si existe cambio en este rango en futuros estudios, debería considerarse como una señal de alerta para seguimientos más estrechos.

TELOMERIC ASSOCIATIONS IN CIGARETTE SMOKERS EXPOSED TO LOW LEVELS OF X-RAYS
MUTATION RESEARCH 490 (2001) 77-80
CESAR PAZ Y MIÑO, J. CHRISTIAN PÉREZ, VERÓNICA DAVALOS, MA EUGENIA SÁNCHEZ, PAOLA E LEONE.

Se sugiere que la unión de los cromosomas a través de sus telómeros, fenómeno conocido como asociación telomérica predispone a la célula a inestabilidad genética o es el paso intermedio en la progresión hacia la inestabilidad cromosomal.

Entonces bajos niveles de radiación ionizante producirán un incremento en la frecuencia de aberraciones cromosómicas en individuos ocupacionalmente expuestos. Por el contrario los fumadores de cigarrillos no presentan una consistente elevación en la frecuencia de aberraciones cromosomales.

Como resultados en los grupos expuestos apareció un alto porcentaje de asociación telomérica (TA) en contraste con el grupo control.

Este alto porcentaje de metafases con TA encontrados en los grupos expuestos, con contraste con el grupo control indica que los rayos X y el fumar cigarrillos incrementa la frecuencia de TA.

Los hallazgos sugieren la posibilidad de evaluar poblaciones expuestas a mutágenos a través de técnicas convencionales de citogenética de linfocitos de sangre periférica, adicionando análisis de asociación telomérica para evaluar el fenómeno de inestabilidad genética de las células.

ABERRACIONES CROMOSOMICAS EN LOS TRABAJADORES EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES. 2004
HERNANDO BAQUERO PULIDO, GONZALO GUEVARA PARDO, MARCELA GIRALDO SUAREZ, LUZ MARINA OSORIO SOTO.
REVISTA CIENCIAS DE LA SALUD, ENERO-JUNIO, AÑO/ VOL 2, NÚMERO 001
UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
BOGOTA COLOMBIA
PP: 8-14

Tienen relevante importancia todas las acciones que vayan en pos de prevenir el cáncer y disminuir su prevalencia.

Este artículo establece como objetivo describir si existen aberraciones cromosómicas en los trabajadores de la salud ocupacionalmente expuestos a bajas dosis de radiación ionizante y explora la posibilidad de utilizar estas pruebas como métodos de seguimiento biológico dentro de un sistema de vigilancia médica.

Se realizan estudios en cultivos celulares de linfocitos de sangre periférica en empleados expuestos y se los relacionan con cancerígenos comunes, antecedentes familiares y antecedentes personales.

Conclusiones: los hallazgos sugieren que la exposición a bajas dosis de RI (internacionalmente permitidas) pueden ocasionar daños cromosómicos y se relacionan directamente con el tiempo de exposición y la sensibilidad individual más no con la cantidad de radiación recibida (dosis).

Se propone que los trabajadores expuestos deban tener un seguimiento biológico adicional al seguimiento que se realiza con dosimetría.

Los efectos biológicos de las RI se han estudiado desde que aparecieron y sobre manera después de que se propuso su uso bélico.

Actualmente la principal herramienta de protección de los trabajadores expuestos en forma crónica a bajas dosis de RI, es la prevención en donde se plantea al seguimiento biológico como parte importante de la vigilancia epidemiológica al igual que la medición de la dosimetría.

Este estudio por pruebas citogenéticas quiere identificar la presencia o no de aberraciones cromosómicas en los cultivos celulares de linfocitos de sangre periférica en trabajadores de salud laboralmente expuestos.

Cuando se analiza los resultados, y se correlaciona el tiempo de exposición con el número de aberraciones, se encuentra un aumento del número de aberraciones entre el primero y el décimo año de exposición que disminuye entre el decimoprimer y el vigésimo años y que vuelve a incrementarse entre los veintiuno y los treinta años de exposición.

Este comportamiento sugiere un incremento del daño cromosomal al inicio de la exposición, que disminuye con el tiempo probablemente debido a un proceso de mejora del mecanismo de reparación celular (y adaptación a la exposición, como lo

describen algunos estudios).

Estos mecanismos de reparación y de adaptación a la exposición tienden a disminuir con el tiempo, lo que correspondería a envejecimiento celular con disminución de los mecanismos de reparación celular y ocasionada por el tiempo prolongado de exposición. Además no se ve una relación directa entre la dosis recibida promedio y el número de aberraciones lo que supone que los daños dependerán más del tiempo de exposición y de la sensibilidad individual antes que de la dosis recibida.

Es importante que dentro del grupo de estudio dentro de la vigilancia por dosimetría TLD, ninguno de los participantes en el estudio sobrepasó los límites permisibles, lo que hace necesario plantear la vigilancia de los expuestos con una prueba citogenética para detectar daños precoces y no dejar la vigilancia únicamente por dosimetría personal.

Los efectos de la exposición a bajas dosis de RI, están dadas por sus efectos estocásticos, pero que definitivamente aumentan con tiempos prolongados de exposición, lo que implica que se debe aumentar la vigilancia sobre estos trabajadores no solo confiando en la dosimetría personal, sino agregando las técnicas de citogenética y aumentando la cultura del autocuidado en la correcta aplicación de las normas de autoprotección, sin olvidar los seguimientos ambientales y los controles de ingeniería.

