

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y JURÍDICAS**  
**CARRERA DE DERECHO**



**“FUNDAMENTOS JURÍDICOS PARA LA PROTECCIÓN  
LEGAL DE LAS PERSONAS QUE TRABAJAN CON  
RADIACIÓN IONIZANTE”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE LICENCIADO EN DERECHO**

**Postulante: CRISTIAN EDGAR LANZA NOLASCO**

**Tutor: Dr. ALDO ESPINOZA IRUSTA**

La Paz - Bolivia

2008

### **1.- DEDICATORIA:**

Este trabajo de investigación va dedicado a Dios por darme la sapiencia, fortaleza, y constancia para llegar al final de esta investigación y a los seres que mas amo en este mundo, a mi Sr. Padre Dr. Carlos Edgar Lanza Borja ilustre Jurista Boliviano fallecido hace mas de 14 años, a mi madre la Sra. Miriam Nolasco de Lanza por todo su apoyo incondicional en estos años de vida, a mis adorables hijos Christian Sergio e Ignacio Lanza Gutiérrez por toda la paciencia que me han brindado a lo largo mis estudios y de la elaboración de este trabajo.

**AGRADECIMIENTO:**

Agradecer en primer lugar a Dios, a mis Srs. Catedráticos por la formación que me brindaron en estos años de esfuerzo, a mis Hermanos Marlene Liliana, Lucio David, Ronald Lucio, Carlos Alberto y Luis Fernando por la confianza que depositaron en mi persona, al Dr. Enrique Díaz Romero por su apoyo jurídico incondicional.

**INDICE**

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	1
INTRODUCCIÓN.....	6
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
PROBLEMATIZACIÓN.....	12
DELIMITACIÓN DEL TEMA DE TESIS.....	15
DELIMITACIÓN TEMÁTICA.....	15
DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	15
DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	16
FUNDAMENTACIÓN E IMPORTANCIA DEL TEMA DE LA TESIS..	16
OBJETIVOS DEL TEMA DE TESIS.....	17
OBJETIVOS GENERALES.....	17
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	17
MARCO DE REFERENCIA.....	18
MARCO HISTÓRICO.....	18
HISTORIA DE LOS RAYOS X.....	18
MARCO TEÓRICO.....	19
REACCIONES Y LESIONES DEBIDAS A LA RADIACIÓN.....	22
DETERMINANTES DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS.....	39
EFFECTOS CLINICAMENTE OBSERVADOS.....	42
FISIOPATOLOGÍA.....	48
MARCO DE RELACIÓN TÉCNICA.....	49
MARCO JURÍDICO.....	99
LEGISLACION COMPARADA.....	115
HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	131
MÉTODOS Y TÉCNICAS A UTILIZAR EN LA TESIS.....	131
RECOMENDACIONES.....	132
CONCLUSIONES.....	132
BIBLIOGRAFIA DEL TEMA ENVENENAMIENTO POR RADIACIÓN..	133
BIBLIOGRAFIA DEL TEMA DE RADIATIVIDAD.....	133
BIBLIOGRAFIA SOBRE LA LEGISLACION BOLIVIANA.....	135

BIBLIOGRAFIA SOBRE LA LEGISLACION COMPARADA..... 133  
BIBLIOGRAFIA SOBRE LAS ALTERACIONES GENETICAS..... 134

## **1.- INTRODUCCIÓN.-**

En los centros médicos donde existe personal que opera con radiaciones ionizantes, podemos observar que estos carecen de seguridad, tanto en los ambientes como en los cuidados que estos deben otorgar para evitar la contaminación de Radiación Ionizante en sus empleados, y el personal que se encuentra colindante al centro de Radiaciones, como ser los Laboratorios Clínicos, Gabinetes de Fisioterapia, Enfermería y otros.

Es verdad que por normas del I.B.T.E.N. (Instituto Boliviano y Tecnológico Nuclear) existen disposiciones para que los centros médicos tengan un mínimo de protección ambiental y profesional, como se demostrara, la mayoría de estos centros carecen con la autorización del mencionado instituto, principalmente en aquellos que realizan su apertura en forma unipersonal, es decir en forma privada, sin tener el menor de los cuidados básicos para desarrollar esta profesión ni el cuidado de las instalaciones donde funcionarían los equipos que producen Radiación Ionizante, como ser centro de Estudios Radiológicos, Centros de Tomografía, Centros de Resonancia Magnética, Centro de estudios Nucleares como la Centellografía por Tc<sup>99</sup>.

Tampoco existe una normativa específica para la protección legal de estos funcionarios, pues estos están bajo el régimen de la Ley General del Trabajo y del Código de Seguridad Social, pero en forma general, sin contemplar que el riesgo profesional es mayor al que indican las mencionadas reglamentaciones legales, pues no observan que tanto los técnicos, médicos, y auxiliares de estas ramas ponen en riesgo extremo su salud e incluso la de sus descendientes.

Tampoco existe una normativa de protección y cuidado de los funcionarios en las áreas Radiológicas, ni en los ambientes donde se trabaja con estos elementos tan nocivos para la salud y el ambiente, pese a que el I.B.T.E.N. tiene una normativa interna para la apertura de Centros de Imagenología en Bolivia, del control de los funcionarios que trabajan en ellos, como ser el proporcionar de equipos para el control de la radiación denominados dosímetros, de proporcionar las correspondientes licencias, pero en ninguno de sus reglamentos indica o señala la protección a la persona como tal, como ser

los beneficios por radiación, una jubilación radiológica por los años de servicio. Debemos mencionar que en La Paz son contadas las instituciones tanto privadas como estatales que cumplen con estos requisitos, sin tomar - por parte de los empleadores - en cuenta que están atentando contra la vida de sus empleados, pues la radiación no mata rápido, más bien termina con la vida de los funcionarios que trabajan con Radiaciones Ionizantes lentamente y con impedimentos parciales, totales y en algunos casos de por vida, lo cual impide a la persona que trabaja en este medio, poder realizar actividades posteriores a la patología ocasionada por la Radiación Ionizante, que principalmente alteran a órganos nobles del cuerpo.

En nuestro medio es alarmante verificar que existen Técnicos en Radiología de sexo femenino, ya que son estas las más susceptibles a contraer patologías a causa de estas Radiaciones, estas patologías alteran tanto a los órganos de la reproducción ( Útero, Trompas Uterinas, Ovarios), al ADN, a los cromosomas, a sistema sanguíneo.

Entonces debe elaborarse minuciosamente una normativa especial para la protección de estos funcionarios que dan su vida por la salud de la población y que no son reconocidos por ningún poder estatal, y menos por las organizaciones que están al cuidado de estos funcionarios, como ser el I.B.T.E.N., Ministerio de Salud, Ministerio del Trabajo, S.E.D.E.S., O.M.S, O.P.S. y otros.

Pese a que el I.B.T.E.N. periódicamente esta organizando cursos de capacitación para que el Trabajador en este campo, este adecuadamente formado para saber cuales son los riesgos que conlleva esta profesión, y así de esta manera evitar los riesgos posteriores, pero en nuestra sociedad son muy pocos los profesionales que acatan estas disposiciones del mencionado Instituto, ya que por la poca información, difusión y bajos salarios que no están acorde con el riesgo que representa esta profesión, los profesionales no tienen llegada a estos cursos, y solamente acuden los profesionales que trabajan en instituciones reconocidas o del Estado, o que cuentan con los recursos económicos suficientes.

## **2.- DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.-**

La presente investigación esta dirigida, a todas las personas que trabajan en el medio de las Radiaciones Ionizantes, a la falta de Protección Legal de los profesionales en esta rama de la medicina, para esto se tomo en cuenta la escasez de normas legales que protejan a los profesionales en esta área, si bien hay normativa legal, que de alguna manera llegan a una protección leve, no se especifica los riesgos profesionales por causa de la Radiación Ionizante, ni tampoco contempla las indemnizaciones, desahucios, y todo lo que corresponde para esta rama de la medicina, pues si bien la Ley General de Trabajo, La Constitución Política del Estado, El Código de Seguridad Social, los reglamentos del I.B.T.E.N. enmarcan los riesgos profesionales, estos no son bien definidos ni específicos, es por ello que como Diseño de la Investigación se reviso, los cuerpos legales antes mencionados, la calidad de los centros que emiten Radiación Ionizante, el tipo de Seguridad que los mismos tienen, la falta de responsabilidad por parte de los empleadores, si se cumple con lo que el I.B.T.E.N. señala por parte de los profesionales para su propia seguridad, si los ambientes están debidamente protegidos tanto interna como externamente a las salas de Radiación, si contienen información al público para que estos conozcan de los peligros que conlleva la exposición a estas Radiaciones, si los Directores de Hospitales, Clínicas, Centros de Radiación, Instituciones Estatales emanan disposiciones para prevenir estos peligros.

También se elaboró estadísticas, las cuales nos demuestra que existe un bajo porcentaje de Centros Radiológicos que cumplen con disposiciones del I.B.T.E.N. que es el único Instituto autorizado por el Estado para controlar la seguridad en centros de Radiaciones.

## **3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

En Bolivia, la mayoría de los centros de salud donde trabaja personal que opera con radiación ionizante carecen de seguridad tanto en los ambientes como en los cuidados que estos deben otorgar para evitar la contaminación radioactiva de sus empleados.

El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (I.B.T.E.N.), ha emitido normas para que los centros médicos adopten un mínimo de protección ambiental y profesional en esta área. Sin embargo, la mayoría de los Centros carecen de autorización del I.B.T.E.N. para realizar sus actividades, principalmente aquellos que realizan su trabajo en forma unipersonal, es decir, en forma privada. Por lo tanto, no toman en cuenta los cuidados básicos para desarrollar esta profesión, hecho que a la larga conlleva a alteraciones orgánicas funcionales en el organismo de los profesionales, que en algunos casos derivan en resultados fatales como la muerte.

En Bolivia existe un alto porcentaje de técnicos radiólogos de sexo femenino, quienes son más susceptibles de contraer patologías a causa de la radiación, incluso pueden transmitir enfermedades congénitas a sus descendientes como la focomelia total o unilateral, síndrome de Down, ceguera congénita, labios Leporinos, entre otras.



FOCOMELIA



FOCOMELIA POR RADIACIÓN



LABIO LEPORINO

SINDROME DE DOWN O TRISOMIA 21

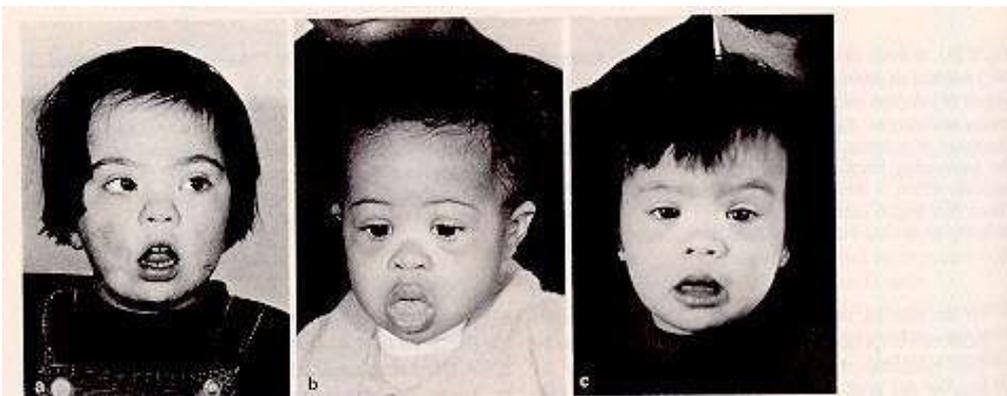
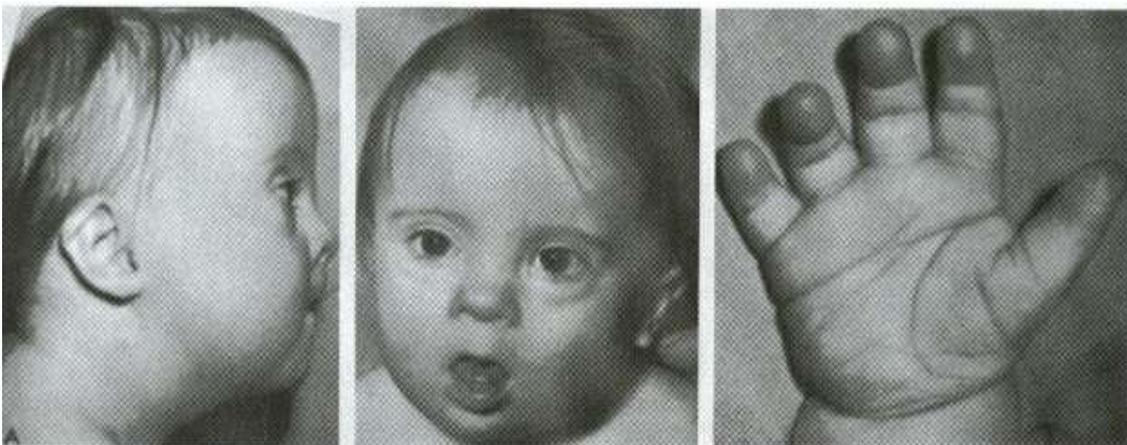


Fig. 2.27 a-c. Children with Down's syndrome. a European, b Afro-American, c Oriental-European. The common features of Down's syndrome are more impressive than the racial differences. Courtesy of Dr. T.M. Schroeder-Kurth

- Resultados combinados de 11 estudios demostraron las siguientes frecuencias relativas de tipos particulares de alteraciones cromosómicas del síndrome de Down:
  - Trisomia 21 completa 94,3%
  - Trisomia 21/mosaicismo normal 2,4%
  - Casos de translocación (D/G = G/G) 3,3%
  
- **Resultados mas recientes demostraron la relación entre edades materna y nacimiento de de niños con S. Down, como puede ser visualizado en la Tabla inferior**

<b>EDADES MATERNA</b>	<b>OCURRENCIA DEL SÍNDROME DE DOWN</b>
<b>15 A 29 AÑOS</b>	1/1500
<b>30 a 34 AÑOS</b>	1/800
<b>35 a 39 AÑOS</b>	1/270
<b>40 a 44 AÑOS</b>	1/100
<b>ENCIMA DE LOS 45 AÑOS</b>	1/50

Entonces si tenemos una norma emitida por el I.B.T.E.N, como es que no existe una Ley que ampare a estos funcionarios, que como se menciono están continuamente expuestos a radiaciones que son letales para su salud, la de su entorno familiar, y la de sus descendientes, es mas se estaría vulnerando el Art. 6º del Código Civil, y el Art. 7º inc. a) de nuestra Constitución Política del Estado, también debemos indicar varios aspectos por los cuales la identificación del problema es necesaria para el desempeño de la siguiente investigación, entre ellos mencionamos:

**DE LA CALIDAD DE LOS CENTROS QUE EMITEN RADIACIÓN IONIZANTE Y SI SE CUMPLE CON LO QUE EL I.B.T.E.N. SEÑALA.** - Es verdad que en la ciudad de La Paz existen varios Centros de atención en Radiación Ionizante, esto por la necesidad que la población tiene de tener resultados que coadyuven a los resultados de los galenos en medicina, pero que hay de la calidad que estos centro pueden brindar a los profesionales que trabajan en estas áreas de la medicina?, La calidad según se pudo evidenciar es en cierta manera

deficiente pues la mayoría de los centros que se encuentra de manera privada, carece de los elementos básicos para que la calidad de la Radiación Ionizante evite un daño irreversible en los profesionales, pues en un porcentaje elevado no poseen la protección que el I.B.T.E.N. señala en su Art. 1o. Que dice: Queda prohibido llevar a cabo prácticas que impliquen o puedan potencialmente implicar exposición a las radiaciones ionizantes, a menos que estén licenciadas o autorizadas por la Autoridad Nacional Competente, el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear.

A su vez el I.B.T.E.N. es la única Institución que esta autorizada por el Estado a otorgar licencias para que estos centros de Radiación Ionizante brinde seguridad al personal tal cual lo señala el Art. 3o. Que dice: Se otorgarán licencias para los diferentes usos de radiaciones ionizantes, como por ejemplo uso de radiaciones para medir gramaje, espesores o nivel en procesos industriales, radiografía industrial; radiodiagnóstico médico; teleterapia superficial, convencional o de alta energía; uso de radioisótopos en diagnóstico o terapia médica; uso de radiaciones o radioisótopos en investigación; fabricación de dispositivos destinados a generar radiaciones ionizantes o que incorporen expresamente materiales radiactivos. Los reactores nucleares e instalaciones del ciclo de combustible nuclear se regirán por un reglamento especial a dictarse oportunamente.

**LOS AMBIENTES ESTÁN DEBIDAMENTE PROTEGIDOS TANTO INTERNA COMO EXTERNAMENTE A LAS SALAS DE RADIACIÓN.-** En el Reglamento N° 10 del I.B.T.E.N. claramente señala que la protección de las personas que trabajan en este medio tan nocivo deberá informar a las autoridades del centro medico o a las autoridades del Instituto para su legal protección así lo señala en Art. 2o. Que dice: “Cuando un trabajador realice su labor con radiaciones ionizantes en distintas instalaciones deberá informar de este hecho al responsable de la instalación y a la Autoridad Nacional Competente. Esta última establecerá un sistema que permita acumular la dosis que el trabajador recibe con fines de verificar el cumplimiento de los límites aplicables”. Al mencionar que establecerá un sistema que permita acumular la dosis, se refiere a que las autoridades Nacionales están en la obligación de otorgar los dosímetros ( equipo

para la medición de radiación en las personas y ambientes ) para que no se exceda de los límites permitidos y así evitar que el personal y los ambientes sobrepasen los límites permitidos y se vuelva en un peligro para aquellas personas que están en el medio o las que se someten a estudios por medio de la Radiación Ionizante. Estos dosímetros serán proporcionados por la institución (I.B.T.EN.) como lo señala el Art.1º. del Reglamento 10º que se refiere a la Dosimetría Personal y dice: Es obligatorio el uso de dosímetros individuales para todo el personal considerado profesionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.

SI LOS CENTROS DONDE SE EMITE ESTA RADIACIÓN IONIZANTE CONTIENEN INFORMACIÓN AL PÚBLICO PARA QUE ESTOS CONOZCAN DE LOS PELIGROS QUE CONLLEVA LA EXPOSICIÓN A ESTAS RADIACIONES.- En la mayoría de los centros que se estudio se pudo evidenciar que carece de una información al público que asiste a estas instituciones, es decir que no tiene una información para que las personas conozcan del peligro que se tiene al someterse a la Radiación Ionizante, al menos en las personas que están en periodo de gestación, o que tiene artefactos que pueden atraer mas fácilmente cantidades excesivas de esta Radiación como por ejemplo los marcapasos, esta información según el Director del I.B.T.E.N. (Ing. Miranda) debe estar expuesta en lugares de fácil acceso y visibilidad al público asistente a los centros de Radiación, como por ejemplo los pasillos, salas de espera, consultorios de atención en emergencias.

#### **4. PROBLEMATIZACIÓN**

¿Tienen las personas que trabajan en el ámbito de las radiaciones ionizantes en Bolivia una legislación adecuada y propia?

Si bien la normativa legal que rige en Bolivia da una protección leve a los miembros que trabajan en el ámbito de las Radiaciones Ionizantes, no se sumerge a la protección en fondo de estos profesionales, ya que solamente están en una forma global, y se refieren a estos profesionales como trabajadores regidos por la Ley General del Trabajo el mismo que en su Art. 79º menciona de los riesgos profesionales que a su tenor dice: “Toda empresa

o establecimiento de trabajo esta obligado a pagar a los empleado, obreros o aprendices que ocupe, las indemnizaciones previstas a continuación, por los accidentes o enfermedades profesionales ocurridas por razón del trabajo exista o no culpa o negligencia por parte suya o por parte del trabajados. Esta obligación rige, aunque el trabajador sirva bajo dependencia de contratista de que se valga el patrono para la explotación de su industria, salvo estipulación en contrario” si analizamos este articulo nos menciona de manera superficial el riesgo profesional que los trabajadores en Radiaciones Ionizantes tienen, pues en ninguna parte hace referencia a los riesgos profesionales ocasionados por la Radiación y solamente nos muestra un riesgo profesional generalizado solo habla de la relación que tiene el empleador con el empleado o viceversa, en el del mismo cuerpo legal en su Título VII, Cap. I arts.79º al 84º, de las remuneraciones económicas en caso de enfermedades por trabajo en el Cap. II, arts. 87º al 92º, de las bajas medicas por enfermedades, del Seguro Social obligatorio que es de manera general en el Título VIII, Cáp. Único, arts. 97º al 98º, de los riesgos profesionales también de manera general en su D.R de la Ley General del Trabajo Título V, Cáp. I arts. 80º al 84º., en la <sup>2</sup>Constitución Política del Estado en el Título Segundo Régimen Social en sus arts. 156º 157º y 158º señala la protección que el Estado da al trabajador pero de una manera muy global, sin especificar los trabajos de alto riesgo como es la radiación ionizante y de alguna manera muy superficial también

El Código de Seguridad Social, no toma en cuenta el riesgo profesional extremo al que están expuestos los Médicos, Técnicos y Auxiliares Radiólogos, incluyendo sus descendientes. Así mismo el código de Seguridad social en el Art. 1º bien define a esta rama como un conjunto de normas que tiende a proteger la salud del capital humano del país, la continuidad de sus medios de subsistencia, la aplicación de medidas adecuadas para la rehabilitación de las personad inutilizadas y la concesión de los medios necesarios para el mejoramiento de las condiciones de vida del grupo familiar. En el Art. 3º del mismo cuerpo legal dice: El Seguro Social tiene por objeto proteger a los trabajadores y sus familiares en los casos siguientes: a) Enfermedad, b) Maternidad, c) **Riesgo profesional**, d) **Invalidez**, e) Vejez y f) **Muerte**.

---

En el Título I Sección A – Enfermedad en el Art. 14º dice: “En caso de enfermedad, reconocida por los servicios médicos de la Caja, el asegurado y los beneficiarios tienen derecho a las prestaciones en especie que dichos servicios consideren para la curación, o sea a la necesaria asistencia médica y dental, general y especializada, quirúrgica, hospitalaria y al suministro de medicamentos que requiera el estado de la enfermedad”. Esta disposición solo habla de la parte general del empleado no así de la parte específica de los miembros de radiación, que por su naturaleza del trabajo es de mayor riesgo, para la salud tanto física como mental, ya que las consecuencias que deja esta profesión son irreversibles.

En el Capítulo II Sección A en su Art. 38 nos habla de los subsidios del trabajo o de enfermedad profesional: “En caso de incapacidad temporal, por accidente del trabajo o enfermedad profesional, el asegurado tiene derecho, a partir del cuarto día subsiguiente del accidente o del reconocimiento de la enfermedad profesional, a un subsidio diario que se pague mientras dure la asistencia sanitaria o se declare la incapacidad permanente”. En este artículo solo habla de las eventualidades de los accidentes de trabajo o de la enfermedad profesional sin tomar en cuenta que la radiación es un mal para el que trabaja, dentro de este campo muy letal, esto en relación al tiempo y fisiología del trabajador.

En el Art. 39 del mismo cuerpo legal nos dice: “La incapacidad permanente total es la que como consecuencia del accidente del trabajo o enfermedad profesional, imposibilita definitivamente al asegurado efectuar cualquier trabajo remunerado”. Este es uno de los pocos artículos dentro de las normativas vigentes que apoyan al trabajador en el campo de la radiación, por que considera que la incapacidad puede ser total, ya que el daño orgánico es a largo plazo y sobre todo es mortal y lo imposibilita de acceder a un trabajo remunerado

¿Dichas personas que trabajan en radiaciones ionizantes, tienen en Bolivia una seguridad jurídica que les lleve a una jubilación digna y adecuada y sobretodo que los prevenga de los efectos nocivos de la radiación?

La Normativa legal revisada no hace énfasis en la seguridad Jurídica que los miembros que trabajan en Radiaciones Ionizantes deben tener, excepto aquella

que esta emanada por el I.B.T.E.N. en su Reglamento no. 9 Control medico del personal expuesto a radiación ionizante, que en el marco Jurídico se ampliara el mencionado Reglamento, y que es la única normativa vigente que da una seguridad y protección jurídica a los miembros de estas ramas.

¿Cómo afecta la radiación a las personas que trabajan con estos medios de diagnóstico, y que leyes actualmente los amparan?

La Radiación Ionizante es una de las pocas áreas de la medicina que es realmente nociva para la salud de los que trabajan en este campo, pues no solo afectan a la salud orgánica si no también a la salud mental y psicológica de estas personas, como ejemplo de las alteraciones que estos miembros pueden mencionamos las siguientes: (1) células linfoides. (2) gónadas. (3) células proliferativas de la medula ósea. (4) células epiteliales del intestino. (5) epidermis. (6) hepatocitos. (7) epitelios de los alvéolos pulmonares y de los conductos biliares. (8) células epiteliales renales. (9) células endoteliales (pleura y peritoneo) (10) células nerviosas. (11) células óseas (12) tejido muscular y conectivo, así como el comportamiento por la absorción de la Radiación frente a la sociedad en general, cambio de carácter.

El personal que trabaja con equipos de radiación, es protegida jurídicamente en el marco de la ley del trabajo y de la seguridad social?

No, pues estas dos Normativas solamente hacen referencia de manera general a las relaciones obrero patronal que puedan tener estos miembros, es decir si bien están amparados dentro de la legislación del Trabajo, pero no especifica las relaciones que deberían tener en el marco de la radiación Ionizante, lo mismo sucede con el Código de Seguridad Social, solamente hace referencia de manera general respecto a estas personas que trabajan en Radiaciones Ionizantes.

## **5. DELIMITACIÓN DEL TEMA DE TESIS**

### **5.1. DELIMITACIÓN TEMÁTICA.**

Se propone esta temática, por la falta de protección legal que tienen los trabajadores en el ámbito de la radiación ionizante, ya que no existe una normativa específica que hable de la protección específica que deben tener estas personas, excepto la que emana el Instituto Boliviano Tecnológico

Nuclear (I.B.T.E.N.) que es específicamente relacionado con lo referido a la Radiación Ionizante y la protección del personal en Radiación Ionizante, pero que no ha sido elevada a rango de Ley, y solamente es una normativa institucional.

## **5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.**

Se efectuará un corte histórico de investigación, análisis y resultados a partir del año 2.000 hasta el año 2.006, bajo parámetros comparativos de evolución histórica de las personas que trabajan con radiación ionizante y los procesos de seguridad, a fin de determinar la evolución y el impacto de la contaminación Radiactiva Ionizante en los funcionarios que trabajan en este campo de la medicina, en base a las normas del Instituto Boliviano y Tecnológico Nuclear.

## **5.3. DELIMITACIÓN ESPACIAL.**

Se considerarán los centros médicos donde existe personal que opera con radiaciones ionizantes ubicados en la jurisdicción de la ciudad de La Paz, particularmente los centros médicos de Miraflores, Sopocachi, y la Zona Sur de la ciudad de La Paz, donde la fuente laboral en el área de radiaciones ionizantes es más fuerte, y existen más centros de atención radiológica tanto privados como estatales como universo espacial de la investigación, de manera que las proyecciones de los resultados se extiendan a todo el territorio nacional

## **6. FUNDAMENTACIÓN E IMPORTANCIA DEL TEMA DE LA TESIS**

En los centros médicos donde existe personal que opera con radiaciones, podemos observar que estos carecen de seguridad, tanto en los ambientes como en los cuidados que estos deben otorgar para evitar la contaminación radioactiva en sus empleados.

Es verdad que por normas del I.B.T.E.N. (Instituto Boliviano y Tecnológico Nuclear) existen normativas para que los centros médicos tengan, un mínimo de protección ambiental y profesional, como se demostrara, la mayoría de estos centros carecen con la autorización del mencionado Instituto, principalmente en aquellos que realizan su apertura en forma unipersonal, es

decir en forma privada, sin tener el menor de los cuidados básicos para desarrollar esta profesión, que a la larga conllevan a alteraciones orgánico – funcionales en el organismo de estos profesionales, que en algunos casos termino con resultados fatales como es la muerte.

Tampoco existe una normativa específica para la protección legal de estos funcionarios, pues están normados bajo la Ley General del Trabajo y del Código de Seguridad Social, pero en forma general, sin contemplar que el riesgo profesional es mayor al que indican las mencionadas reglamentaciones legales, pues no observan que tanto los Técnicos, médicos, y auxiliares que trabajan en radiaciones ionizantes ponen en riesgo extremo su salud e incluso la de sus descendientes, como se demostrara en el presente trabajo.

Tampoco existe una normativa de protección y cuidado de los funcionarios en las áreas de radiaciones ionizantes, ni en los ambientes donde se trabaja con estos elementos tan nocivos para la salud y el ambiente, pese a que el I.B.T.E.N. tiene una normativa interna para la apertura de Centros de Imagenología en Bolivia, son contadas las instituciones tanto privadas como estatales que cumplen con estos requisitos, sin tomar - por parte de los empleadores - en cuenta que están atentando contra la vida de sus empleados, pues la radiación ionizante no mata rápido, mas bien termina con la vida de estos funcionarios lentamente y con impedimentos totales y de por vida, lo cual impide - a la persona que trabaja en este medio - poder realizar actividades posteriores a la patología radiológica, que principalmente alteran a órganos nobles del cuerpo.

En nuestro medio es alarmante como existen Técnicos Radiológicos de sexo femenino, pues son estas las mas susceptibles a contraer patologías a causa de la radiación, incluso pueden transmitir alteraciones genéticas a sus descendientes, como la focomelia total o unilateral, síndrome de Down, ceguera congénita, y otras.

Entonces, debe realizarse minuciosamente una normativa especial para la protección de estos funcionarios que dan su vida por la salud de la población, y que no son reconocidos por ningún poder Estatal, y menos por las organizaciones que están al cuidado de estos funcionarios, como ser el

I.B.T.E.N., Ministerio de Salud, Ministerio del Trabajo, S.E.D.E.S., O.M.S, O.P.S., UNICEF, Naciones Unidas

## **7. OBJETIVOS DEL TEMA DE TESIS**

### **7.1. OBJETIVOS GENERALES.**

- Teniendo en cuenta que no existe una norma jurídica específica destinada a la protección de los profesionales que se encuentran expuestos a radiaciones ionizantes es necesario implementar un instrumento legal destinado a llenar este vacío jurídico

### **7.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.**

- 1.- Análisis de los instrumentos legales existentes en Bolivia
- 2.- Análisis de la legislación comparada
- 3.- Elaborar un proyecto de normatización para el programa de protección radiológica destinado al personal que esta expuesto a las radiaciones ionizantes

## **8. MARCO DE REFERENCIA**

### **8.1. MARCO HISTÓRICO**

#### **HISTORIA DE LOS RAYOS X**

Las bases que llevaron al descubrimiento de los rayos X datan del siglo XVII cuando nacieron las ciencias del magnetismo y de la electricidad.

1785 GUILLERMO MORGAN, miembro de la ROYAL SOCIETY de Londres, presentó ante esta sociedad una comunicación en la cual describe los experimentos que había hecho sobre fenómenos producidos por una descarga eléctrica en el interior de un tubo de vidrio. Habla que cuando no hay aire, y el vacío es lo mas perfecto posible, no puede pasar ninguna descarga eléctrica, pero al entrar una muy pequeña cantidad de aire, el vidrio brilla con un color verde, Morgan, sin saberlo había producido rayos X y su sencillo aparato representaba el primer tubo de rayos X.

Las manos de la Sra. ROENTGEN no tenían nada en especial, y sin embargo se han convertido en las más famosas de la HISTORIA DE LA CIENCIA. Todo

gracias a que en 1895 su esposo WILHELM CONRAD ROENTGEN, se le ocurrió practicar en ellas un audaz experimento. Las expuso durante largo tiempo a la radiación de un tubo de CROOKES y colocó debajo una placa de fotografía. El resultado fue la primera radiografía de la historia.

Suele decirse que el descubrimiento de los rayos X, como otros muchos avances de la ciencia se produjeron de manera casual, y en cierto modo es así. WILHELM CONRAD ROENTGEN (1845-1923), estudiaba el comportamiento de los electrones emitidos por un tubo de Crookes, (llamado así en honor a su inventor, el químico y físico británico WILLIAM CROOKES especie de ampolla de cristal cerrada casi totalmente al vacío que produce una serie de relámpagos violáceos. Un día, descubrió que estos destellos eran capaces de iluminar unos frascos de sales de bario colocados en el mismo laboratorio, lo extraordinario era que el tubo estaba envuelto en papel negro y entre el y los frascos había varias planchas de madera y unos gruesos libros.

Aquellas radiaciones habían atravesado todos los obstáculos como por arte de magia Así decidió patentar su revolucionario invento: LOS RAYOS X, por cierto, él eligió éste nombre porque no tenía idea de la naturaleza exacta de lo que acaba de descubrir.

Al primitivo tubo de CROOKES luego lo sustituyó el llamado tubo de COOLIDGE en el que el vacío es total. Dentro de él los electrones liberados por un cátodo golpean contra un obstáculo que puede ser una placa de tungsteno y producen una temperatura de varios millones de grados además de la consabida radiación

Sin embargo, se informó que el profesor WILHELM KOENIG en Franksfurth, realizó catorce radiografías dentales en febrero de 1896, y que en el mismo mes, el doctor OTTO WALKOFF le pidió a su colega y amigo FRITDRICH GUSEL, un profesor de Química y Física, le tomara una radiografía de sus molares.

En Francia la fosforescencia había sido estudiada con entusiasmo por ALEXANDRE-EDMOND BECQUEREK, un científico fallecido 5 años antes del descubrimiento de ROENTGEN, y cuyo hijo HENRRI estaba presente en la academia durante el anuncio de este descubrimiento. HENRRI BECQUEREL,

quien contaba con un doctorado de Soborna, y era director del MUSEO DE HISTORIA NATURAL EN PARIS

Al escuchar las noticias de los rayos X, decidió investigar de inmediato si los cuerpos fosforescentes emitirán rayos similares. Su idea era averiguar si la fosforescencia de tubo de rayos catódicos de Roentgen sería la fuente emisora de rayos X. En la sesión siguiente de la academia Becquerel ya tenía resultados que presentar. Usando “sales cristalinas de uranio, que se sabía poseían propiedades fosforescentes”, dispuestas con laminillas para formar una capa delgada y transparente, se envuelve una capa fotográfica con hojas de papel negro muy gruesas de modo que la capa no se vea por una exposición al sol, durante el día. Se pone sobre la hoja de papel en el exterior, una placa de la sustancia fosforescente y se expone durante un día. Se pone sobre la hoja de papel, en el exterior, una placa de sustancia fosforescente y se expone al sol varias horas. Se debe concluir de estos experimentos, que las sustancias fosforescentes en cuestión emiten radiaciones que atraviesan el papel opaco a la luz y reducen las sales de la plata.” Pasada una semana después concluyó el segundo reporte a la Academia, proponiendo “Una hipótesis que se presenta de manera natural al espíritu sería suponer que éstas radiaciones, cuyos efectos tiene gran analogía con los efectos producidos por las radiaciones estudiadas por los Sres. LENARD Y ROENTGEN, serían radiaciones invisibles emitidas por fosforescencia” Los experimentos que YO hago en éste momento podrán aportar alguna aclaración sobre este nuevo tipo de fenómeno.

BECQUEREL había descubierto la radioactividad, pero su explicación estaba incorrecta.

EDMUND KELLS ; 1899 CIRUJANO DENTISTA de Nueva Orleans, fue el primero en verificar si un conducto radicular había sido obturado y el que tomó la primera radiografía dental en los Estados Unidos logra disminuir el tiempo de exposición. No quiso experimentar en ningún colaborador haciéndolo en él mismo, por lo que perdió una mano, siguió tratando de mejorar el tiempo de exposición llegando así a perder la otra mano y después se suicidó.

Durante decenios de años se practicó la radiografía en forma desordenada, y sin medidas de seguridad. En el curso de los primeros años de experiencia, los

numerosos radiólogos perdieron sus manos por ello, lo que demostró los efectos perversos de la radiación.

Unos meses después del descubrimiento de los rayos X se crearon los primeros tubos de rayos X con finalidad médica y más tarde en la guerra de Sudán de 1897, se utilizaron los primeros sistemas de visualización portátil

Uno de los pioneros de la radiación médica fue ANTONIE BECLERE, médico francés que llegó a describir “ESTA VÍA ME PARECIÓ COMO EL CAMINO DE LA TIERRA PROMETIDA”

En esta época BECLERE no paró de estudiar, practicar y publicar el resultado de sus investigaciones. En poco tiempo creó el servicio de enseñanza Radiológica y sin embargo durante décadas de radiología, se utilizó como un mero complemento de diagnóstico con aplicaciones muy limitadas.

Aun así, los manipuladores de las nuevas máquinas se dieron cuenta muy pronto de que las radiaciones de aquellos rayos mágicos actuaban sobre las células, destruyéndolas. Pero incluso a este inconveniente se le halló inmediatamente utilidad; ya en 1904 se registraron 33 casos de cáncer en piel y uno de cáncer de ovario curado por los rayos X.

Hubo dos mejoras muy notables, por un lado, la considerable mejora de los reportes de imágenes fotográficas con emulsiones y materiales más sensibles. Por otro, en los años sesenta la invención del llamado intensificador de imagen que permitía registrar por computadora las informaciones enviadas por rayos X, así el radiólogo podía recibir directamente las imágenes sobre una pantalla como la de la Tv y obtuvo varias vistas de gran calidad con una radiación reducida a la décima parte necesaria para una placa.

Uno de los últimos avances es el de la llamada radiografía intervencionista. Esta técnica permite al médico en directo, es decir sin abandonar la sala quirúrgica.

El ESCANER invento revolucionario de la historia de las observaciones radiológicas. La gran limitación de las placas de la radiografía es que ofrecen una visión bidimensional de un objeto tridimensional. El escáner basado en los rayos X ofrece una visión tridimensional, la impresión del rayo no es recogida por una placa sensible ó un amplificador de brillantes, sino por un detector fotoeléctrico que transforma directamente la energía X en una

corriente eléctrica. De éste modo se limitan las radiaciones, la adquisición de la imagen de la pantalla no necesita sino algunos segundos.

En el escáner los detectores fotoeléctricos son de pequeñas dimensiones y, por lo tanto captan imágenes de áreas reducidas aunque en capas sucesivas, como las finas rebanadas de jamón. Pero se necesita una reconstrucción informática, el número de capas debe ser mayor y el tiempo de exposición a los rayos aumenta por otro lado. Además el paciente puede moverse durante la operación y la imagen reconstruida pierde precisión y así la imagen final nos gratifica produciendo imágenes nunca vistas y permite abrir la mágica puerta del mundo de tres dimensiones.

WALEED S. HADDAD, físico del LAWRENCE LIVE LABORATORY de CALIFORNIA, inventó el tomógrafo de rayos X de ultra alta revolución que mezcla un tubo de baja radiación X, con un microscopio de rayos X, su aparato puede distinguir dos puntos que se sitúen a solo 0.000001 centímetros con él, los investigadores pretenden reducir la TERCERA DIMENSIÓN, la historia vital de una célula del esperma humano.

En 1930 empieza la TOMOGRAFÍA EN FRANCIA con VOCAGE.

En 1950 se descubre el intensificador de imágenes y la automatización.

En 1958 el uso médico de los ultrasonidos empieza su aplicación en ginecología y obstetricia.

En los 60's se ha desarrollado el ESCANER; es un estudio de la absorción de un haz de rayos mediante ordenador. HOUNSFIELD uno de los investigadores recibió el premio NOBEL.

Ha sido la primera gran aplicación de la informática en la radiología.

Mas recientemente ha aparecido la RESONANCIA NUCLEAR MAGNETICA (RNM) que parece revolucionar de nuevo la imagen diagnostica. Las imágenes obtenidas mediante la utilización de campos magnéticos potentes son extremadamente precisas y no parecen producir ningún riesgo al paciente.

Aunque no es RAYO X es lo más nuevo en ayuda para diagnostico.

## **8.2. MARCO TEÓRICO**

La radiología ha experimentado avances tecnológicos, aplicaciones clínicas y especialmente conceptos teóricos cada vez mas amplias desde que **Roentgen** descubrió los Rayos X en el año de 1895, siendo la primera persona en someterse a este tipo de estudios su esposa Madame Curie, quien expuso a la radiación sus manos para este propósito. El refinamiento progresivo de las radiografías convencionales y el desarrollo de modalidades de imágenes más refinadas como la ultrasonografía (Ecografía), la Tomografía computarizada (T.A.C.), y las Imágenes de Resonancia Magnética (IRM) han permitido que la radiografía surja como uno de los campos más estimulantes e interesantes en la medicina. Un conocimiento operativo de los principios de la radiografías, es una herramienta diagnostica poderosa que permite traducir la información de una imagen en un diagnóstico diferencial específico, que después pueda utilizarse para tratar a pacientes. La radiología es un campo único por que tiene aplicaciones en toda especialidad y subespecialidad de la medicina tanto clínica como forense, y los estudios de imágenes son valorados por todos los profesionales de la atención a la salud: médicos, médicos forenses, estudiantes de medicina, asistentes de médicos o enfermeras. La especialidad permea todos los campos, y se analizan todos los estudios de radiología en reuniones, en conferencias, en consultorios médicos y en exámenes.

Por medio de la Radiación Ionizante, se pueden lograr estudios exitosos, como es el caso de la Radiación Intraoperatoria, en el campo de la medicina legal o forense, se puede llegar a comprobar el grado de compromiso que la persona sufrió ante un accidente, o de que una persona falleció, cuanto fue afectado un órgano, o el trayecto de una bala, la localización específica de la entrada de un arma corto-punzante, el grado de traumatismo óseo, si se llego a una fractura, fisura, a determinar el grado de traumatismos abdominale.

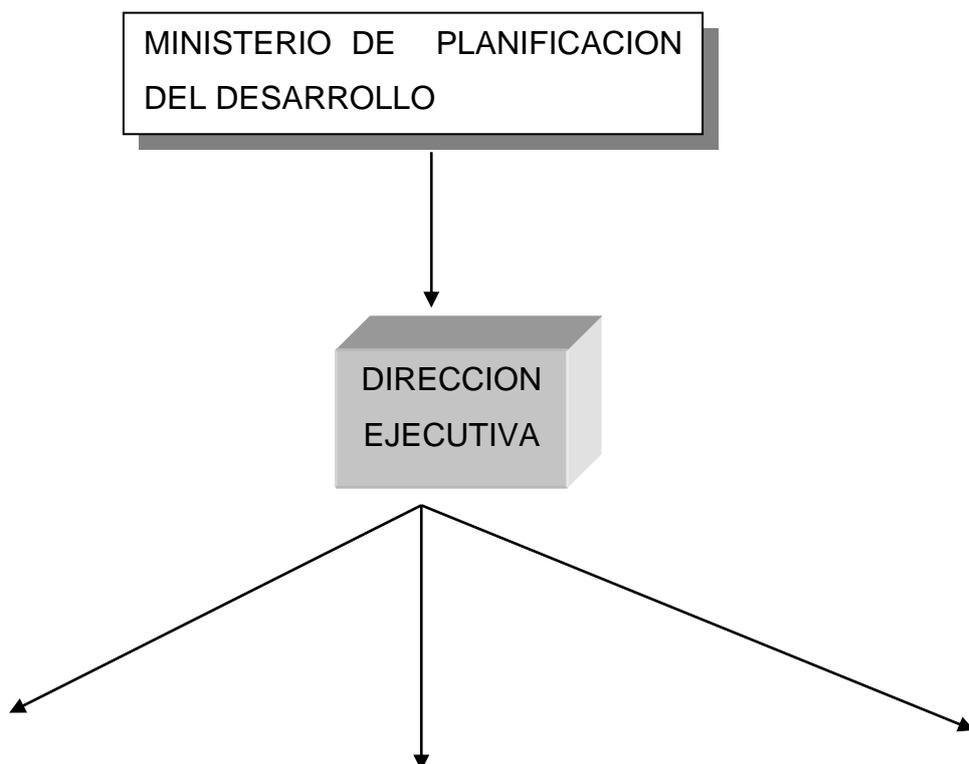
En nuestro país, existe una Institucion que esta encargada de la capacitación, protección de los medios en que se van desarrollando los profesionales en el campo de la Radiación Ionizante, nos referimos al Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear, mas conocida como I.B.T.E.N., El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear (IBTEN) fue creado por Decreto Supremo No.

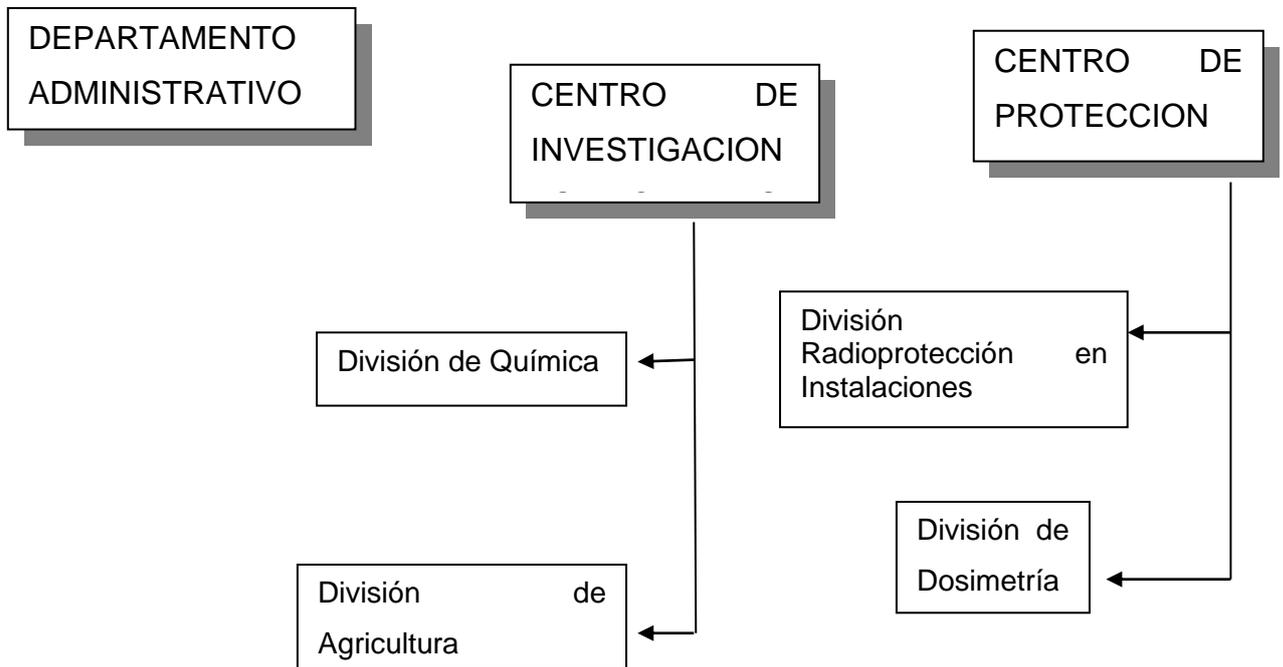
19583, del 3 de junio de 1983, bajo dependencia de la Presidencia de la República, como Institución Científica Técnica Descentralizada y con personería Jurídica y patrimonio propio, autonomía administrativa y financiera. Se constituye en el máximo Organismo rector de las actividades y aplicaciones de la tecnología Nuclear en Bolivia, y Contraparte Nacional Oficial para todos los convenios y relaciones Internacionales en el área Nuclear. Mediante D.S. No 24253 del 21 de marzo de 1996, el IBTEN pasa a depender del Ministerio de Desarrollo Sostenible, conservando su personería jurídica, patrimonio propio, Autonomía Administrativa y Financiera, y mantenerse como una Institución Descentralizada. A partir del 22 de febrero de 2006 pasa a depender del Ministerio de Planificación del Desarrollo conservando sus características.

**MISION.-** Promover, desarrollar, coordinar, asesorar y participar en el desarrollo y aplicación tecnológica con entidades nacionales y/o internacionales afines al uso y desarrollo de la tecnología nuclear. Controlar y fiscalizar el uso de las radiaciones ionizantes cumpliendo su responsabilidad como Autoridad Nacional Competente. Ser Contraparte Nacional Oficial para todos los convenios y relaciones internacionales sobre tecnología nuclear.

**VISION** La Ciencia y la Tecnología nucleares presentes en todos los sectores económicos y sociales, contribuyendo efectivamente al proceso de desarrollo sostenible de Bolivia.

Dentro de esta Institución existe una organización:



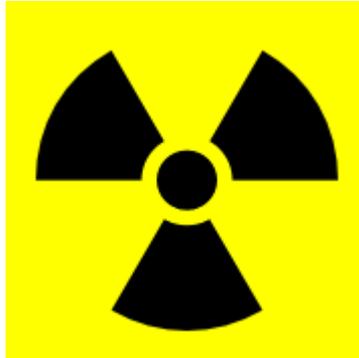


### Objetivos institucionales

1. Cumplir el mandato de la Constitución Política del Estado que en su Artículo 140 expresa: **“La Promoción y desarrollo de la energía nuclear es función del Estado”**.
2. Apoyar los proyectos de desarrollo nacional garantizando logros definidos.
3. Ser un elemento fiscalizador en forma efectiva y real del uso de las radiaciones ionizantes en el país, en cumplimiento de la Ley de Protección y Seguridad Radiológica y su respectiva reglamentación.
4. Servir de apoyo técnico a las autoridades ambientales en su tarea de aplicación de la Ley de Medio Ambiente y su reglamentación.
5. Constituirse en un nexo eficaz entre las entidades nacionales e internacionales, para el desarrollo de actividades relacionadas con la energía nuclear y sus aplicaciones, como ser industria, salud, agricultura, ganadería, hidrología, minería, medio ambiente, y otros.
6. Constituirse en un factor de divulgación de técnicas y procesos relacionados con el ámbito nuclear.

7. Desarrollar, coordinar y asesorar en aplicación y desarrollo de procesos, con instituciones nacionales y/o internacionales afines.

### 8.3. REACCIONES Y LESIONES DEBIDAS A LA RADIACIÓN



El **envenenamiento por radiación** es el daño causado al cuerpo humano (o de otros animales) por una exposición excesiva a la radiación ionizante.

El término se usa generalmente para referirse a problemas agudos debidos a una dosis grande de radiación absorbida en un período corto de tiempo. Muchos de los síntomas del envenenamiento por radiación ocurren cuando la radiación ionizante interfiere en el proceso de división celular. Esta interferencia causa especiales problemas a las células con alta tasa de renovación, células que en condiciones normales se reproducirían rápidamente. Por ejemplo, las células que cubren la parte interna del tracto gastrointestinal. Síntomas y efectos

Los síntomas de la enfermedad de la radiación se convierten en más serios (y la posibilidad de supervivencia disminuye) cuando se incrementa la dosis de la radiación.

La exposición crónica a la radiación ionizante puede causar leucemia y otros cánceres. Irónicamente, la capacidad de la radiación de impedir la división celular es también usada en el tratamiento del cáncer (radioterapia).

Otros síntomas que produce el envenenamiento por radiación son pérdida de pelo, diarreas, fatiga, náusea, vómitos, desmayos, quemaduras de piel, y a altas dosis, la muerte.

Una dosis de radiación extremadamente alta para el cuerpo entero, como 100 [Sv](#) (10.000 rems) causa en un período corto inconsciencia y muerte, ya que se destruyen las [células nerviosas](#).

Una dosis menor (pero todavía alta) causaría una enfermedad severa inmediata, después de la cual la víctima parecerá que se recupera, sólo para morir unos días después, cuando las células [intestinales](#) que se dividen rápidamente fallen.

El envenenamiento por radiación puede resultar por la exposición accidental a fuentes de radiación naturales o industriales. Las personas que trabajan con materiales radiactivos a menudo llevan dosímetros para controlar su exposición total a la radiación. Estos aparatos son más adecuados que los [contadores Geiger](#) para determinar los efectos biológicos, ya que miden la exposición acumulativa en el tiempo, y son calibrados para cambiar de color o proporcionar algún tipo de señal que avisa al usuario antes de que la exposición alcance niveles inseguros.



[Contador de Geiger](#)

La radiactividad causó la enfermedad y muerte después de los bombardeos de [Hiroshima](#) y [Nagasaki](#) a aproximadamente el 1% de las personas expuestas

que sobrevivieron a las explosiones iniciales. La tasa de mortandad debida a la radiación fue más elevada en Hiroshima, porque aunque [Fat Man](#) (el nombre de la bomba usada en Nagasaki) tenía un rendimiento más alto que [Little Boy](#) (el nombre de la bomba usada en Hiroshima), Fat Man era un arma de [plutonio](#), la cual para el mismo rendimiento fue mucho menos radiactiva que un arma de uranio.

El envenenamiento por radiación continúa siendo una de las mayores preocupaciones después del accidente del reactor nuclear de Chernobyl. De los 100 millones de curies (4 exabecquerels) de material radiactivo liberado, los isótopos radiactivos de xenón-133 y yodo-131 fueron inicialmente los más peligrosos. Debido a su corta vida media actualmente han decaído, dejando a los productos de vida media más larga (como el cesio-137 y el estroncio-90) como los más peligrosos en este momento.

Las dosis-equivalentes se indican en sieverts. Los síntomas corresponden a una irradiación de todo el cuerpo con una dosis promedio igual al valor indicado.

- **0,05 a 0,2 Sv:** sin síntomas. Algunos autores consideran que existe riesgo potencial de cáncer o alteraciones genéticas, aunque no hay consenso en este tema.
- **0,2 a 0,5 Sv:** no aparecen síntomas sensibles. El número de glóbulos rojos disminuye temporalmente.
- **0,5 a 1 Sv:** enfermedad por radiación leve produciendo dolor de cabeza y mayor riesgo de infección. Puede producir esterilidad masculina temporal.
- **1 a 2 Sv:** envenenamiento ligero por radiación, mortandad del 10% después de 30 días (DL 10/30). Los síntomas típicos incluyen náuseas suaves a moderadas (probabilidad del 50% con 200 rad), con vómitos ocasionales, comenzando de 3 a 6 horas después de la irradiación y pudiendo durar hasta un día. Esto es seguido por un anastasis de 10 a 14 días, después de la cual surgen síntomas como malestar general, anorexia y fatiga (probabilidad del 50% con 200 rad). El sistema inmune

permanece deprimido, con riesgo elevado de infección. Es común la esterilidad masculina temporal.

- **2 a 3 Sv:** envenenamiento severo por radiación, mortandad del 35% después de 30 días (DL 35/30). Son comunes las náuseas (100% con 300 rad), con un riesgo del 50% de probabilidad de producir vómitos con 280 rad. El inicio de los síntomas se produce entre 1 y 6 horas después de producida la irradiación y dura de 1 a 2 días. Después de eso, se produce un anastasis de 7 a 14 días, después de lo cual aparecen los siguientes síntomas: pérdida de pelo por todo el cuerpo (probabilidad del 50% con 300 rad), fatiga y malestar general. Se produce una pérdida masiva de leucocitos, aumentando enormemente el riesgo de infección. Se puede producir esterilidad femenina permanente. La convalecencia puede llevar de uno a varios meses.
- **3 a 4 Sv:** envenenamiento severo por radiación, mortandad del 50% después de 30 días (DL 50/30). Con dosis de 200 a 300 rad puede producir hemorragias en boca, bajo la piel y los riñones (probabilidad del 50% con 400 rad) en el periodo post anastasis.
- **4 a 6 Sv:** envenenamiento agudo por radiación, mortandad del 60% después de 30 días (DL 60/30). La mortandad aumenta desde el 60% con 450 rad hasta el 90% con 600 rad (a menos que exista un cuidado médico intensivo). Los síntomas comienzan a la hora y media o dos horas después de comenzada la irradiación y duran hasta 2 días. Después de esto, se produce un anastasis de 7 a 14 días, después de lo cual aparecen los mismos síntomas producidos por exposiciones a irradiaciones de 300 a 400 rad, con intensidad aumentada. La esterilidad femenina es común en este punto. El periodo de convalecencia puede durar de varios meses a un año. Las causas primarias de muerte (generalmente de 2 a 12 semanas después de producida la irradiación) con las infecciones y las hemorragias internas.
- **6 a 10 Sv:** envenenamiento agudo por radiación, mortandad del 100% después de 14 días (DL 100/14). La supervivencia depende de los cuidados médicos intensivos recibidos. La médula se destruye parcial o totalmente, por lo que se hace necesario un trasplante de médula. El

tejido gástrico e intestinal se ve seriamente dañado. Los síntomas comienzan de 15 a 30 minutos después de la irradiación y duran hasta 2 días. Posteriormente, se produce un anastasis de 5 a 10 días, después de lo cual la persona afectada fallece de una infección o hemorragia interna. La recuperación tomaría varios años y probablemente nunca sería completa.

- **10 a 50 Sv:** envenenamiento agudo por radiación, mortandad del 100% después de 7 días (DL 100/7). Una dosis de este nivel conduce a síntomas espontáneos después de 5 a 30 minutos. Después de una gran fatiga e inmediatas náuseas causadas por la activación directa de los receptores químicos del cerebro por la irradiación, hay un período de varios días de bienestar. Después de esto, la muerte de las células de los tejidos intestinales y gástricos, causando diarrea masiva, hemorragias internas y pérdida de agua, conduce al desequilibrio agua-electrolito. La muerte se produce con delirios y coma debido a la interrupción de la circulación. La muerte es inevitable; el único tratamiento que se puede ofrecer es la terapia del dolor.

50 a 80 Sv: se produce desorientación y coma inmediato en segundos o minutos. La muerte se produce a las pocas horas por colapso total del **sistema nervioso**  
Radiación ionizante

**Radiaciones ionizantes** son aquellas partículas o fotones procedentes de los átomos, desde su núcleo o desde su corteza electrónica, con la energía suficiente para ionizar la materia, desplazando los electrones de sus órbitas. Solo en un ámbito muy especializado se suele diferenciar entre las radiaciones ionizantes, propias de la radiactividad, y que constituyen un grupo muy específico de fenómenos, de cualquier otro proceso de emisión de energía, como por ejemplo el debido a una lámpara, un calentador (llamado radiador precisamente por radiar calor o radiación infrarroja), o la emisión de radio ondas en radiodifusión. A todos estos procesos físicos se les llama colectivamente radiaciones.

Las radiaciones ionizantes, ya sean electromagnéticas o corpusculares, poseen una energía, longitud de onda y frecuencia tales que al interactuar con un medio le transfieren energía suficiente para separar un electrón del átomo. Por tanto produce la formación de un par de iones, el negativo (el electrón libre) y el positivo (el átomo sin al menos uno de sus electrones).

La radiación ionizante suele asociarse a la radiactividad, porque en estos procesos la energía liberada suele cumplir esa condición. Procede de los átomos y se clasifica tradicionalmente como compuesta por partículas alfa, beta, rayos gamma o rayos X. También se pueden producir fotones ionizantes cuando una partícula cargada que posee una energía cinética dada, es acelerada (ya sea de forma positiva o negativa), produciendo radiación de frenado, también llamada bremsstrahlung, o de radiación sincrotrón por ejemplo (hacer incidir electrones acelerados por una diferencia de potencial sobre un medio denso como tungsteno, plomo o hierro es el mecanismo habitual para producir rayos X).

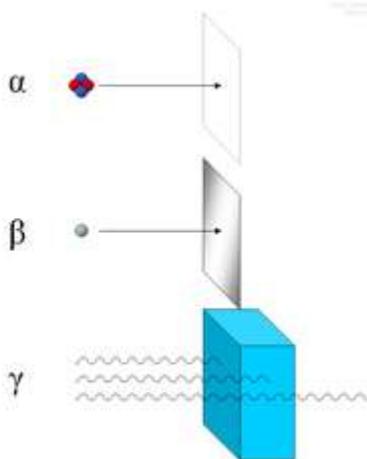
Las radiaciones ionizantes interactúan con la materia viva, produciendo diversos efectos. Del estudio de esta interacción y de sus efectos se encarga la radiobiología.

Son utilizadas desde su descubrimiento por Becquerel en 1896 en aplicaciones médicas e industriales, siendo la más conocida los aparatos de rayos X, o el uso de fuentes de radiación en el ámbito médico, tanto en diagnóstico (gammagrafía) como en el tratamiento (radioterapia en oncología, por ejemplo) mediante el uso de fuentes (p.ej. cobaltoterapia) o aceleradores de partículas

### **Tabla de contenidos**

- 1 Clasificación de las radiaciones ionizantes
  - 1.1 Según sean fotones o partículas
  - 1.2 Según la ionización producida
  - 1.3 Según la fuente de la radiación ionizante
- 2 Radiaciones ionizantes y salud
- 3 Utilidad de las radiaciones ionizantes
- 4 Interacción de la radiación con la materia
- 5 Unidades de medida de la radiación ionizante
- 6 Enlaces externos

### **📌 Clasificación de las radiaciones ionizantes**



Representación sencilla del poder de penetración de los distintos tipos de radiación ionizante. Una partícula alfa no penetra una lámina de papel, una beta no penetra una lámina de metal y un fotón penetra incluso grandes espesores de metal o hormigón

### **Según sean fotones o partículas**

- Radiación electromagnética: está formada por fotones con energía suficiente como para ionizar la materia (es decir, superior a unas decenas de electronvoltios). Según su origen y su energía se le clasifica en rayos ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

- Radiación corpuscular: incluye a las partículas alfa (núcleos de Helio), beta (electrones y positrones de alta energía), protones, neutrones y otras partículas que sólo se producen por los rayos cósmicos o en aceleradores de muy alta energía, como los piones o los muones.

### Según la ionización producida

- **Radiación directamente ionizante:** suele comprender a las radiaciones corpusculares formadas por partículas cargadas que interactúan de forma directa con los electrones y el núcleo de los átomos de moléculas blanco o diana como el oxígeno y el agua. Suelen poseer una transferencia lineal de energía alta.
- **Radiación indirectamente ionizante:** está formada por las partículas no cargadas como los fotones, los neutrinos o los neutrones, que al atravesar la materia interactúan con ella produciendo partículas cargadas siendo éstas las que ionizan a otros átomos. Suelen poseer una baja transferencia lineal de energía.

### Según la fuente de la radiación ionizante

- **Las radiaciones naturales:** proceden de radioisótopos que se encuentran presentes en el aire (como por ejemplo el  $^{222}\text{Rn}$  o el  $^{14}\text{C}$ ), el cuerpo humano (p. ej. el  $^{14}\text{C}$  o el  $^{235}\text{U}$ ), los alimentos (p. ej. el  $^{24}\text{Na}$  o el  $^{238}\text{U}$ ), la corteza terrestre (y por tanto las rocas y los materiales de construcción obtenidos de éstas, como el  $^{40}\text{K}$ ), y el espacio (radiación cósmica). Son radiaciones no producidas por el hombre. Se estima que más del 80% de la exposición a radiaciones ionizantes en promedio a la que está expuesta la población proviene de las fuentes naturales.
- **Las radiaciones artificiales:** están producidas mediante ciertos aparatos o métodos desarrollados por el ser humano, como por ejemplo los aparatos utilizados en radiología, algunos empleados en radioterapia, por materiales radiactivos que no existen en la naturaleza pero que el ser humano es capaz de sintetizar en reactores nucleares o aceleradores, o por materiales que existen en la naturaleza pero que se concentran químicamente para utilizar sus propiedades radiactivas. La

naturaleza física de las radiaciones artificiales es idéntica a la de las naturales. Por ejemplo, los rayos X naturales y los rayos X artificiales son ambos rayos X (fotones u ondas electromagnéticas que proceden de la desexcitación de electrones atómicos). Ejemplos de fuentes artificiales de radiación son los aparatos de rayos X, de aplicación médica o industrial, los aceleradores de partículas de aplicaciones médicas, de investigación o industrial, o materiales obtenidos mediante técnicas nucleares, como ciclotrones o centrales nucleares.

Los restos de las explosiones de bombas en la segunda guerra mundial, en las pruebas atómicas llevadas a cabo en la atmósfera por las potencias nucleares durante el inicio de la Guerra Fría, o las debidas al accidente de Chernobyl dan lugar a una presencia ubícua de radioisótopos artificiales procedentes de la fisión (principalmente  $^{137}\text{Cs}$ ). Los isótopos de semiperiodo más largo serán detectables durante decenas de años en toda la superficie terrestre.

### ***Radiaciones ionizantes y salud***



### **EXPOSICIÓN A LAS RADIACIONES IONIZANTES EN HUMANOS.**

Como ya se ha dicho, los seres vivos están expuestos a niveles bajos de radiación ionizante procedente del sol, las rocas, el suelo, fuentes naturales del propio organismo, residuos radiactivos de pruebas nucleares en el pasado, de

ciertos productos de consumo y de materiales radiactivos liberados desde hospitales y desde plantas asociadas a la energía nuclear y a las de carbón.

Los trabajadores expuestos a mayor cantidad de radiaciones son los astronautas (debido a la radiación cósmica), el personal médico o de rayos X, los investigadores, los que trabajan en una instalación radiactiva o nuclear y los trabajadores de las industrias NORM. Además se recibe una exposición adicional con cada examen de rayos X y de medicina nuclear, y la cantidad depende del tipo y del número de exploraciones.

No se ha demostrado que la exposición a bajos niveles de radiación ionizante del ambiente afecte la salud de seres humanos. Incluso existen estudios (hormesis) que afirman que son beneficiosas. Sin embargo, los organismos dedicados a la protección radiológica utilizan la hipótesis conservadora de que incluso en dosis muy bajas o moderadas, las radiaciones ionizantes aumentan la probabilidad de contraer cáncer, y que esta probabilidad aumenta con la dosis recibida (hipótesis Lineal Sin Umbral). A los efectos producidos a estas dosis bajas se les suele llamar efectos probabilistas, estadísticos o estocásticos.

La exposición a altas dosis de radiación ionizante puede causar quemaduras de la piel, caída del cabello, náuseas, enfermedades y la muerte. Los efectos dependerán de la cantidad de radiación ionizante recibida y de la duración de la irradiación, y de factores personales tales como el sexo, edad a la que se expuso, y del estado de salud y nutrición. Aumentar la dosis produce efectos más graves.

Está demostrado que una dosis de 3 a 4 Sv produce la muerte en el 50 % de los casos. A los efectos producidos a altas dosis se les denomina deterministas o no estocásticos en contraposición a los estocásticos.

### ***Utilidad de las radiaciones ionizantes***

Las radiaciones ionizantes tienen aplicaciones muy importantes en ciencias, industrias, medicina. En la industria, las radiaciones ionizantes pueden ser

útiles para la producción de energía, para la esterilización de alimentos, para conocer la composición interna de diversos materiales y para detectar errores de fabricación y ensamblaje. En el campo de la medicina, las radiaciones ionizantes también cuentan con numerosas aplicaciones beneficiosas para el ser humano. Con ellas se pueden realizar una gran variedad de estudios diagnósticos (Medicina Nuclear y Radiología) y tratamientos (Medicina Nuclear y Radioterapia).

### ***Interacción de la radiación con la materia***

Las partículas cargadas como los electrones, los positrones, muones, protones, iones u otras, interactúan directamente con la corteza electrónica de los átomos debido a la fuerza electromagnética.

Los rayos gamma interactúan con los átomos de la materia con tres mecanismos distintos.

1. Absorción fotoeléctrica: es una interacción en la que el fotón gamma incidente desaparece. En su lugar, se produce un fotoelectrón de una de las capas electrónicas del material absorbente con una energía cinética procedente de la energía del fotón incidente, menos la energía de ligadura del electrón en su capa original.
2. Efecto Compton: es una colisión elástica entre un electrón ligado y un fotón incidente, siendo la división de energía entre ambos dependiente del ángulo de dispersión.
3. Producción de pares: el proceso ocurre en el campo de un núcleo del material absorbente y corresponde a la creación de un par electrón - positrón en el punto en que desaparece el fotón gamma incidente. Debido a que el positrón es una forma de antimateria, una vez que su energía cinética se haga despreciable se combinará con un electrón del material absorbente, aniquilándose y produciendo un par de fotones.

Los neutrones interactúan con los núcleos de la materia mediante los siguientes efectos:

1. Activación: es una interacción completamente inelástica de los neutrones con los núcleos, mediante la cual el neutrón es absorbido, produciendo un isótopo diferente. Es la base de la transmutación producida en los ADS's.
2. Fisión: mediante esta interacción los neutrones se unen a un núcleo pesado (como el uranio-235) excitándolo de forma tal que provoca su inestabilidad y desintegración posterior en dos núcleos más ligeros y otras partículas. Es la base de los reactores nucleares de fisión.
3. Colisión inelástica: en esta interacción el neutrón colisiona con el núcleo cediendo una parte de su energía, con lo que el resultado es un neutrón y un núcleo excitado que normalmente emite radiaciones gamma, ionizantes, más tarde.

### ***Unidades de medida de la radiación ionizante***

Los seres humanos no poseen ningún sentido que perciba las radiaciones ionizantes. Existen diversos tipos de instrumentos que pueden captar y medir la cantidad de radiación ionizante que absorbe la materia. (Ver como ejemplo los contadores Geiger, detectores de ionización gaseosa, centelladores o ciertos semiconductores) El daño biológico producido por las radiaciones ionizantes se conoce desde hace mucho tiempo. El primer caso de lesión ocurrida en seres humanos fue dado a conocer poco después de anunciar Roentgen, en 1895, el descubrimiento de los rayos-X. Ya en 1902, la literatura describió el primer caso de cáncer inducido por los rayos-X.

Cuando discutimos los efectos biológicos producidos por las radiaciones, es importante que reconozcamos ciertos hechos básicos: El efecto biológico observado para un tipo de radiación, puede ser desarrollado por cualquier otro tipo de radiación. Ello es importante por cuanto la experiencia obtenida con los rayos-X, ha podido aplicarse a otros tipos de radiación ionizante. La cantidad de energía necesaria para producir marcados efectos en el tejido es extremadamente baja. Así por ejemplo, una dosis letal de radiación (600 R), producirá en el cuerpo humano

1. Un aumento de temperatura del orden de  $0,001^{\circ}\text{C}$ .

2. La ionización de un sólo átomo por cada 100 millones de átomos.

Con excepción de las mutaciones beneficiosas, que son muy contadas, la radiación produce siempre lesión en las células o en los tejidos. No se ha obtenido, hasta ahora, la denominada "dosis estimulante". Los únicos efectos estimulantes observados, bien pueden ser producto de la reacción misma de la lesión o de la destrucción de las sustancias inhibidoras, que dan como resultado un crecimiento anormal del tejido no inhibido.

### **MODELO PARA LA SECUENCIA DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS**

En exposiciones de corta duración, los efectos biológicos observados siguen generalmente un modelo de secuencias. En exposiciones prolongadas, estos efectos ocurren en forma simultánea, no siendo observables sus resultados "en algunas oportunidades. La secuencia de eventos posteriores a la exposición, generalmente puede clasificarse así:

#### **Período latente**

A continuación del evento inicial de la radiación y antes de que ocurra la primera manifestación detectable, habrá un "tiempo de incubación". Este período, conocido como el período latente, representa simplemente el intervalo de tiempo que transcurre antes de que se pueda detectar el daño. El período de latencia varía entre amplios límites de tiempo. Los efectos biológicos producidos por la radiación, se dividen de acuerdo al período de latencia en efectos agudos y a largo plazo. Los efectos agudos son aquellos que se manifiestan en cuestión de minutos, días o semanas. Los efectos a largo plazo son aquellos que hacen su aparición después de varios años, décadas o generaciones.

En muchas oportunidades puede atribuirse este período de latencia a la interdependencia de las células, tejidos y órganos del cuerpo. A nivel celular, es la consecuencia de la interdependencia de los constituyentes celulares. Por esta razón, la inactivación de las enzimas, desnaturalización de las proteínas esenciales, alteración de las propiedades coloidales o cambios en la viscosidad

protoplasmática, pueden cada una de ellas o todas, resultar en efectos demostrables.

Una teoría relacionada con el período de latencia sostiene que las células deben recuperarse de la inhibición mitótica producida por la radiación y que al entrar en mitosis, mueren debido al daño severo producido en sus cromosomas, como resultado de su radiación directa o indirecta. En términos generales, cuanto mayor la dosis, más rápida la aparición de la lesión. En la práctica, exceptuando los accidentes o actos negligentes de importancia, las dosis son pequeñas y el tiempo de latencia puede ser bastante largo (de 25 o más años).

### **Período de Efectos Demostrables sobre las Células y Tejidos**

Durante o inmediatamente después del "período de latencia", se observan algunos efectos discretos por el examen microscópico de los tejidos o, indirectamente, a través de métodos físicos. Uno de los fenómenos mayormente observados durante el crecimiento del tejido expuesto a las radiaciones, es la cesación de la mitosis o división de las células. Esta cesación puede ser temporal o permanente dependiendo ello de las dosis de radiación recibida. Otros efectos observados son: la ruptura de cromosomas; aglutinación de la cromatina; formación de células gigantes; otras mitosis anormales; granulación aumentada del citoplasma; cambios en pigmentación; alteración en la movilidad y actividad ciliar; citolisis; vacuolización; alteración de la viscosidad del protoplasma; alteración en la permeabilidad de la pared celular.

Es probable que éstos representen sólo una parte de los procesos celulares que ocurren, debiéndose señalar que gran número de ellos pueden repetirse individualmente por acción de otros estímulos. La gama completa de efectos mencionados no es reproducible por un solo agente químico. (Es interesante anotar el hecho de que las mostazas nitrogenadas copian en algunos casos, tales efectos.)

### **Período de Recuperación**

Subsecuente a la exposición, puede lograrse en cierto modo la recuperación. Este período se manifiesta principalmente en el caso agudo que ocurre en cuestión de días o de semanas, después de realizada la exposición; hay, sin embargo, un daño residual, no recuperable, que se toma como base para los efectos a largo plazo.

La curación puede lograrse mediante el reemplazo del tejido dañado o mediante la recuperación de las células lesionadas. La cura por reemplazo es bien conocida, por ser el principal modo de recuperación del tejido lesionado mecánicamente. La cura por recuperación de las células es menos factible, pero se ha demostrado que puede ocurrir. Así por ejemplo, si administramos a un tejido una dosis de 700 roentgens/hora, para conseguir una lesión similar mediante dos dosis administradas en intervalos de 24 horas, necesitaremos sólo 535 roentgens de dosis. Esto significa que en 24 horas, la recuperación compensa el efecto de 370 roentgens ( $2 \times 535R = 1070R$ ). En este caso, el restablecimiento por reemplazo se desecha por lo breve del tiempo. Prácticamente, no hay distinción entre las curas mencionadas, lo que realmente interesa es el resultado neto de la "recuperación".

## **DETERMINANTES DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS**

### **Cantidad Total de Radiación Absorbida**

La palabra "dosis" es sinónima de la cantidad de radiación absorbida. Tal como ocurre con la mayoría de los agentes farmacológicos, existe una relación cuantitativa entre la extensión del daño y su dosis. Si llevamos a un gráfico la dosis vs su efecto en los tejidos, la curva resultante puede aparecer con dos formas diferentes.

En la mayoría de las aplicaciones biológicas, la radiación alfa y beta es completamente absorbida por el tejido, mientras que los rayos-X y gamma lo son en forma parcial. En general, para un tipo dado de radiación, cuanto mayor es su energía, mayor su penetración. Sin embargo, para los diferentes tipos de radiación, puede haber una variación enorme en la profundidad de penetración (por ejemplo: una radiación X de 250 kV es mucho más penetrante que una

radiación alfa de 3 MeV) . Generalmente el alcance de una radiación cualquiera, es inversamente proporcional a la densidad del material absorbente.

### **Velocidad de Absorción**

La velocidad con que se administra o absorbe la radiación, es de gran importancia cuando se quiere determinar sus efectos. Puesto que hay un grado considerable de recuperación en los efectos agudos de radiación, una dosis total cualquiera producirá un efecto menor que el agudo, si la damos dividida en subdosis (en lugar de una sola exposición). Sin embargo, en razón de los efectos a largo plazo, probablemente la velocidad de absorción no es importante.

### **Area Expuesta**

Ordinariamente, cuando se hace referencia a las dosis al nivel máximo permisible de exposición o a la dosis letal media, suponemos que la dosis es suministrada al cuerpo entero. La denominación "radiación de cuerpo entero" es importante, ya que pueden aplicarse grandes dosis de radiación, en áreas localizadas (como en terapia), con poco peligro para la salud, pero que serían mortales si se aplicaran al cuerpo entero. Así por ejemplo, una persona puede exponer uno de sus dedos a 1000 R experimentando muy poco efecto su salud, excepto la lesión localizada en el dedo, siguiendo la curación y cicatrización de la misma. Si la misma dosis la hubiéramos suministrado al cuerpo entero, ésta hubiera resultado fatal. Hay evidencia de que los órganos hematopoyéticos (órganos productores de la sangre: bazo, médula ósea, etc.), son los más radiosensibles cuando se irradia al cuerpo entero; la protección de estos órganos disminuirá el efecto producido en el cuerpo entero.

### **Especies y Variabilidad Individua**

Especies diferentes muestran una amplia variación en la respuesta a exposiciones idénticas de radiación. Un ejemplo de esta variación se ve an las dosis letales medias (MLD), obtenidas en animales expuestos a los rayosX de 200 kV; así para ratones es de 500 R; cobayos, 250 R; hombre, 450 R;

conejos, 875 R. Existe también una variación considerable en la respuesta dentro de las especies. Así, dos razas dentro de una misma especie, pueden variar en sus respectivas dosis letales medias (MLD), hasta en un 50,%. Esta variación individual no es característica propia de la radiación ionizante. Ocurre en la mayoría de los casos donde se utilizan cualquier tipo de estimulantes fisiológicos (físicos, químicos o biológicos).

### **Sensibilidad Relativa de Células y Tejidos**

Aparentemente la amplia variación entre especies, está asociada con el metabolismo total de la especie individual, ya que sin tener en cuenta la especie comprometida, los cambios histológicos reflejan la dosis con bastante precisión. Por ejemplo, si se dieran a cobayos y conejos 250 R, de rayos-X de 200 kV, serían evidentes los mismos cambios histológicos en los tejidos de ambas especies y aun cuando esta dosis podría matar al 50 % de los cobayos, sólo produciría una enfermedad pasajera en los conejos. La sensibilidad relativa de las distintas células y tejidos es la misma en los diferentes mamíferos que han sido estudiados. Sin embargo, bajo idénticas condiciones de exposición, los diversos tipos de células y tejidos exhibirán marcadas diferencias en sus respuestas a una misma dosis de radiación. Parece que no todas las células y tejidos son igualmente sensibles o vulnerables a las radiaciones. Existen varias generalizaciones que nos permiten predecir el grado de radiosensibilidad de un tipo particular de célula o tejido. Las células más activas y que crecen con mayor rapidez, tienden a ser las más radiosensibles en un tejido cualquiera. Los tejidos y células que son menos especializados o menos diferenciados, tienden a ser más vulnerables a la radiación. En general, el núcleo de una célula es más radiosensible que el citoplasma; de aquí que una célula con bastante citoplasma no sea tan afectada como aquella que contiene más material en el núcleo. Observaciones experimentales sustentan estas generalizaciones. Sobre la base de estas generalizaciones, puede aceptarse la siguiente lista de células comunes y/o tejidos, agrupados de acuerdo a un orden decreciente de radiosensibilidad:

1. El tejido linfático, muy sensible, particularmente los linfocitos

2. Células rojas jóvenes, halladas en la médula ósea
3. Las células que revisten el canal gastrointestinal
4. Células de las gónadas; los testículos son más sensibles que los ovarios.
5. Piel, particularmente la porción que rodea el folículo capilar
6. Células endoteliales vasos sanguíneos y peritoneo
7. Epitelio del hígado y adrenales
8. Otros tejidos, incluidos el hueso, músculo y nervio, en ese orden.

Recalcaremos el hecho de que los tejidos muy jóvenes o en pleno crecimiento, son más sensibles a la radiación, que los tejidos adultos o inactivos. Ello es importante cuando se trata del establecimiento de límites máximos de exposición.

### **Otros Factores**

Además de a los factores ya discutidos anteriormente, existen otros intrínsecos y extrínsecos, que influyen en el efecto de la radiación. Entre ellos mencionaremos el estado de nutrición; tensión de oxígeno; metabolismo. Conforme se vaya haciendo más investigación sobre este particular, se irán descubriendo muchos otros factores.

## **EFFECTOS CLINICAMENTE OBSERVADOS**

### **Efectos Agudos**

*"Enfermedad de las Radiaciones"*, es un término empleado para indicar el síntoma complejo que ocurre en pacientes sometidos a terapia por radiaciones. Sus características incluyen náuseas, vómitos, anorexia (pérdida del apetito), pérdida de peso, fiebres y hemorragias intestinales, siendo generalmente más severas estas manifestaciones, después de haberse irradiado el abdomen. *"Síndrome agudo de Radiación"*, es aquel síntoma complejo que ocurre por exposición del cuerpo entero o una gran porción del mismo, a una elevada dosis de radiación, en corto tiempo. Los Anales de Medicina Interna, del mes de febrero de 1952, utilizan toda la revista para ilustrar casos de historias, así

como también para detallar cuidadosamente sus estudios en exposiciones accidentales, a dosis elevadas de radiación ocurridas en nueve hombres. Los efectos precoces en dosis agudas de radiación, para el cuerpo entero, pueden resumirse en la Tabla 13 de la siguiente manera:

La respuesta sistemática del individuo expuesto a la radiación, se debe: (1) a la expulsión de productos tóxicos, por los tejidos lesionados, y (2) por alteración de la función del órgano debido más directamente a la radiación. En este último grupo podemos incluir (a) cese de formación de granulocitos (glóbulos blancos) por la médula ósea, y (b) ruptura de la barrera intestinal, por lesión epitelial.

Los factores secundarios de respuesta sistemática a la lesión del órgano, son: invasión bacteriana; deshidratación y desnutrición. Sus resultados son: la destrucción extensiva del tejido a través del cuerpo.

Si un individuo se recupera de los efectos agudos de la radiación, varios efectos a largo plazo pueden manifestarse en un tiempo posterior.

## **EFFECTOS A LARGO PLAZO**

Los efectos a largo plazo, pueden resultar de exposiciones. agudas o prolongadas. Ya que las exposiciones prolongadas son las más comunes en situaciones de paz mundial y como los efectos agudos son raros en estas situaciones, daremos mayor importancia a los efectos a largo plazo. *Carcinogénesis.* Por alguna razón no comprendida todavía, la exposición a las radiaciones aumenta en el hombre la incidencia de ciertos tipos de cáncer. La primera evidencia de esta manifestación fue la aparición de cáncer de la piel en la zona quemada repetidamente por rayos-X, entre los primeros trabajadores en rayos-X. Desde entonces se han demostrado otras conclusiones entre la exposición a las radiaciones y la incidencia de cáncer; entre ellas, tenemos la aparición de tumores óseos en los primeros pintores de esferas de relojes de pulsera, con pinturas radiactivas; la incidencia cada vez mayor de leucemia entre los médicos que usan los rayos-X y entre los japoneses que sobrevivieron el bombardeo de Hiroshima; la mayor incidencia del cáncer de tiroides y

leucemia en algunos pacientes tratados terapéuticamente con rayos-X, etc. El mecanismo de esta acción no está muy claro todavía, aun cuando se han adelantado ciertas hipótesis al respecto. En algunos casos, la repetición del daño producido por la radiación y su pronto restablecimiento, parece estar a favor de unas hipótesis, mientras que la aparición de mutaciones somáticas celulares parecen ser otra hipótesis atrayente. No se ha establecido todavía la existencia de un umbral para esta clase de fenómeno.

*Acortamiento del Tiempo de Vida.* Gran cantidad de estudios en animales han establecido que la exposición a las radiaciones produce una aceleración del proceso de envejecimiento, dando como resultado un acortamiento, no especificado, del tiempo de vida. Este efecto es completamente distinto a la aparición de una enfermedad cualquiera; el animal simplemente envejece más rápidamente y muere antes de tiempo, por causas indistinguibles de las que mueren los animales no irradiados. Evidencias recientes de la literatura sugieren que este efecto puede estar ocurriendo en el hombre. Los datos en animales muestran en promedio, un acortamiento del tiempo de vida cercano al 7% por cada 1.000 R. de dosis total de radiación, sin haberse encontrado algún umbral 'aparente'. En contraste a otros efectos de radiación, este fenómeno parece ser cuantitativamente independiente de las especies.

*Producción de Mutaciones Genéticas.* En 1927, Muller informó que la exposición a las radiaciones aumentaba la proporción de mutaciones genéticas en la mosca de la fruta. Su trabajo ha sido confirmado en otras especies. Recientemente los Russell en Oak Ridge han demostrado que este efecto mutagénico, para una dosis dada de radiación, parece ser 10 veces mayor en el ratón que en la mosca de la fruta.

Las mutaciones genéticas han aparecido desde que comenzó la vida en este planeta; el proceso de evolución ocurrió a través de las mutaciones genéticas y de la selección natural. Cuando esta última ocurre sin interferencias, las mutaciones no deseadas (que constituyen la mayoría), tienden a desaparecer gradualmente, mientras que las deseables tienden a incrementarse a través del tiempo. Hoy día, sin embargo, en la especie humana la selección natural no está desarrollándose en forma descontrolada. La civilización ha propendido a

la reducción de la selección natural conservando las mutaciones no deseables que ocurran. Actualmente, en el hombre puede resultar un aumento en la proporción de mutaciones genéticas al incrementarse la carga de mutaciones no deseables, reduciéndose de este modo la idoneidad biológica de la especie. Ha quedado bien reconocida la evidencia de que no existe umbral para los efectos genéticos de la radiación. Cualquier dosis de radiación está acompañada de mutaciones y la cantidad producida es proporcional a la dosis. Por eso, en término de efectos genéticos, no hay dosis segura de tolerancia a la radiación.

*Efectos Embriológicos y del Desarrollo.* Estrechamente relacionados con los efectos genéticos, existen ciertos cambios embriológicos y del desarrollo que ocurren como resultado de una exposición directa del gameto, cigote u organismo en desarrollo, o de una exposición de la madre grávida sin haberse expuesto directamente al feto.

Se ha determinado en numerosas ocasiones, que las dosis terapéuticas de radiación recibidas por una mujer grávida, puede producir la muerte del feto o dar como resultado, el nacimiento de un niño anormal. Trabajos recientes de laboratorio, en animales, indican que puede lograrse una gama de anormalidades que van desde las difícilmente detectables, a las evidentes y extensivas. En general, cualquier feto de edad superior al período de gestación de seis semanas, parece ser mucho menos sensible. El grado de anormalidad varía directamente con la dosis y el tiempo de exposición. No se ha establecido todavía en forma definida, la existencia de una dosis umbral, necesaria para lograr estos efectos en el desarrollo.

## **OTROS EFECTO.**

*Efectos en la Fertilidad.* La radiación es capaz de reducir la fertilidad, siendo tal reducción dependiente de la dosis. Por eso, podemos observar toda una gama de efectos que van desde la reducción en fertilidad a la esterilidad permanente. En épocas de paz, las dosis recibidas no son tan fuertes como para desarrollar una esterilidad, sea ésta temporal o permanente. Exista o no alguna disminución en la fertilidad, no hay pruebas que la evidencien, toda vez que la

reducida tasa actual de natalidad depende también de otros factores ajenos a la fertilidad.

*Inducción de Cataratas.* La irradiación del ojo, resulta en cataratas (opacidad lenticular), que aparece después de una irradiación por rayos-X, gamma o neutrones.

Probabilidad de recurrencia de una anomalía en un mellizo, si el otro está afectado, es de 25 a 50% para monozigóticos y de 1 a 5% (como entre hermanos) para dizigóticos. En el caso de herencia mendeliana los valores son de 100% para monozigóticos (independientemente de si la mutación es dominante o recesiva) y de 50% para dizigóticos y mutación dominante (en uno de los padres) y de 25% para dizigóticos y mutación recesiva (en ambos padres).

Las enfermedades genéticas corresponden a un grupo heterogéneo de afecciones que en su etiología presentan un significativo componente genético. Ello puede ser alguna alteración en un solo gen (monogénicas), en varios genes (multifactoriales) o en muchos genes (cromosomas). La alteración genética puede producir directamente la enfermedad (por ejemplo, el caso de la Hemofilia) o interactuar con factores ambientales (como por ejemplo, la predisposición genética en la etiología de la Hipertensión arterial). Cada vez se hace más difícil separar las afecciones de etiología ambiental de aquellas llamadas "genéticas puras". A modo de ejemplo, conviene recordar que para varias enfermedades típicamente ambientales, como infecciones bacterianas, parasitarias, virales, etc, recientemente se ha demostrado una susceptibilidad genética individual.

Las publicaciones no especializadas generalmente tipifican la radiación como de bajo o alto nivel, y suelen clasificar las dosis entre 23 y 30 rad como de bajo nivel de radiación. La dosis médica generalmente son menores a 5 rad y, con frecuencia menores a 1 rad.

La dosis total y la tasa de dosis determinan los efectos somáticos y genéticos. Las unidades de medida utilizada habitualmente para determinar la exposición

a la radiación o dosis son el Roentgen, el rad y el rem. El Roentgen (**R**) es la medida de la cantidad de radiación ionizante, X o gama, en el aire. La dosis absorbida de radiación (**rad**) es la cantidad de energía absorbida en cualquier tejido o sustancia como consecuencia de la exposición y se aplica a todos los tipos de radiación. Desde el punto de vista práctico, el **R** y el **rad** son casi equivalentes. El **rem** se utiliza para subrayar el hecho de que algunos tipos de radiación, como los neutrones, pueden producir un efecto biológico mayor en relación con una cantidad equivalente de energía absorbida; así pues, el rem es igual al rad multiplicado por una constante denominada "factor de calidad". En el caso de las radiaciones X y  $\gamma$ , el rem es igual al rad. En la actualidad, el rad y el rem se sustituyen en la nomenclatura científica por 2 unidades comparables en el Sistema Internacional de Unidades, que son el **Gray (Gy)**, que equivale a 100 rad, y el Sievert (**Sv**), que equivale a 100 rem.

La tasa de dosis es la dosis de radiación/unidad de tiempo. Desde las tasas de dosis muy bajas de la inevitable radiación de fondo (alrededor de 0.1 rad/año), de la que no puede detectarse efecto alguno, la probabilidad de efectos detectables aumenta a medida que lo hace la tasa de dosis y/o la dosis total. Un efecto detectable aparece con bastante certeza tras una única dosis de varios cientos de rad, pero son necesarias dosis mayores si se administran a una baja tasa de dosis o de forma intermitente. Las grandes dosis se relacionan con efectos somáticos inmediatos, mientras que las dosis bajas están más en relación con su capacidad para producir efectos somáticos tardíos o efectos genéticos a largo plazo. Los efectos de la exposición a la radiación en un individuo son acumulativos.

También es un factor importante la zona del cuerpo expuesta. En el hombre es probable que el cuerpo entero pueda absorber más de 200 rad sin que se produzca la muerte; sin embargo, cuando la dosis de cuerpo se acerca a los 450 rad, la tasa de muertes puede acercarse al 50%, y una dosis de cuerpo entero mayor 600 rad recibida en un periodo de tiempo muy corto casi con toda seguridad será mortal. Por el contrario miles de rad administrados durante largo periodo (por Ej.: tratamiento de cáncer) son bien tolerados cuando se irradian pequeños volúmenes de tejido. También es importante la distribución de la dosis en el cuerpo. Por ejemplo, la protección del intestino o la medula

ósea mediante un blindaje adecuado permite la supervivencia del individuo expuesto, lo cual no ocurrirá en el caso de recibir una dosis mortal en todo el cuerpo

#### **8.4. FISIOPATOLOGÍA**

La respuesta de los tejidos, en cuanto a la lesión inmediata por radiación, varía de acuerdo con el siguiente orden decreciente de sensibilidad: **(1) células linfoides. (2) gónadas. (3) células proliferativas de la medula ósea. (4) células epiteliales del intestino. (5) epidermis. (6) hepatocitos. (7) epitelios de los alvéolos pulmonares y de los conductos biliares. (8) células epiteliales renales. (9) células endoteliales (pleura y peritoneo) (10) células nerviosas. (11) células óseas (12) tejido muscular y conectivo.** En general, cuanto mas rápido sea el recambio de la célula, mayor es su sensibilidad a la radiación.

Si la dosis absorbida de radiación es suficientemente elevada, se producirá la necrosis de cualquier célula viva. Las dosis grandes de radiación, aunque subletales pueden producir alteraciones en la proliferación celular(a) disminuye la tasa de mitosis y (b) se altera la síntesis de ADN de 2 formas ( en primer lugar, se enlentece la tasa de síntesis y en segundo lugar, las células pueden continuar la síntesis de ADN y convertirse en polipoides).Estos y otros efectos mal definidos de la radiación se producirán con una razonable probabilidad tras la administración de dosis significativas en los tejidos correspondientes a **células linfoides, gónadas, células proliferativas de la medula ósea, células epiteliales del intestino.**

La disminución de la producción de nuevas células en tejidos que normalmente mantienen una renovación constante (p.Ej.. mucosa entérica, medula ósea, gónadas) produce hipoplásia progresiva, atrofia y, a veces, fibrosis, según la dosis. Algunas células, lesionadas pero aun capaces de realizar una mitosis, pueden resultar tan alteradas que llega a pasar 1 o 2 ciclos reproduciendo células anómalas, como metamielocitos gigantes y neutrófilos hipersegmentados, antes de su muerte.

La mayoría de nuestras estimaciones sobre los efectos de niveles muy bajos de exposición a la radiación (menor 10 rad) se obtuvieron por extrapolación de los estudios con dosis más elevadas. Estas extrapolaciones generalmente se basan en una relación lineal. Algunos autores creen que pueden existir un efecto umbral y citan experimentos en los que animales expuestos a niveles extremadamente bajos de radiación tienen mayor supervivencia que los animales que solo reciben la radiación de fondo. En realidad existen muy pocos datos objetivos que demuestren los efectos somáticos y genéticos de dosis de radiación menores a 10 rad.<sup>1</sup>

### 8.5. MARCO DE RELACIÓN TÉCNICA.

La radiación X es una radiación electromagnética que puede ocasionar ionización de la materia debido a su alto contenido de energía. En el tejido humano, la ionización produce daño al DNA y a las células, pero también puede penetrar al cuerpo para permitir la visualización no invasora de la anatomía interna. Los Rayos X presentan un comportamiento semejante al de las partículas. A las partículas individuales de rayos X, que son paquetes diferenciados de energía pura, se las denomina fotones.

Los Rayos X provienen cuando un electrón de un átomo hace una transición de una orbita externa a una interna, se emite radiación. Este tipo de transición se producirá cuando el átomo tiene un espacio vacante en una orbita interna de electrones y, por tanto, se encuentra en estado excitado o inestable. La radiación emitida puede estar en las porciones visibles, ultravioletas o de rayos X del espectro electromagnético y se conoce como una radiación característica en virtud de que su contenido de una energía es única para la especie atómica que la produjo.

El segundo mecanismo con que se producen los Rayos X se da, si se acelera un haz y se arroja un blanco metálico, al chocar se produce una lluvia de radiación por la interacción. Si se aceleran los electrones que constituyen el haz con suficiente voltaje, la radiación generada estará en la proporción de

---

<sup>1</sup> [www.oms.org.co](http://www.oms.org.co)

rayos X del espectro magnético. A esta radiación X se la conoce como “***bremstrahlung***”, termino alemán que significa radiación de frenaje.

Los Rayos X en la radiología diagnostica se producen, mediante un dispositivo de tubo al vacío denominado tubo de Rayos X. El tubo contiene un filamento de tungsteno (cátodo) y un blanco metálico (ánodo), que por lo general también esta hecho de tungsteno. El filamento se calienta con una corriente eléctrica, y se coloca un voltaje entre el ánodo y el cátodo. El alto voltaje hace que los electrones del filamento se aparten y se aceleren hacia el ánodo. Cuando chocan contra éste, se producen la radiación de frenaje, y los Rayos X característicos (del metal anódico). El tubo de Rayos X esta completamente rodeado de plomo, dejando solo una pequeña puerta de salida. El plomo absorbe gran parte de los Rayos X emitidos, con excepción de la parte que escapa por la puerta. Estos rayos X se utilizan para crear la radiografía, es decir imágenes impresas en una película compuesta de bromuro de plata, por medio de las cuales se pueden ver impresiones de todo el cuerpo.

El efecto biológico de una dosis de radioactividad determinada también depende de la tasa a la que se administre. Una única dosis rápida de radioactividad puede ser mortal, mientras que la administración de la misma dosis durante un periodo de semanas o meses puede tolerarse con leves y casi imperceptibles efectos agudos. Las relaciones entre el grado de lesión causado y la curación o la muerte de la célula son bastante complejas. Además de los efectos somáticos tempranos de las grande dosis ( que se observan en periodos de días) se pueden observar cambios en el ADN de las células con rápida proliferación, que se traducen en enfermedades varios años después o en defectos genéticos en los recién nacidos.

## **RADIOACTIVIDAD**

Cuando se utiliza una sustancia radiactiva como fuente de radiación, su actividad es igual al número de desintegraciones radiactivas por segundo. La unidad S.I. es el beckerelio y corresponde a 1 desintegración por segundo. El beckerelio es muy pequeño para ser usado como unidad en radiografía industrial. La unidad usada hasta ahora, el curio (Ci) es  $3,7 \times 10^{10}$  veces mayor.

Las fuentes intensas se suelen medir en Ci, MBq o GBq (Gigabeckerelios).  
Giga =  $10^9$ .

### Dosis de ionización

La unidad tradicional de dosis es el Roentgen (R, mR), ampliamente usada. En el sistema S. I., la dosis de radiación es definida indirectamente por la cantidad de ionización que genera ésta dosis en un kg de aire. La unidad S.I. es el culombio por kilogramo (C/kg) y no tiene denominación especial. La relación con el rontgen es:  $1R = 2,58 \times 10^4 C/kg$  o  $1C/kg = 3.876 R$ .

La potencia de un equipo de rayos X se evalúa en R/minuto medido a 1 metro de distancia (con frecuencia se abrevia a Rmm) y raras veces en unidades S.I.

### Dosis absorbida

La energía de radiación absorbida se expresa en Julios por kilogramo (J/kg). La unidad S.I. se denomina Gray (Gy). La unidad utilizada anteriormente es el rad (radiation absorbed dose) y corresponde a una absorción de energía de:

$$1 \text{ rd} = 1/100 \text{ J kg} = 1/100 \text{ Gy}$$

### Dosis equivalente

El Sievert (Sv) es la nueva unidad usada para evaluar los efectos biológicos de la radiación ionizante sobre el hombre. Corresponde al producto de la dosis de energía Gray (Gy) por un factor determinado experimentalmente y que indica el efecto biológico relativo de la radiación ionizante. Para radiación X este factor es igual a la unidad, de forma que el Sv corresponde al Gy.

Anteriormente se utilizaba el rem.  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

## **FUENTES DE RADIACIÓN**

### **Fuentes de rayos X**

El tubo de rayos X clásico consiste en una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho un alto vacío. En su interior lleva instalados los conjuntos anódico y catódico. El cátodo contiene un filamento que emite electrones cuando se calienta a incandescencia por medio de una corriente eléctrica de pocos amperios. Estos electrones emitidos son atraídos hacia el ánodo bajo el efecto de la tensión eléctrica aplicada entre cátodo y ánodo (el voltaje sobre el tubo). Esta corriente de electrones se concentra en un estrecho haz por medio de un "cilindro" o una "cúpula de concentración". El conjunto anódico consiste en un metal de alto punto de fusión incrustado en el bloque anódico que será el blanco donde impacta el flujo de electrones. En este impacto de los electrones se producen los rayos X. Cuanto mayor es el número atómico del elemento con el que chocan los electrones y mayor la velocidad de estos, mayor será la energía y el poder de penetración de la radiación producida. El metal anódico sobre el que impactan los electrones es generalmente wolframio, por dos razones, su elevado número atómico y su alto punto de fusión (3.400° C aprox.).

Es esencial el uso de un material de alto punto de fusión debido a la enorme cantidad de calor disipado al formarse los rayos X, máxime cuando el flujo de electrones se concentra en una área muy pequeña.

Solamente una pequeña parte (0,1 % a 30 kV, 1 % a 200 kV, 40 % a 30-40 MeV) de la energía cinética de los electrones se convierte en radiación X; el resto se transforma en calor.

### **Producción de rayos X**

En la mayoría de los aparatos de rayos X, la intensidad de la radiación emitida se mide en miliamperios (mA) de corriente que pasa a través del tubo. La exposición se mide en (mA.min). Con algunos equipos modernos de alta energía, como los linacs, la radiación se mide en unidades de radiación, por ejemplo, R por minuto a un metro de distancia (Rmm). Las unidades S.I. raramente se usan en equipos industriales.

### **Fuentes radiactivas**

La Radiactividad es la propiedad que poseen los núcleos de ciertos elementos. Los  $\gamma$  y  $\beta$ ,  $\alpha$  de emitir rayos son partículas portadoras  $\beta$  y  $\alpha$  rayos son  $\gamma$  de una carga eléctrica, mientras que los rayos de naturaleza electromagnética. Hasta 1934 solo se conocía la radiactividad natural, pero durante aquel año, los físicos Joliot y Curie produjeron por primera vez una sustancia radiactiva artificial. Al principio, las cantidades producidas fueron muy pequeñas para ser consideradas para fines industriales y fueron empleadas únicamente en experimentos de laboratorio (en biología y medicina).

Desde 1947 el progreso hizo posible la producción de cantidades considerables de isótopos radiactivos de ciertos elementos, durante los procesos atómicos que se realizan en los reactores nucleares. Los isótopos radiactivos  $\gamma$  y son útiles para ensayos no destructivos de materiales, son subproductos de centrales nucleares y pueden ser adquiridos a precios razonables.

### **Fuentes radiactivas naturales**

Los elementos pertenecientes a este grupo, que han sido usados en radiografía industrial, son el radio, radón y mesotorio. Dan una radiación muy dura, lo que los hace muy adecuados para el examen de objetos de mucho espesor. Una ventaja del radio es su extraordinaria vida media (1.622 años). La desventaja de estas fuentes es la imposibilidad de obtenerlas de pequeñas dimensiones y suficiente intensidad y también su elevado precio. Las fuentes radiactivas naturales prácticamente no se utilizan en radiografía industrial. En algunos países está prohibido su uso.

## **Fuentes radiactivas artificiales**

Se obtienen por fisión o irradiación en un reactor nuclear. De esta forma es posible obtener isótopos en relativamente grandes cantidades y en estado razonablemente puro. Los factores que deciden su valor en NDT son, la longitud de onda e intensidad de radiación, su período o vida media y su actividad específica; en efecto, solamente unos pocos de los muchos radioisótopos artificiales que se conocen son aptos para la radiografía.

### **"Vida media" de una fuente radiactiva**

La "vida media" de una fuente radiactiva es el período de tiempo en el que la intensidad de la radiación emitida disminuye hasta la mitad de su nivel inicial.

Cada elemento radiactivo tiene su vida media característica, por ejemplo, el iridio-192 es de 74 días, el cesio 137 de 30 años, mientras que el cobalto-60 es de 5,3 años y el iterbio-169 de 31 días.

Tras dos períodos de vida media, por ejemplo 148 días con iridio-192, la actividad de una fuente de 1 Ci quedará reducida a 0,25 Ci y tras tres períodos a 125 mCi, etc

### **Actividad (intensidad de la fuente)**

La actividad de una fuente viene dada por el número de átomos que se desintegran en un tiempo dado. Se mide en beckerelios (Bq). El beckerelio es la cantidad de cualquier sustancia radiactiva en la que el número de desintegraciones es 1 por segundo

(1 Bq = 1/s). La vieja unidad de intensidad (Curio, Ci) es todavía ampliamente usada.

### **Actividad especifica**

La actividad específica de una muestra radiactiva es la actividad de 1 g de ésta sustancia expresado en beckerelios (Bq/g) o (Ci/g).

Para un número de beckerelios las dimensiones de una fuente radiactiva dependerán de su actividad específica.

### **Emisión específica de rayos gamma**

Una unidad muy utilizada en radiografía se basa en el concepto de la irradiación que produce una fuente radiactiva, medida a una determinada distancia. Habitualmente, para fuentes radioisotópicas se usa el R<sub>hm</sub> (rontgen por hora a 1 metro). También se utiliza muchas veces la constante específica de emisión gamma o factor K, medida a 1 cm de distancia de una fuente de 1 mCi.

A continuación, figuran los isótopos de uso habitual en radiografía industrial. Los más utilizados son sin duda el cobalto-60 y el iridio-192. Anteriormente también se han utilizado el tántalo-182 y el cesio-134.

Todas las fuentes de rayos gamma están selladas. El material radiactivo está encapsulado por la Autoridad de Energía Atómica del país de origen. La fuente sellada no puede, por supuesto, ser manipulada con impunidad, debido a que emite radiación continuamente y tiene que estar rodeada para el transporte y utilización por una masa de material absorbente -la cámara gammagráfica- y manipulada por un telemando. Las cámaras gammagráficas para la exposición tienen un sistema de apertura que permite emitir un haz controlado de rayos gamma, o bien un dispositivo que permita que la propia fuente sea desplazada desde el interior de su zona de seguridad hasta el punto focal de irradiación, por medio de un cable flexible especial telecomandado, por ejemplo el cable Teleflex. Una cámara gammagráfica tiene que ser robusta y de diseño "antifallos". Hay normas nacionales e internacionales para el diseño de contenedores (por ejemplo, ISO:2855; BS:3895/1976).

Tabla 3. Radio-isótopos de uso habitual en radiografía industrial

Elemento	Símbolo	Número másico	Vida media	Constante específica en radiación gamma		Energía de las líneas espectrales (en MeV)	Capa hemireductora en Pb (en mm)
				en R/h por Ci a 1 m de distancia	en nA.kg <sup>-1</sup> por G.Bq a 1 m de distancia		
Cesio	Cs	137	30 años	0,37	0,72	0,66	8,4
Cobalto	Co	60	5,3 años	1,30	2,54	1,17; 1,33	13
Iridio	Ir	192	74 días	0,50	0,97	0,13 - 0,9	2,8
Iterbio	Yb	169	31 días	0,125	0,24	0,06 - 0,31	0,88
Tulio	Tm	170	127 días	0,0025**	0,0048**	0,052* ; 0,084	—

Notas:

\* Este espectro de líneas de rayos gamma está superpuesto a un espectro continuo de energía, por encima de 0,9 MeV, debido a reabsorción de electrones internos.

\*\* Debido a efectos de autoabsorción en la pastilla radiactiva, este factor varía con la forma y tamaño de la fuente.

Las ventajas de los rayos gamma sobre los rayos X, en radiografía, son:

1. No necesitan suministro eléctrico ni sistemas de refrigeración, por lo que son de fácil uso en las obras.
2. Pueden obtenerse de variadas formas y dimensiones, y si es necesario, se pueden lograr de pequeño diámetro para poder usar pequeñas distancias fuente-película. De esta forma se pueden utilizar, por ejemplo, en el interior de tuberías.
3. Algunos radioisótopos emiten radiación de muy elevado poder de penetración, lo que permite hacer radiografías de metales gruesos.

Los inconvenientes de los radioisótopos son:

1. Los más comúnmente utilizados (Co-60, Ir-192) dada su alta energía, dan imágenes menos contrastadas que los rayos X de energía apropiada; esto hace que las radiografías sean menos sensibles y más difíciles de interpretar.

2. La única fuente de rayos gamma que da buenas imágenes de acero de poco espesor es el Yb-169, que es precisamente el de vida media más corta.

3. Como es imposible interrumpir la emisión de radiación de las fuentes radiactivas, han de estar perfectamente blindadas. Con fuentes de radiación muy penetrante y/o intensa, el blindaje necesario puede ser muy pesado.

4. No puede ajustarse la energía de la radiación de las fuentes radiactivas.

La aplicación principal de las fuentes de iterbio-169, que son de desarrollo relativamente reciente, es para exámenes de soldaduras circulares en tuberías de pequeño diámetro.

Mediante el uso de fuentes de tamaño muy pequeño (0,3 o 0,5 mm), situándola en el centro de una tubería, con una película que rodea exteriormente la soldadura circular de unión entre tubos, puede radiografiarse ésta, de una sola exposición. Debido al pequeño tamaño de la fuente, puede obtenerse una aceptable borrosidad geométrica y como la distancia fuente-film es muy pequeña (30 mm o menos) los tiempos de exposición son cortos, en compensación al bajo poder de penetración de la fuente.

Gracias a la baja energía relativa de la radiación del iterbio-169, las cámaras gammagráficas para estas fuentes pueden ser pequeñas y ligeras.

## **EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES**

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos han sido conocidos y estudiados con detalle desde hace muchos años. Fueron observados por primera vez en 1896 en algunos de los primeros usuarios de los rayos X. Estos notaron una caída del cabello en aquellas áreas que habían sido expuestas, la piel se volvió roja, y si recibía grandes cantidades de radiación se ulceraba. Además encontraron que a menudo se desarrollaba, años más tarde, cáncer de piel sobre las áreas que habían sido expuestas. Después del descubrimiento del radio en 1898, se observaron efectos similares producidos por la radiactividad concentrada.

### **Mecanismos de acción biológica de las radiaciones ionizantes**

Para comprender el efecto biológico de las radiaciones ionizantes, se han invocado dos teorías que lejos de ser contradictorias, se complementan perfectamente.

- Teoría de Acción Directa o Teoría del Blanco. Vincula el efecto biológico y la importancia del mismo con la responsabilidad biológica del blanco (diana) alcanzado y del número de dianas impactadas. Si tenemos en cuenta que en cualquier modelo biológico y, más concretamente, en las células humanas la posibilidad de reproducción de las mismas y el adecuado cumplimiento del código genético está vinculado al genoma, es decir, a los  cromosomas del núcleo celular, o lo que es lo mismo a la integridad del ácido desoxirribonucleico (ADN), el daño celular será proporcional a la lesión inducida en el ADN.

Si esta lesión es irreversible y por tanto no reparable, la consecuencia será la muerte reproductiva de la célula alcanzada. Si por el contrario la lesión radioinducida es reparada, tendremos un ADN capacitado para ir hacia mitosis sucesivas, pero con la posibilidad de transmitir alteraciones en la línea genética, mutaciones sumadas a las propias de la generación en la que le corresponda actuar como gen dominante.

Esta teoría explica el efecto biológico que se produce en el momento y en el lugar de la cesión de energía con capacidad ionizante y los efectos tanto somáticos como genéticos.

- Teoría de Acción Indirecta o Teoría de los Radicales libres. Se complementa con la anterior, puesto que explica la serie de fenómenos biológicos que se producen incluso fuera del momento y del lugar del depósito de energía ionizante.

Es bien conocido el componente de volumen agua en las células del ser humano normalmente hidratado, estimado en un 70%. El efecto de la ionización en las moléculas de agua es lo que se conoce como "radiólisis del

agua". Se produce una ruptura de la molécula con la liberación de los radicales que la componen,  $H^+$  y  $OH^-$ . Estos radicales adquieren una rápida tendencia a recombinarse pudiendo dar lugar a la formación de nuevas moléculas de agua o, lo que es más frecuente, a agua oxigenada que presenta una elevada toxicidad para el medio biológico en donde se forma.

Se consigue por tanto intoxicar el medio biológico, intra y extracelular, lo que complica la vida del mismo.

### **Clasificación de los efectos producidos por las radiaciones ionizantes**

Son muchas las posibles clasificaciones que se podrían realizar sobre los efectos de las radiaciones ionizantes. Sin embargo, nos vamos a referir aquí a aquella que más frecuentemente se utiliza en protección radiológica y que hace referencia a la transmisión celular de los efectos y a su relación con la dosis.

En primer lugar, los efectos pueden clasificarse en:

**Somáticos y genéticos**, en función de si son inducidos sobre las células de la línea somática o germinal. El daño somático se manifiesta durante la vida del individuo irradiado, mientras que los efectos genéticos son inducidos sobre su descendencia. Los efectos somáticos se dividen a su vez en **inmediatos y tardíos**, en función del tiempo transcurrido desde su irradiación.

A su vez y en función de la incidencia que tiene la radiación sobre los efectos, éstos se clasifican en **deterministas y en estocásticos**.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica, ICRP, publicación 60, 1990, define los efectos estocásticos como aquéllos para los cuales la probabilidad de que un efecto ocurra, más que su severidad, es función de la dosis, sin umbral. Los efectos deterministas son aquellos para los cuales la severidad del efecto varía con la dosis, siendo necesario un valor umbral).

Los efectos estocásticos se pueden presentar tanto en el individuo expuesto (efectos estocásticos somáticos, como sería en caso de la carcinogénesis), como también en la descendencia (efectos estocásticos hereditarios).

Al igual que en la irradiación de células no germinales, las células germinales irradiadas pueden experimentar efectos deterministas (esterilidad); efectos que evidentemente no son hereditarios y por lo tanto no hemos de identificar los efectos producidos por la irradiación de las gónadas con los efectos genéticos.

En la tabla 3 se presenta un esquema aclaratorio de estos conceptos.

**Tabla 3**

Clasificación de los tipos de efectos biológicos estocásticos/deterministas y somáticos/genéticos

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

**Los efectos somáticos inmediatos** aparecen en la persona irradiada en un margen de tiempo que va desde unos días hasta unas pocas semanas después de la exposición. Se trata de efectos deterministas y se pueden manifestar en un tejido concreto o sobre el cuerpo considerado como un todo, bajo un síndrome de denominación específica (por ejemplo, síndrome hematológico, gastrointestinal, etc.), y su severidad varía considerablemente con la dosis, tipo de energía de la

radiación, así como la parte del cuerpo irradiada. Para estos efectos somáticos inmediatos, se supone que existe en cierta medida, un proceso de

recuperación celular como, por ejemplo, en el caso de la fibrosis pulmonar debida a una dosis excesiva de radiación o los eritemas de la piel.

**Los efectos somáticos tardíos** son aquéllos que ocurren al azar dentro de una población de individuos irradiados. Son, por tanto, estocásticos, no siendo posible en ningún caso, establecer para ellos una relación dosis-efecto individual. La relación entre la inducción de una malignidad (leucemia, tumor, etc.) y la dosis, sólo podemos establecerla sobre grandes grupos de población irradiada, como un incremento en la probabilidad de que ocurra una enfermedad determinada por encima de su incidencia natural.

Decimos que son tardíos cuando el efecto se manifiesta entre 10 y 40 años después de la exposición. Por ejemplo, es frecuente encontrar períodos de latencia de 20-26 años para cánceres inducidos por radiación y de 10-15 años en el caso de leucemias.

Los efectos genéticos afectan a la descendencia. Pueden aparecer en la primera generación, en cuyo caso el daño se dice que es dominante. Más frecuentemente el efecto se manifiesta en individuos de las generaciones sucesivas (enfermedades hereditarias, defectos mentales, anormalidades del esqueleto, etc.). Son efectos estocásticos, puesto que dependen de la probabilidad de que una célula germinal con una mutación relevante, tome parte en la reproducción.

## **Respuesta sistémica a la radiación**

### **Efectos deterministas**

Al hablar de la respuesta sistémica a la radiación nos referimos a la respuesta de un sistema que dependerá de la respuesta de los órganos que lo constituya, de la de sus tejidos, así como de la respuesta de las poblaciones celulares de estos tejidos.

El orden de magnitud que se suele emplear al referirse a las diferentes dosis es:

- dosis baja : hasta 1 Gy
- dosis media : entre 1 Gy y 10 Gy
- dosis alta : superior a 10 Gy

Suponiendo que estas dosis se reciban en un sólo órgano.

Los límites de dosis para personal profesionalmente expuesto y público en general están por debajo de estos órdenes de magnitud, con lo que se garantiza que no se presentarán efectos de tipo determinista.

**Sensibilidad de los tejidos.** La respuesta de un tejido u órgano a una dosis de radiación depende primariamente de dos factores: la sensibilidad inherente de las células, consideradas individualmente, y la cinética de la población, considerando al conjunto de sus células.

Desde 1906, es decir, sólo diez años después de los primeros datos respecto a fuentes de radiación rayos X y elementos radiactivos naturales, dos autores franceses, Bergonie y Tribondeau, emitieron sus enunciados respecto a las diferente radiosensibilidad de las células y tejidos vivos. De manera prácticamente exclusiva vinculan la rápida e intensa respuesta de los tejidos a la capacidad reproductora de las células que los componen, es decir, de forma directamente proporcional al índice de mitosis.

Por otra parte ya era sabida la individualización, no sólo de cada tejido respecto a las mitosis presentes en el mismo (índice mitótico), sino también la situación individual de cada célula en el seno del tejido en diferente momento de su vida (asincronía celular). El efecto biológico dependerá por tanto, no sólo del elevado número de mitosis, sino también del momento de su ciclo vital en que se encuentre cada célula.

En el caso del ser humano podríamos poner dos ejemplos ilustrativos; uno en cada extremo, es decir, máxima frente a mínima radiosensibilidad. El tejido cuya reproducción es necesariamente elevada es aquel donde se encuentran los precursores de las células de la sangre. Es el tejido hematopoyético, presente en la médula ósea, considerado como el más radiosensible y el más

crítico frente a la radiaciones. En el otro extremo, baja radiosensibilidad, se encuentra el tejido humano más especializado, con bajísima capacidad reproductiva y con predominio de células adultas, maduras, es el tejido nervioso.

Hay otros factores que también influyen en la radiosensibilidad de los tejidos, unos dependientes de la propia radiación, como es la densidad de ionizaciones que deja en su trayectoria (transferencia lineal de energía), y otros dependientes de la distribución de la dosis en el tiempo. Desde el punto de vista biológico se ha demostrado también que la presencia de oxígeno aumenta la radiosensibilidad.

### **Descripción de las alteraciones sistémicas**

#### **Sistema hematopoyético**

Como consecuencia de la elevada radiosensibilidad de los precursores hematopoyéticos, dosis moderadas de radiaciones ionizantes pueden provocar una disminución proliferativa de las células, lo que se traduce al cabo de un corto período de tiempo en un descenso del número de células funcionales de la sangre. La pérdida de leucocitos conduce, tras la irradiación, a una disminución o falta de resistencia ante los procesos infecciosos. Por otra parte, la disminución del número de plaquetas indispensables para la coagulación sanguínea provoca una marcada tendencia a las hemorragias, que sumado a la falta de producción de nuevos elementos sanguíneos de la serie roja, puede provocar una grave anemia.

#### **Sistema digestivo**

El intestino delgado es la parte más radiosensible del tubo digestivo. Está constituido por un revestimiento formado por células que no se dividen, sino que se desescaman diariamente hacia la luz del tubo y son sustituidas por nuevas células. Al igual que ocurre en la médula ósea, en esta región existe un compartimento de células cepa, que se dividen activamente, y que tienen una elevada sensibilidad.

La radiación puede llegar a inhibir la proliferación celular y, por tanto, el revestimiento puede quedar altamente lesionado, teniendo lugar una disminución o supresión de secreciones, pérdida de elevadas cantidades de líquidos y electrolitos.

### **Piel**

Después de aplicar dosis de radiación moderada o alta, se producen reacciones tales como inflamación, eritema y descamación seca o húmeda de la piel.

### **Testículo**

Como consecuencia de la irradiación de los testículos se puede producir la despoblación de las espermatogonias, lo que se traduce en la disminución de nuevos espermatozoides, aunque la fertilidad puede mantenerse durante un período variable atribuible a los radiorresistentes espermatozoides maduros. A este período le sigue, finalmente, otro de esterilidad temporal o permanente según la dosis recibida.

### **Ovario**

Después de irradiar los ovarios con dosis moderadas, existe un período de fertilidad debido a los relativamente radiorresistentes folículos maduros, que pueden liberar un óvulo. A este período fértil le puede seguir otro de esterilidad temporal o permanente, como consecuencia de las lesiones en los folículos intermedios al impedirse la maduración y expulsión del óvulo. Posteriormente, puede existir un nuevo período de fertilidad como consecuencia de la maduración de los óvulos, que se encuentran en los folículos pequeños y radiorresistentes.

Las dosis necesarias para producir esterilización varían en función de la edad, dado que a medida que se aproxima la edad de la menopausia el número de ovocitos primarios disminuye y, por tanto, la dosis esterilizante es más baja.

### **Efectos estocásticos**

La mayor parte de los efectos tardíos se producen como consecuencia de la alteración del material genético de aquellas células que sobreviven a la radiación, exceptuando las distintas etapas de afectación de órganos, tales como fibrosis o ulceraciones, que se pueden presentar tardíamente y que son efectos no estocásticos.

Para este tipo de efectos no puede hablarse de una dosis umbral, dado que bastaría una interacción, simbólicamente hablando, para que se produjeran.

Otra característica, es que al aumentar la dosis aumente la probabilidad de que tengan lugar estos efectos, aunque no la de que sean más graves. Ocasionalmente, por alguna razón desconocida, los genes y el ADN cambian espontáneamente, produciendo lo que se denominan mutaciones espontáneas, que se caracterizan por ser permanentes y por mantenerse en las sucesivas generaciones de células formadas a partir de la división de una célula mutada. Si las células mutadas son células germinales, existe la posibilidad de que la descendencia del individuo irradiado exprese los efectos originados por la mutación; por el contrario si las células mutadas no son células germinales tan sólo en el individuo irradiado existe la posibilidad de que se manifiesten los efectos.

De acuerdo con estos criterios podemos hacer una clasificación de los efectos estocásticos en los siguientes puntos:

- a) **Somáticos:** afectan a la salud del individuo, que ha recibido la irradiación.
- b) **Genéticos:** afectan a la salud de los descendientes del individuo irradiado.

### **Respuesta orgánica total a la radiación**

La respuesta orgánica total viene determinada por la respuesta combinada de todos los sistemas orgánicos a la radiación. La respuesta de un organismo adulto a una exposición aguda (en un tiempo corto, del orden de minutos), de radiación penetrante (rayos X, gamma o neutrones), que provenga de una

fuente externa y que afecte a todo el organismo, se conoce como síndrome de irradiación.

La respuesta que se presenta a una dosis de irradiación corporal y total se puede dividir en tres etapas:

- **Prodrómica.** Se caracteriza por náuseas, vómitos y diarreas. Puede durar desde algunos minutos hasta varias horas.
- **Latente.** Ausencia de síntomas. Varía desde minutos hasta semanas.

**De enfermedad manifiesta.** Aparecen los síntomas concretos de los sistemas lesionados. El individuo se recupera o muere como consecuencia de las radiolesiones. Varía desde minutos hasta semanas.

### **Evaluación / cuantificación del riesgo de las radiaciones**

La evaluación del riesgo de las radiaciones se basa en la probabilidad de sufrir los efectos mencionados anteriormente, y en la severidad de éstos.

Varios organismos internacionales publican los resultados de los estudios llevados a cabo en este sentido sobre amplios grupos de población. Entre ellos figuran la ICRP (anexo B de la ICRP-60, año 1990) y el volumen II del UNSCEAR-2000 . La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) establece que las estimaciones de riesgo asumidas, lo son únicamente con fines de protección y están ajustadas de forma tal que sean aplicables en la región de bajas dosis.

### **MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA LAS RADIACIONES IONIZANTES**

Las medidas de protección radiológica contra las radiaciones ionizantes están recogidas en su mayor parte en el RD 783/2001 y se basan en el principio de que la utilización de las mismas debe estar plenamente justificada con relación a los beneficios que aporta y ha de efectuarse de forma que el nivel de exposición y el número de personas expuestas sea lo más bajo posible, procurando no sobrepasar los límites de dosis establecidos para los

trabajadores expuestos, las personas en formación, los estudiantes y los miembros del público. Estas medidas consideran los siguientes aspectos:

- Evaluación previa de las condiciones laborales para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización.
- Clasificación de los lugares de trabajo en diferentes zonas, considerando la evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales.
- Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías según sus condiciones de trabajo.
- Aplicación de las normas y medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas y las distintas categorías de trabajadores expuestos, incluida, si es necesaria, la vigilancia individual.
- Vigilancia sanitaria.

### **Limitación de dosis**

La observación de los límites anuales de dosis constituye una medida fundamental en la protección frente a las radiaciones ionizantes. Los límites de dosis son valores que nunca deben ser sobrepasados y que pueden ser rebajados de acuerdo con los estudios de optimización adecuados y se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa e interna en el periodo considerado. Los límites de dosis actualmente en vigor, están referidos a un periodo de tiempo de un año oficial y diferencian entre trabajadores expuestos, personas en formación o estudiantes y miembros del público. También están establecidos límites y medidas de protección especial para determinados casos, como mujeres embarazadas y en período de lactancia y exposiciones especialmente autorizadas.

<b>DOSIS EFECTIVA</b>	<b>Personas profesionalmente expuestas</b>	Trabajadores	100 mSv/5 años oficiales consecutivos (máximo: 50 mSv/cualquier año oficial) <sup>(2)</sup>
		Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años) <sup>(3)</sup>	6 mSv/año oficial
	<b>Personas profesionalmente no expuestas</b>	Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años) <sup>(4)</sup>	1 mSv/año oficial
<b>DOSIS EQUIVALENTE</b>	<b>Personas profesionalmente expuestas</b>	Trabajadores	
		Cristalino	150 mSv/año oficial
		Piel <sup>(5)</sup>	500 mSv/año oficial
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv/año oficial
		Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años)	
		Cristalino	50 mSv/año oficial
		Piel <sup>(5)</sup>	150 mSv/año oficial
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	150 mSv/año oficial
	<b>Personas profesionalmente no expuestas</b>	Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años)	
		Cristalino	15 mSv/año oficial

	<b>expuestas</b>	Piel <sup>(5)</sup>	50 mSv/año oficial
<b>CASOS ESPECIALES</b>	<b>Embarazadas (feto)</b>	Debe ser improbable superar	1 mSv/embarazo
	<b>Lactantes</b>	No debe haber riesgo de <u>contaminación</u> radiactiva corporal	
<b>EXPOSICIONES ESPECIALMENTE AUTORIZADAS</b>	Sólo trabajadores profesionalmente expuestos de categoría A: en casos excepcionales las autoridades competentes pueden autorizar exposiciones individuales superiores a los límites establecidos, siempre que sea con limitación de tiempo y en zonas delimitadas.		

1) Dosis efectiva: suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo procedentes de irradiaciones internas y externas.

(2) 10 mSv = 1 rem

(3) Sólo en caso de aprendices y estudiantes que por sus estudios estén obligados a utilizar fuentes radiactivas. En ningún caso se podrán asignar tareas a los menores de 18 años, que pudieran convertirlos en trabajadores expuestos

(4) Excepcionalmente se podrá superar este valor, siempre que el promedio durante 5 años consecutivos no sobrepase 1 mSv por año.

(5) Calculando el promedio en cualquier superficie cutánea de 1 cm<sup>2</sup>, independientemente de la superficie expuesta.

### **Información y formación**

El titular o, en su caso, la empresa externa debe informar, antes de iniciar su actividad, a sus trabajadores expuestos, personas en formación y estudiantes sobre:

- Los riesgos radiológicos asociados.
- La importancia del cumplimiento de los requisitos técnicos, médicos y administrativos.

- Las normas y procedimientos de protección radiológica, tanto en lo que se refiere a la práctica en general como al destino o puesto de trabajo que se les pueda asignar.
- Necesidad de efectuar rápidamente la declaración de embarazo y notificación de lactancia.

Asimismo, también se debe proporcionar, antes de iniciar su actividad y de manera periódica, formación en materia de protección radiológica a un nivel adecuado a su responsabilidad y al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo.

### **Clasificación y delimitación de zonas**

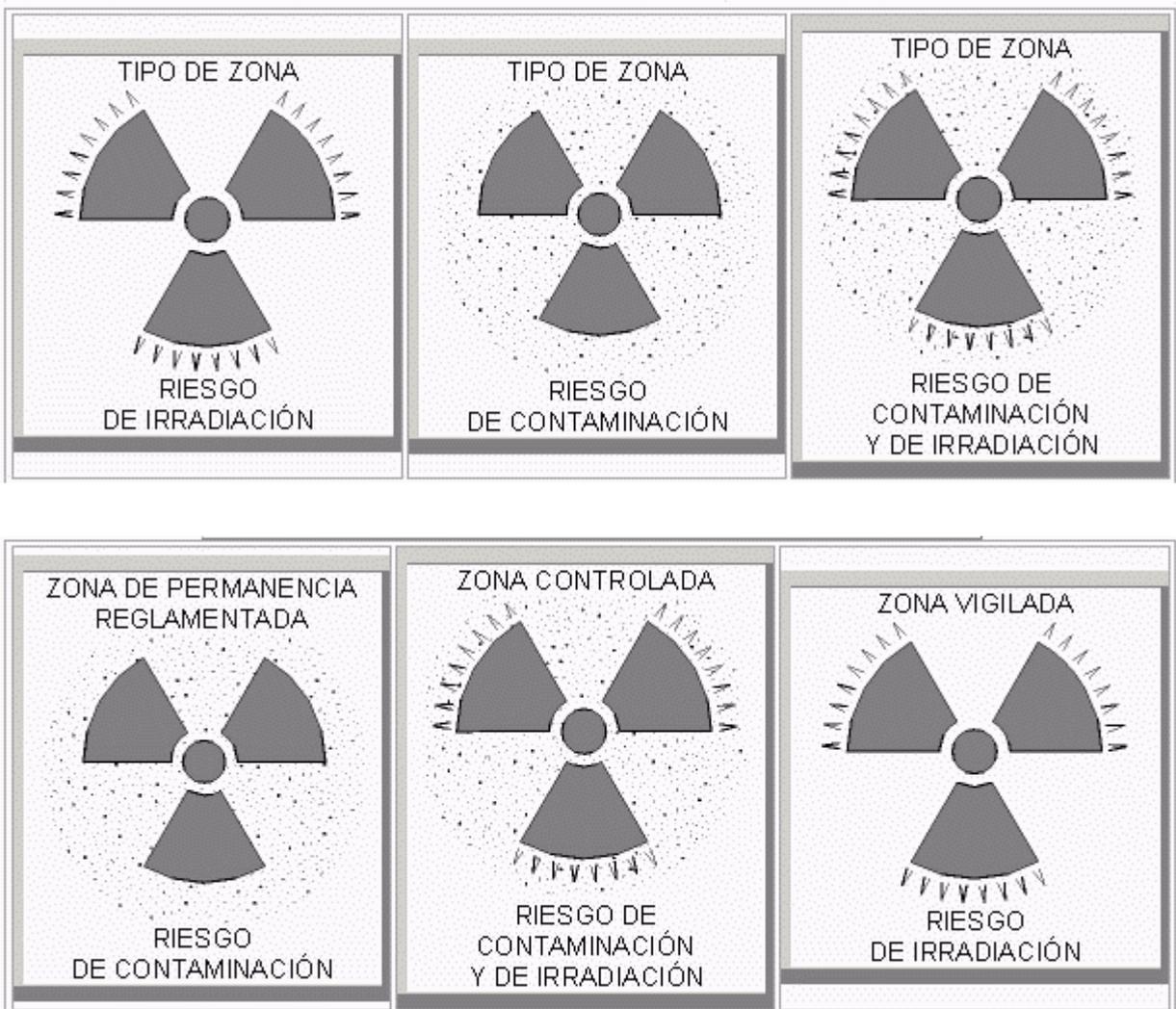
El titular de la actividad debe clasificar los lugares de trabajo, considerando el riesgo de exposición y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, en las siguientes zonas (fig. 4):

- **Zona controlada.** Zona en la que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para cristalino, piel y extremidades. También tienen esta consideración las zonas en las que sea necesario seguir procedimientos de trabajo, ya sea para restringir la exposición, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias. Se señala con un trébol verde sobre fondo blanco.

Las zonas controladas se pueden subdividir en:

- **Zona de permanencia limitada.** Zona en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol amarillo sobre fondo blanco.
- **Zona de permanencia reglamentada.** Zona en la que existe el riesgo de recibir en cortos periodos de tiempo una dosis superior a los límites de dosis. Se señala con un trébol naranja sobre fondo blanco.

- **Zona de acceso prohibido.** Zona en la que hay riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol rojo sobre fondo blanco.
- **Zona vigilada.** Zona en la que, no siendo zona controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, piel y extremidades. Se señala con un trébol gris/azulado sobre fondo blanco.



TIPO DE ZONA	COLOR DE IDENTIFICACIÓN
ZONA VIGILADA	GRIS
ZONA CONTROLADA	VERDE
ZONA DE PERMANENCIA LIMITADA	AMARILLO
ZONA DE ACCESO PROHIBIDO	ROJO
ZONA DE PERMANENCIA REGLAMENTADA	NARANJA

Figura 4.

En caso de que el riesgo fuera solamente de irradiación externa, el trébol va bordeado de puntas radiales y si fuera de contaminación radiactiva el trébol está bordeado por un campo punteado. Si se presentan los dos riesgos conjuntamente el trébol está bordeado con puntas radiales sobre campo punteado.

### **Clasificación de los trabajadores expuestos**

Los trabajadores se consideraran expuestos cuando puedan recibir dosis superiores a 1 mSv por año oficial y se clasificaran en dos categorías:

- Categoría A: personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, pueden recibir una dosis superior 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.
- Categoría B: personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

### **Vigilancia del ambiente de trabajo**

Teniendo en cuenta la naturaleza y la importancia de los riesgos radiológicos, en las zonas vigiladas y controladas se debe realizar una vigilancia del ambiente de trabajo que comprende:

- La medición de las tasas de dosis externas, indicando la naturaleza y calidad de la radiación.
- La medición de las concentraciones de actividad en el aire y la contaminación superficial, especificando la naturaleza de las sustancias radiactivas contaminantes, así como su estado físico y químico.

Estas medidas pueden ser utilizadas para estimar las dosis individuales en aquellos casos en los que no sea posible o resulten inadecuadas las mediciones individuales.

### **Vigilancia individual**

Está en función de la categoría del trabajador y de la zona.

- Trabajadores expuestos de categoría A y en las zonas controladas. Es obligatorio el uso de dosímetros individuales que midan la dosis externa, representativa de la dosis para la totalidad del organismo durante toda la jornada laboral. En caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea deben utilizarse dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas. Si el riesgo es de contaminación interna, es obligatoria la realización de medidas o análisis pertinentes para evaluar las dosis correspondientes. Las dosis recibidas por los trabajadores expuestos deben determinarse cuando las condiciones de trabajo sean normales, con una periodicidad no superior a un mes para la dosimetría externa, y con la periodicidad que, en cada caso, se establezca para la dosimetría interna, para aquellos trabajadores expuestos al riesgo de incorporación de radionucleidos.
- Trabajadores expuestos de categoría B. Las dosis recibidas se pueden estimar a partir de los resultados de la vigilancia del ambiente de trabajo.

La vigilancia individual, tanto externa como interna, debe ser efectuada por Servicios de Dosimetría Personal expresamente autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear. El titular de la práctica o, en su caso, la empresa externa debe transmitir los resultados de los controles dosimétricos al Servicio de

Prevención que desarrolle la función de vigilancia y control de salud de los trabajadores.

En caso de exposiciones accidentales y de emergencia se evalúan las dosis asociadas y su distribución en el cuerpo y se realiza una vigilancia individual o evaluaciones de las dosis individuales en función de las circunstancias. Cuando a consecuencia de una de estas exposiciones o de una exposición especialmente autorizada hayan podido superarse los límites de dosis, debe realizarse un estudio para evaluar, lo más rápidamente posible, las dosis recibidas en la totalidad del organismo o en las regiones u órganos afectados.

### **Evaluación y aplicación de las medidas de protección radiológica**

El titular de la práctica es responsable de que el examen y control de los dispositivos y técnicas de protección, así como de los instrumentos de medición, se efectúen de acuerdo con los procedimientos establecidos. En concreto debe comprender:

- El examen crítico previo de los proyectos de la instalación desde el punto de vista de la protección radiológica.
- La autorización de puesta en servicio de fuentes nuevas o modificadas desde el punto de vista de la protección radiológica.
- La comprobación periódica de la eficacia de los dispositivos y técnicas de protección.
- La calibración, verificación y comprobación periódica del buen estado y funcionamiento de los instrumentos de medición.

Todo ello se realiza con la supervisión del Servicio de Protección Radiológica o la Unidad Técnica de Protección Radiológica, o en su caso, del Supervisor o persona que tenga encomendadas las funciones de protección radiológica. La obligatoriedad de disponer de una u otra figura lo decide, en cada caso, el Consejo de Seguridad Nuclear en función del riesgo radiológico existente y deben estar autorizados por el mismo.

### **Vigilancia sanitaria**

La vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos se basa en los principios generales de la Medicina del Trabajo y en la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, sobre la Prevención de Riesgos Laborales, y Reglamentos que la desarrollan.

Toda persona que vaya a incorporarse a un trabajo que implique exposición a radiaciones ionizantes que suponga su clasificación como trabajador expuesto de categoría A debe someterse a un examen médico de salud previo, que permita conocer su estado de salud, su historial laboral y, en su caso, el historial dosimétrico que debe ser aportado por el trabajador y, en consecuencia, decidir su aptitud para el trabajo. A su vez, los trabajadores expuestos de categoría A están obligados a efectuar exámenes de salud periódicos que permitan comprobar que siguen siendo aptos para sus funciones. Estos exámenes se deben realizar cada doce meses y más frecuentemente, si lo hiciera necesario, a criterio médico, el estado de salud del trabajador, sus condiciones de trabajo o los incidentes que puedan ocurrir.

### **Registro y notificación de los resultados**

El historial dosimétrico de los trabajadores expuestos, los documentos correspondientes a la evaluación de dosis y a las medidas de los equipos de vigilancia, así como los informes referentes a las circunstancias y medidas adoptadas en los casos de exposición accidental o de emergencia, deben ser archivados por el titular, hasta que el trabajador haya o hubiera alcanzado la edad 75 años, y nunca por un período inferior a 30 años, contados a partir de la fecha de cese del trabajador. El titular debe facilitar esta documentación al Consejo de Seguridad Nuclear y, en función de sus propias competencias, a las Administraciones Públicas, en los supuestos previstos en las Leyes, y a los Juzgados y Tribunales que lo soliciten. En el caso de cese del trabajador el titular debe facilitarle una copia certificada de su historial dosimétrico. A los trabajadores expuestos de categoría A se les abrirá un historial médico, que debe mantenerse actualizado durante todo el tiempo que el trabajador pertenezca a dicha categoría y que debe archivar hasta que el trabajador alcance los 75 años y, nunca por un período inferior a 30 años desde el cese

de la actividad, en los Servicios de Prevención que desarrollen las funciones de vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

Posibilidad de exposición	de 1 mSv < Dosis anual ≤ 6 mSv	Dosis anual > 6 mSv
Clasificación de trabajadores	Clase B	Clase A
Clasificación de zonas	Vigilada	Controlada
Vigilancia del ambiente de trabajo	Sí Dosimetría de área	Sí Si hay riesgo de contaminación: EPI y detectores de radiación obligatorios
Vigilancia individual	No	Sí Dosimetría personal
Vigilancia específica de la salud	No	Sí Inicial y anual
Nota: Por debajo de una dosis anual de 1 mSv se considera que no hay exposición		

**Figura 5. Protección radiológica de los trabajadores expuestos (RD 783/2001)**

### **Medidas básicas de protección radiológica**

Aparte de los aspectos comentados, en función del tipo de riesgo de exposición, ya sea de irradiación externa o de contaminación radiactiva, deben observarse las denominadas medidas básicas de protección radiológica.

#### **Irradiación externa**

En este caso, en el que no hay un contacto directo con la fuente, las medidas de protección consisten en:

- Limitar el tiempo de exposición.
- Aumentar la distancia a la fuente, ya que la dosis disminuye de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
- Apantallamiento de los equipos y la instalación.

### **Contaminación radiactiva**

En este caso hay o puede haber contacto directo con la fuente, por lo que las medidas preventivas se orientan a evitarlo. Como norma general, el personal que trabaja con fuentes radiactivas no encapsuladas debe conocer de antemano el plan de trabajo, los procedimientos y las personas que van a efectuar las distintas operaciones. El plan de trabajo debe contener información sobre:

- Medidas preventivas que deben tomarse.
- Procedimientos de descontaminación.
- Gestión de residuos radiactivos.
- Actuación en caso de accidente o incidente.
- El plan de emergencia.

Las medidas específicas de protección contra la contaminación radiactiva dependen de la radiotoxicidad y actividad de los radionucleidos y se establecen actuando, tanto sobre las estructuras, instalaciones y zonas de trabajo, como sobre el personal, mediante la adopción de métodos de trabajo seguros y, si es necesario, el empleo de equipos de protección individual adecuados.

## **USOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES: MEDICINA E INDUSTRIA**

### **Las radiaciones ionizantes en medicina**

La aplicación de las radiaciones ionizantes en medicina ha dado lugar a especialidades médicas basadas en la tecnología. Desde su descubrimiento, el crecimiento y desarrollo de las radiaciones ionizantes ha sido paralelo al avance de la medicina. Su extensión ha permitido un mejor conocimiento tanto de la anatomía normal y patológica, como en muchos casos de la fisiología normal y anormal de los seres vivos. La investigación en radiaciones ionizantes

no sólo contempla mejorar la tarea cotidiana de interpretar imágenes, diagnosticar y tratar enfermedades, sino también busca nuevos conocimientos en medicina para su propia causa, del mismo modo que también lo hacen otras técnicas no radiológicas.

El uso de las radiaciones ionizantes da lugar a unos efectos biológicos sobre la materia viva. En realidad, de todos los agentes físicos y químicos presentes en nuestro entorno, los efectos de las radiaciones ionizantes son ciertamente los mejor conocidos y los datos sobre los que se basa la evaluación de los mismos se remontan prácticamente a la época de su descubrimiento.

No obstante, se considera que su aplicación en medicina es beneficiosa, aunque si no se opera debidamente, las dosis recibidas son a menudo innecesariamente elevadas, cuando de hecho, pueden reducirse considerablemente sin pérdida alguna de eficacia.

Después de las fuentes de radiación natural, la exposición médica es, la mayor fuente de exposición creada por el hombre.

Para poder valorar posteriormente el impacto que las fuentes de radiaciones ionizantes aplicadas en medicina producen sobre los seres vivos, tanto a nivel individual como colectivo, parece oportuno repasar, aunque sea muy someramente, qué tipo de fuentes se emplean, así como la gama de energías y dosis que se manejan.

La medicina designa la exposición de los individuos sometidos a examen o a tratamientos médicos con ayuda de radiaciones.

- Exámenes o tratamientos (diagnóstico y terapia) directamente relacionados con las enfermedades.
- Investigación médica.
- Exámenes realizados con fines médicos legales o a efectos de seguros.

Se desprende pues, que la mayor aplicación de las radiaciones ionizantes en medicina se encuentra en el campo del diagnóstico. Para ello se emplean fundamentalmente rayos X de baja energía y, en aquellos órganos o

estructuras del cuerpo humano donde la imagen obtenida mediante ellos no ha aportado suficiente información se ha recurrido al uso, y cada vez con mayor éxito, de otras fuentes de radiación, como son los radionucleidos.

## **Diagnóstico**

### **Radiodiagnóstico**

Desde el descubrimiento por Wilhelm Roëntgen, en el año 1895, de los rayos-X hasta nuestros días, la medicina ha llegado a perfeccionar el método de aplicación de estas radiaciones mediante el desarrollo de equipos capaces de obtener imágenes de gran precisión, a la vez que someten al paciente a las dosis mínimas posibles.

Los métodos de grafía y escopia se aplican prácticamente a todas las partes del cuerpo humano. Con ellos son posibles reconocimientos médicos a nivel de esqueleto, tórax, abdomen, sistema nervioso, tubo digestivo, vías biliares, aparato urinario, vasos, corazón, exámenes especiales, etc.

Sin duda, los equipos más extendidos son las unidades básicas de grafía y las exploraciones más realizadas hasta los últimos años han sido las de tórax. Sin embargo, esta práctica está descendiendo notablemente debido, entre otros factores, al descenso de la tuberculosis en nuestra sociedad y a la existencia de mejores métodos para la detección prematura del cáncer de pulmón. Además, aplicando el criterio de que las exposiciones a radiaciones ionizantes deben limitarse a motivos sintomáticos, cada vez menos países incluyen en las exploraciones médicas anuales, este tipo de chequeo.

Merece mención especial la mamografía, técnica que comenzó a utilizarse a partir de los años 50. En la actualidad, gracias a los equipos existentes al efecto (mamógrafos) y los métodos empleados, se considera que dicha exploración es el método más sensible para la detección precoz del cáncer de mama.

También dentro de las técnicas de grafía hay que citar los equipos específicos que se aplican en el campo de la estomatología y de la odontología. Se trata de

pequeños generadores de rayos X que operan, según los siguientes procedimientos:

- Radiografía con película intraoral.
- Radiografía panorámica con tubo de rayos X intraoral.
- Pantomografía.

De momento, el mayor hito en la revolución de la tecnología radiológica, se dio en la década de los años 70 con la aparición de la Tomografía Computerizada (CT). La CT obtiene imágenes de secciones de un órgano representando claramente el aspecto del mismo incluidos tejidos blandos. Por tanto, proporciona un rango dinámico más amplio que la radiografía convencional, con una superior discriminación de tejidos. Esta práctica ha sustituido en muchos casos a la cirugía exploratoria. Además, permite estancias más reducidas de los pacientes en lo que respeta a la fase preoperatoria. En diversas localizaciones tumorales se ha convertido en una herramienta indispensable y cada vez es mayor su necesidad en la planificación de tratamientos con radioterapia.

### **Aplicaciones diagnósticas con radionucleidos**

Los radionucleidos son empleados para el estudio de diversas patologías, tumores, metástasis, estudios médicos, etc.

Hoy su aplicación ha dado lugar a una especialidad diferenciada llamada medicina nuclear, que en el campo del diagnóstico, permite:

- El examen funcional preciso de diferentes órganos.
- La visualización rápida y no traumática mediante gammagrafías.
- El estudio dinámico de los fenómenos rápidos (ej. circulación cardíaca, cerebral, etc.)

Pueden utilizarse radionucleidos puros o bien sustancias portadoras muy diversas, –dependiendo del órgano a explorar–, marcadas con radionucleidos. El "marcaje" amplía la gama de posibilidades diagnósticas puesto que la sustancia portadora puede ser de índole muy diversa (proteínas, hormonas,

compuestos orgánicos), con lo que se permite estudiar una gran variedad de funciones biológicas.

Actualmente se utilizan emisores gamma de baja energía y de periodos de semidesintegración cortos, lo cual facilita su rápida eliminación. El radionucleido más utilizado es el  $^{99m}\text{Tc}$  aunque también se utiliza  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{111}\text{In}$ , etc. Estas sustancias se administran vía parenteral o endovenosa.

Para su detección, se emplea un cristal de centelleo, que se acopla a una serie de tubos fotomultiplicadores con el fin de transformar la señal luminosa en eléctrica.

En cuanto a exploraciones "in vitro", los radionucleidos poseen un amplio campo de aplicaciones clínicas y de investigación. El radioinmunoensayo o radioinmunoanálisis (RIA, como se le tiende a llamar), es un conjunto de técnicas de gran interés en la clínica humana. Permite análisis tanto cualitativos como cuantitativos, así como la detección en sangre de hormonas peptídicas, esteroideas, drogas, antígenos tumorales, etc. Se manejan emisores beta y gamma de baja y media energía, fundamentalmente  $^{125}\text{I}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{57}\text{Co}$ , etc. y cuando se trata de trabajos de investigación, la diversidad de isótopos es mucho mayor.

A diferencia de los usados en las técnicas de diagnóstico "in vitro", su periodo de semidesintegración es más largo (días e incluso años). Pero, en cualquiera de los casos, las fuentes se presentan abiertas, es decir, en forma no encapsulada, de manera que todo aquello con lo que entra en contacto, es impregnado de partículas radiactivas. El uso de material radiactivo trae consigo la producción inevitable de residuos radiactivos. La tabla 1 muestra los isótopos más empleados en medicina nuclear.

Principales radionucleidos utilizados en medicina nuclear

Radionucleido	$T_{1/2}$	Tipo de radiación	Aplicación

$^{99m}\text{Tc}$	6 horas	gamma	Es el más empleado tanto como radionucleido y también como radiofármaco (1)
$^{201}\text{Tl}$	3 días	gamma	Estudios cardíacos para la detección de angina e infarto de miocardio
$^{131}\text{I}$	8 días	beta + gamma	Diagnóstico y tratamiento tiroideo, estudios renales, marcaje de anticuerpos
$^{125}\text{I}$	60 días	beta + fotónica	Técnicas analíticas de radioinmunoanálisis
$^{111}\text{In}$	2,8 días	gamma	Marcaje de células sanguíneas. Detección de inflamaciones
$^{67}\text{Ga}$	3,3 días	gamma	Detección de tumores y procesos inflamatorios crónicos
$^{51}\text{Cr}$	28 días	gamma	Marcaje de células sanguíneas, estudios hematológicos
$^{59}\text{Fe}$	45 días	gamma	Estudio de <a href="#">metabolismo</a> del hierro
$^{90}\text{Y}$	2,7 días	beta	Tratamiento de procesos articulares
$^{99}\text{Mo}$	66 h	beta + gamma	Generadores de $^{99m}\text{Tc}$
$^{32}\text{P}$	14 días	beta	Tratamiento de procesos hematológicos
$^{18}\text{F}$	110 min	positrón + fotones de aniquilación	Estudios tomográficos mediante emisores de positrones (PET)

(1) Como radionucleido: gammagrafía tiroidea, estudios cerebrales, Como radiofármaco: estudios de hígado y bazo. Detección de hemorragias digestivas, Estudios óseos, cardíacos, pulmonares, renales, de vasos linfáticos,

### **Radioterapia**

Si bien radioterapia significa, etimológicamente, tratamiento con radiaciones en su sentido más amplio, en la realidad se aplica este nombre a una especialidad médica, que se ocupa del tratamiento de determinadas enfermedades, fundamentalmente oncológicas, por medio de radiaciones ionizantes.

Desde las simples aplicaciones de una fuente de radio en la piel, de principios del siglo XX, hasta los sofisticados tratamientos que se realizan ahora, han mediado incesantes e intensas investigaciones médicas, biológicas, físicas y técnicas que permiten conocer con mucha precisión los medios de que se dispone y los resultados que se espera obtener de ellos.

La radioterapia es un procedimiento que compite en igualdad de condiciones con la quimioterapia, la cirugía y la inmunología en el tratamiento de tumores malignos.

Los tumores malignos tienen las características siguientes:

- Son agrupaciones de células, que crecen de forma incontrolada, infiltrando y destruyendo los tejidos sanos donde se insertan.
- Pueden formar metástasis a distancia, es decir, tumores semejantes al primario en zonas alejadas de él, por desplazamiento de células tumorales a través de vía hemática y/o linfática.
- Pueden recaer después de un tratamiento y la probabilidad de que esto ocurra depende del número de células viables o capaces de proliferar que quedan sin destruir durante el tratamiento.

Las radiaciones ionizantes destruyen las células tumorales pero también pueden destruir las células sanas donde aquéllas se asientan o las circundan. La meta de la radioterapia es llevar la máxima dosis de radiación posible a las células tumorales, con un mínimo de dosis a los tejidos circundantes. Ello

requiere un conocimiento amplio de los procesos de interacción de las radiaciones con la materia viva y la respuesta de ésta a las radiaciones ionizantes, y a la vez la posibilidad de barajar distintas técnicas de irradiación, que permitan administrar la dosis con un reparto adecuado en el espacio y en el tiempo.

### **Clasificación de la radioterapia**

Las distintas formas de hacer radioterapia se pueden agrupar de acuerdo a distintos parámetros.

- **Por la fuente de radiación empleada.**
- **Equipos de radiación:** terapia de contacto RX, terapia convencional, aceleradores de electrones circulares y lineales, aceleradores de otras partículas y ciclotrones.
- **Fuentes radiactivas:** terapia superficial ( $^{90}\text{Sr}$ ), curiterapia (  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), telegammaterapia (  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ).
- **Por la energía de las radiaciones utilizadas:** a) baja energía ( RX de menos de 100 kV, radioterapia superficial o de contacto), b) energía media (desde 100 kV hasta 400 kV, siendo la radioterapia convencional) y c) alta energía ( telegammaterapia de  $^{60}\text{Co}$  y  $^{137}\text{Cs}$ , terapia con fotones y electrones procedentes de aceleradores, terapia con haces de partículas de alta transferencia lineal de energía).
- **Por la calidad y características de las radiaciones.**

En este apartado se pueden separar dos clases fundamentales, la irradiación con partículas: electrones (e<sup>-</sup>), protones (p), neutrones (n) y la irradiación con haces de radiación electromagnética: fotones, gamma o rayos X.

- **Por la distancia entre la fuente y los tejidos irradiados,**

Se puede clasificar la radioterapia en tres grupos: **a) terapia de contacto**, donde la fuente está en contacto directo con los tejidos o incluso dentro de ellos, pudiendo ser la **curiterapia intracavitaria**, donde las fuentes radiactivas

( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{192}\text{Ir}$ ) se introducen en cavidades naturales como útero, vagina, recto, etc y se colocan en contacto con la mucosas que descubren estas cavidades y la **curiterapia intersticial**, donde las fuentes radiactivas en forma de agujas, horquillas, hilos, etc, se introducen en los mismos tejidos; **b) terapia superficial**, donde la fuente siempre externa, bien sea un equipo de rayos X o un isótopo radiactivo como el  $^{90}\text{Sr}$ , se pone en contacto con la piel en la zona lesionada, **c) Plesioterapia o terapia de distancia corta**. Es una radioterapia que se hace generalmente con equipos de rayos X y que la distancia entre la fuente y la piel está comprendida entre 10 cm y 50 cm y d) la teleterapia, que se puede llevar a cabo con haces de radiación electromagnética (gamma o con rayos X de frenado) o haces de partículas,  $e^-$ ,  $n$ ,  $p$ , ... para distancia fuente-piel (DFO) mayor de 50 cm. La DFP más frecuente está comprendida entre 80 y 100 cm. aunque actualmente se realizan técnicas especiales de grandes campos, como la irradiación de medio cuerpo o cuerpo total, que precisan distancias mayores, tales como 2,3 ó 4 m. Actualmente se está empezando a utilizar en clínica una técnica especial, que podría incluirse en la plesio o teleterapia, la terapia intraoperatoria, que se hace generalmente con haces de  $e^-$  de los aceleradores y consiste en la introducción del haz o del colimador en el mismo tumor, que se abre al exterior mediante un acto quirúrgico realizado en la misma sala de tratamiento de los aceleradores.

Como se puede deducir de lo que precede, existe una gran variedad de técnicas radioterápicas, que exigen tratamiento completamente distinto, tanto en instalaciones como en dosimetría y utilización.

### **Técnicas de radioterapia**

Siempre con el fin de buscar un resultado óptimo de la radioterapia, pasamos a describir las distintas técnicas y ver qué ofrece cada una de ellas.

De todas las clases de radioterapia enumeradas en el apartado anterior, se pueden extraer dos que dan lugar a procedimientos esencialmente distintos, que son la braquiterapia o curiterapia y la teleterapia.

## Braquiterapia o curiterapia

**Braquiterapia** es la expresión sajona y su origen está en el griego *braqui* que significa próximo. Curiterapia es nombre de origen francés y es un homenaje a los esposos Curie. Mediante la curiterapia que consiste, como ya se ha dicho, en la inclusión de fuentes radiactivas en las cavidades, o la inserción en los tejidos, se consigue en buena medida la irradiación intensa de un volumen reducido consiguiendo minimizar la irradiación de los tejidos sanos próximos al tumor.

**La terapia superficial** que consiste en colocar una fuente en contacto o muy próxima a la piel, se hace fundamentalmente con  $^{90}\text{Sr}$  en equilibrio radiactivo con  $^{90}\text{Y}$ . Se aprovecha para terapia la emisión beta de 0,546 MeV del  $^{90}\text{Sr}$  y de 2,25 MeV del  $^{90}\text{Y}$ . También existen equipos de rayos-X de terapia de contacto que funcionan con tensión inferior a 50 kV. Esta terapia se emplea para lesiones cutáneas de volumen reducido. Las lesiones cutáneas de volumen mayor se tratan con haces de electrones producidos en aceleradores.

**La curiterapia endocavitaria** utiliza el  $^{137}\text{Cs}$ , el  $^{60}\text{Co}$  y el  $^{192}\text{Ir}$ , como fuentes radiactivas, generalmente en forma de tubos. Entre ellos, el más frecuente es el  $^{137}\text{Cs}$ ; sus características, de energía: 0,66 MeV, periodo de semi-desintegración: 30 años y su tasa de dosis equivalente (fotónica) por unidad de actividad y a un metro de distancia, es aproximadamente de  $10^{-4}$  (mSv/h)/MBq. El  $^{226}\text{Ra}$ , que fue el único elemento que se usó originalmente, actualmente se encuentra retirado del uso clínico, porque presenta problemas entre los que resalta la posibilidad de producir contaminación por  $^{222}\text{Rn}$ .

Esta clase de terapia se emplea, fundamentalmente en tumores ginecológicos. Se aplicaba sola o en combinación con teleterapia. También se usa para otras localizaciones como fosas nasales, cavidad oral, recto, pero su uso es mucho menos frecuente.

La curiterapia intersticial emplea el  $^{192}\text{Ir}$  como radionucleido más frecuente, en forma de hilos y horquillas. El  $^{192}\text{Ir}$  tiene una emisión gamma de 0,318 MeV, un periodo de semi-desintegración de 75 días y su tasa de dosis equivalente

(fotónica) por unidad de actividad y a un metro de distancia, es aproximadamente de  $1,6 \cdot 10^{-4}$  (mSv/h)/MBq. Su aplicación es relativamente sencilla y la maleabilidad de las fuentes permite acoplarse a la anatomía. Cualquier localización accesible puede ser tratada con radioterapia intersticial, pero las más frecuentes son lengua, regiones ganglionares cervicales, labio, mucosa de la cavidad bucal, mama, etc. Al igual que la curiterapia intracavitaria, se puede usar sola o en combinación con la teleterapia.

Merece mención también la curiterapia con implantes permanentes. Se hace generalmente con  $^{125}\text{I}$  y  $^{198}\text{Au}$ . Consiste en la colocación de semillas de la fuente radiactiva en la zona o tejido que se pretende irradiar y dejarlas allí de forma permanente. La dosimetría de estas aplicaciones no resulta fácil por la dificultad de reproducir la geometría de la aplicación y la posibilidad de que se muevan.

La dosimetría en todas las aplicaciones de la curiterapia, que consiste en conocer la distribución de la dosis de radiación depositada alrededor de las fuentes, requiere el conocimiento exacto de la situación de las fuentes radiactivas en el espacio, con referencia a puntos anatómicos concretos.

La curiterapia presenta un problema de protección fundamental, que es el riesgo que se deriva del manejo de fuentes radiactivas de varios centenares de MBq. Actualmente este riesgo se ha disminuido mucho con el empleo de técnicas diferidas de aplicación, que consiste en hacer los implantes en dos tiempos: en el primero, el que más tiempo lleva, se colocan los aplicadores no radiactivos, se hacen los controles necesarios con radiografías y, una vez comprobada la correcta colocación de los aplicadores, se colocan las fuentes en un segundo tiempo que es mucho más rápido. También existen sistemas automáticos de carga diferida que reducen el riesgo de exposición de los manipuladores casi a cero.

### **Plesioterapia**

Es terapia con rayos-X en la que la DFP está comprendida entre 5 y 50 cm. Es una transición entre la curiterapia y la teleterapia y hoy casi no se emplea.

## Teleterapia

Cuando los tumores que se quieren irradiar no están asequibles a las aplicaciones de curiterapia, porque se encuentren a varios centímetros de profundidad por debajo de la piel, hay que acudir a la teleterapia, que es, por otro lado, la técnica más generalizada. La teleterapia consiste en la irradiación de un volumen de tejidos situado a una determinada profundidad por debajo de la piel, mediante la incidencia de uno o varios haces de radiación.

Las características de la teleterapia en relación con la curiterapia son las siguientes:

- La distribución de dosis en el espacio no es tan concentrada, pero puede hacerse mucho más homogénea que en la curiterapia.
- La distribución de dosis en el tiempo también tiene un esquema completamente distinto que en curiterapia, mientras que en ésta se da una dosis de forma continua a lo largo de unas cuantas horas o días, a una tasa no demasiado alta -de unos 50 cGy/hora-, en teleterapia se proporciona una dosis a una tasa bastante más alta, de unos 100 ó 200 cGy/min., pero se distribuye a lo largo de un ritmo de una a tres sesiones de duración de uno a cinco minutos, durante varias semanas

Esta clase de fraccionamiento favorece la recuperación biológica de los tejidos, así como la oxigenación de células tumorales hipóxicas, proceso que tiene lugar en los periodos intersesiones.

Los volúmenes irradiados con teleterapia son, en general, mayores que los que se irradian con curiterapia. La irradiación con teleterapia cubre volúmenes que van desde unos cuantos  $\text{cm}^3$  hasta la irradiación del cuerpo completo.

La distribución de dosis dentro de los tejidos, para los tratamientos de teleterapia, es una función de la clase de radiación X, gamma o  $e^-$ , n, p, etc.; de la energía de la radiación; de la distancia fuente-tejido; del tamaño de los campos empleados; de las características del equipo que produce la radiación, y de la técnica empleada, entre otros.

Los haces de radiación de teleterapia se atenúan cuando entran en los tejidos, dando el máximo en la piel, o a unos milímetros o centímetros por debajo de ella a medida que la energía de la radiación crece.

Las ventajas de la radiación de alta energía frente a la de energía media son evidentes, pero también hay límites en la alta energía. Durante los años 60 se desarrollaron aceleradores de electrones circulares y lineales que producían haces de fotones de 40 MeV y de electrones de 30 MeV; hoy se ha demostrado que estas energías tan altas no proporcionan ventajas frente a los haces de 10 a 20 MeV de fotones y, a cambio, los equipos son más sofisticados y mucho más costosos; por tanto, en la actualidad, no se fabrican aceleradores de más de 20 ó 25 MeV de fotones. También han dejado de fabricarse los betatrones para usos médicos ya, que se ha demostrado que los aceleradores lineales son más versátiles.

### **Equipos de radiación**

#### **Unidades de telegammaterapia**

La parte fundamental de estos equipos es la fuente radiactiva que, generalmente, es de  $^{60}\text{Co}$ , aunque también los hay con fuentes de  $^{137}\text{Cs}$ .

El  $^{60}\text{Co}$  emite dos fotones gamma de 1,17 MeV y 1,33 MeV; tiene un periodo de semi-desintegración de 5,3 años y produce una tasa de dosis equivalente (fotónica) por unidad de actividad y a un metro de distancia, de  $3,7 \cdot 10^{-4}$  (mSv/h)/MBq. La fuente de  $^{60}\text{Co}$  es un disco con diámetro variable de 0,75 a 2,5 cm y un espesor de 0,5 a 2 mm. Va encerrada en una cápsula de acero inoxidable que tiene una doble función: por un lado absorbe la radiación beta y, por otro, impide la formación de óxido de  $^{60}\text{Co}$ .

Las fuentes de  $^{60}\text{Co}$  de teleterapia tienen una actividad muy alta, que puede llegar hasta  $4 \cdot 10^{14}$  Bq (400 TBq o aproximadamente  $10^4$  Ci).

### **Acelerador circular Betatrón**

El Betatrón es un dispositivo circular en el que se aceleran electrones que proceden de un filamento incandescente. Esta estructura circular, en la que previamente se ha practicado el vacío, está situada entre los polos de un electroimán que crea campos magnéticos alternantes. Los electrones giran en órbitas fijas, en las que van siendo acelerados hasta altas energías; cuando se ha alcanzado la energía necesaria, los electrones son desviados de su órbita hacia una ventana de salida del haz, o bien se les hace chocar con un blanco de tungsteno y se produce un haz de rayos-X. Pueden conseguir haces de fotones de hasta 45 MeV. Estos equipos, que se difundieron durante los años sesenta, ahora han sido desplazados por los aceleradores lineales.

### **Aceleradores lineales**

En estos equipos la aceleración de los electrones se hace en un recorrido rectilíneo a lo largo de un tubo de vacío que se llama "guía de onda", ya que en él se ha generado una onda electromagnética de muy alta frecuencia (unos 3.000 MHz), que es la encargada de "empujar" los electrones. Igual que en los betatrones, se pueden obtener haces de electrones o de rayos-X. Estos equipos pueden producir haces de distintas calidades, cuyos valores extremos son 4 MeV y 25 MeV para fotones y 4 MeV y 20 MeV para electrones.

### **Salas de tratamiento en teleterapia**

Todos los equipos de teleterapia van instalados en recintos blindados (búnkers) cuyas paredes de hormigón pueden tener hasta 2 m de espesor, y las puertas de acceso a las salas son blindadas con plomo, como en el caso de las unidades de  $^{60}\text{Co}$  y aceleradores de hasta 6 MeV, o con plomo más parafina en aceleradores de más 6 MeV. El plomo tiene como misión proteger de la radiación fotónica. La parafina es para reducir la posible dosis de neutrones que se producen en los aceleradores de más de 10 MeV.

Las instalaciones de teleterapia constan de:

- Sala de tratamiento. Recinto donde va instalado el equipo y se colocan los enfermos para ser irradiados.
- Sala de control remoto. Recinto exterior a la sala de tratamiento desde donde se maneja el equipo de tratamiento.
- Sala de máquinas, en el caso de los aceleradores

### **Aplicaciones de los radisótopos en la industria**

Dentro del campo de la industria, las aplicaciones de los radisótopos son variadas y numerosas y debido a las ventajas que presentan en todos los procesos industriales, se han convertido en una importante herramienta de trabajo.

Las aplicaciones de los radisótopos en la industria se basan en la interacción de la radiación con la materia y su comportamiento en ésta, pudiendo establecerse una clasificación de dichas aplicaciones, de acuerdo con la propiedad en la que se basan, en tres grupos.

a) Acción de la materia sobre la radiación: Al penetrar la radiación a través de la materia experimenta fenómenos de absorción y dispersión. La medida de la radiación, suministra una información muy valiosa sobre el material en el que se produce la interacción de las radiaciones.

b) Acción de la radiación sobre la materia: El poder ionizante de las radiaciones altera las propiedades tanto físicas como químicas de los materiales. En este grupo de aplicaciones, se aprovechan las modificaciones que las radiaciones provocan en los materiales, sin importar lo que suceda con ellas.

c) Trazadores: El empleo de los radisótopos como trazadores se basa en la incorporación o identificación de los mismos con determinado material, para seguir el curso o comportamiento de éste mediante la detección de las radiaciones emitidas.

Otra clasificación que se establece de los radisótopos industriales es atendiendo a la presentación, encontrándonos:

a) Radisótopos no encapsulados: Los isótopos se pueden presentar en forma líquida, sólida, o gaseosa, contenidos en recipientes cerrados pero no sellados; ej. frascos para los sólidos o líquidos y ampollas de vidrio para los gases.

b) Fuentes radiactivas encapsuladas: Aquí los isótopos se encuentran encerrados en cápsulas selladas de materiales resistentes. Igualmente se consideran como fuentes radiactivas encapsuladas aquéllas en las que el material radiactivo se encuentra sólidamente incorporado en materiales sólidos inactivos, de forma que esté protegido contra toda fuga.

### **Aplicaciones basadas en la acción de la materia sobre la radiación**

Para este grupo de aplicaciones se suelen utilizar fuentes radiactivas, casi siempre encapsuladas, de pequeña o mediana actividad. En este grupo se incluyen aplicaciones tales como:

#### **Gammagrafía**

La gammagrafía o radiografía industrial es una técnica que se basa en la absorción diferencial que se produce cuando la radiación gamma atraviesa objetos con defectos y como se impresiona ésta en una placa fotográfica. Es ampliamente utilizada en la inspección de soldaduras.

#### **Medidas de espesores y densidades**

La técnica de medida de espesores y densidades mediante la utilización de fuentes radiactivas se basa en que la intensidad o densidad del flujo de radiación que se transmite o refleja, cuando la radiación atraviesa un material, depende de la densidad del aire y espesor de dicho materia

#### **Medidas de niveles**

La medida y control de nivel mediante el empleo de fuentes de radiación se basa también en la absorción o retrodispersión de las radiaciones en la materia. Los procedimientos utilizados son muy variados y vienen

caracterizados por las posiciones en que se coloca la fuente radiactiva y el detector.

De todos los procedimientos, el más relevante quizás sea el basado en la retrodispersión de la radiación, para medidas de nivel en pozos o depósitos subterráneos.

Este método no sólo encuentra aplicación práctica para medidas de nivel en líquidos, también se hace uso de él en: llenado de botellas de gas, envasado de productos, determinación del nivel de carga en altos hornos, etc. En general, este método es especialmente útil en los casos de líquidos a elevadas temperaturas, líquidos corrosivos, tanques o recipientes a presión y en todos aquellos casos donde sea imposible o indeseable la utilización de dispositivos de contacto.

### **Medidas de humedad**

La determinación de la humedad mediante la utilización de fuentes radiactivas se basa en la moderación de neutrones rápidos al chocar con los átomos de hidrógeno del agua. Este método es de extendida aplicación en análisis de suelos y en construcción de carreteras. Las fuentes de neutrones más utilizadas son:  $^{226}\text{Ra}/\text{Be}$  y  $^{241}\text{Am}/\text{Be}$ .

### **Producción de materiales luminiscentes**

Se basan en la propiedad de las partículas alfa y electrones de producir fenómenos de luminiscencia en algunos materiales. Los productos luminiscentes así obtenidos son de utilidad para señalización de aviones, barcos, ferrocarril, etc. Se utilizan emisores de partículas alfa o beta:  $^3\text{H}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , etc.

### **Detectores de humo**

El método de detección consiste en colocar en el interior de una cámara de un detector de radiación, un emisor alfa o beta, que dé lugar a una corriente de ionización constante. La presencia de humo en la cámara provoca una

disminución de la corriente de ionización, que se puede detectar con un aparato de medida adecuado. La fuente radiactiva más utilizada es  $^{241}\text{Am}$ .

### **Aplicaciones basadas en el empleo como trazadores**

La técnica consiste en incorporar radisótopos -generalmente no encapsulados- a un material para seguir y estudiar el curso o comportamiento de éste, mediante la detección de las radiaciones. Para ello

se pueden seguir dos métodos generales:

- Método físico: 1) El material radiactivo se incorpora al sistema; 2) se convierte en radiactivo el propio sistema. En ambos casos no hay reacción química entre el radionucleido y el sistema que se investiga.
- Método químico: el material radiactivo se incorpora al sistema mediante reacción química con éste.

Dentro del campo de las investigaciones de las autoridades Cubanas se puede constatar que estos llegar a las siguientes conclusiones dentro de las investigaciones que realizaron den cuanto a lo que se refiere a la incapacidad laboral, al síndrome de disfunción de vías respiratorias y a los apuntes sobre condiciones de trabajo y salud en el personal de enfermería, estudios extraídos de la portal ([http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol1\\_1\\_00/rst07100.html](http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol1_1_00/rst07100.html))

### **VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA A TRABAJADORES EXPUESTOS A RADIACIONES IONIZANTES. ESTUDIO OFTALMOLÓGICO**

En Cuba se cuenta con un subsistema de vigilancia dentro del Sistema Nacional de Salud, para el control de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes (RI), el cual cuenta con 10 años de implantado. Este sistema es compatible con las recomendaciones internacionales, se aplica a un universo de más 5200 trabajadores en todo el país. Se estudiaron oftalmológicamente a los trabajadores ocupacionalmente expuestos a RI como parte de su chequeo médico integral con el objetivo de prevenir y detectar tempranamente cualquier afección. Fueron diagnosticados: trastornos de refracción, retinopatías esclerohipertensiva, pterigeon, glaucoma, y dos casos de cataratas en que no se pudo establecer una relación causal con las radiaciones

ionizantes por el bajo nivel de exposición.

### **MORBILIDAD CON INCAPACIDAD LABORAL EN TRABAJADORES EXPUESTOS A RAYOS X DE DIAGNÓSTICO EN HOSPITALES DE CIUDAD DE LA HABANA. 1991-1996**

Los rayos X de uso médico cuentan con el mayor número de instalaciones radiológicas ionizantes en Cuba. Las enfermedades que causan pérdida temporal de la capacidad de trabajo en este sector son poco conocidas. El propósito de este estudio es determinar los niveles de morbilidad por este concepto en trabajadores de los servicios de radiología en hospitales de Ciudad de La Habana , sus principales causas y la posible relación con los niveles de exposición. Se diseñó un estudio descriptivo, a partir de los certificados médicos presentados por los trabajadores dosis en el período de 1991-1996. El 71,4 de estos tuvo al menos un episodio durante el tiempo de observación. Los traumatismos, las enfermedades del tracto urinario y del sistema osteomiarticular fueron las causas más frecuentes de incapacidad laboral temporal. Se presentó un solo caso con afección hematológica (anemia) relacionada con el déficit de hierro. Las acumuladas no excedieron el Límite Permisible Anual.

### **APUNTES SOBRE CONDICIONES DE TRABAJO Y SALUD EN EL PERSONAL DE ENFERMERÍA**

Se hace un recuento de la participación activa de la mujer en la economía de la sociedad, su incorporación a aquellas tareas consideradas con extensión desempeñada en la familia, con énfasis en el sector de la salud y fundamentalmente el papel de la enfermera en ésta. Se expresa la importancia de su trabajo en el ámbito mundial y en particular el rol que desempeña en cuanto a la Atención Primaria de Salud en Cuba. Asimismo se significa la exposición de la mujer a los factores de riesgos ya sean químicos, biológicos, psicológicos, ergonómicos debido a las características de su trabajo, así como sus derechos y responsabilidades en el campo de la salud, por cuanto el trabajo de la enfermera representa un eslabón fundamental en el vínculo paciente - diagnóstico- curación o prevención.

## **SÍNDROME DE DISFUNCIÓN DE VÍAS RESPIRATORIAS REACTIVAS: ALGUNAS CONSIDERACIONES ACTUALES**

El asma ocupacional es en la actualidad el trastorno ocupacional respiratorio más frecuente según los proyectos y las estadísticas médico-legales. La misma incluye el asma ocupacional como tal y variantes como bisinosis, enfermedad respiratoria inducida por granos y polvos, y asma por fundición de aluminio. En este artículo se realiza una revisión de la patología en general, destacando aquella que cursa sin período de latencia y que es inducida por irritantes, dando lugar al Síndrome de Disfunción de Vías Respiratorias Reactivas, del que se describen las hipótesis fisiopatológicas, aspectos patológicos, manifestaciones clínicas y la prevalencia

En el Hospital San Juan de Dios de Chile se pudo realizar una comparación de la exposición a radiaciones ionizantes del personal de 3 servicios de diagnóstico por imágenes en el cual se tuvo por **Objetivo:** Evaluar comparativamente las dosis de radiaciones ionizantes (RI) recibidas por el personal de los servicios de Medicina Nuclear, Imagenología y Hemodinamia del Hospital San Juan de Dios y correlacionarlas con las estadísticas de exámenes y los límites de dosis recomendados.

**Materiales y métodos:** Se analizaron las dosimetrías fílmicas del personal de los 3 servicios (médicos, tecnólogos médicos y auxiliares), registradas en los últimos 5 años (Empresa Photomat Chile). Se calcularon las cifras promedio anuales totales en cada servicio, las cuales además se corrigieron por número de exámenes. Se compararon estos resultados con las dosis máximas permisibles para profesionalmente expuestos de 50 mSv/año vigentes en el país (DMN), y las recomendaciones internacionales de 20 mSv/año (ICRP) y de 5mSv/año (ECRR).

**Resultados:**

	Promedio anual de dosis± DE	% de la DMN	% de la ICRP	% de la ECRR	Promedio anual de procedimientos	Promedio anual dosis/promedio procedimientos
Medicina Nuclear	0.4032 ± 0.0813	0.8064	2.016	8.064	4351	9.2668 x 10 <sup>-5</sup>
Imagenología	0.5896 ± 0.3077	1.1792	2.948	11.792	52000	1.1338 x 10 <sup>-5</sup>
Hemodinamia	0.9266 ± 0.2965	1.8532	4.633	18.532	2639	35.112 x 10 <sup>-5</sup>

Llegando a la conclusión de que La dosis de Radiación Ionizante recibida por el personal de los servicios estudiados está muy por debajo de los límites nacionales e internacionales, incluyendo los más exigentes. Comparativamente el personal de Hemodinamia es el que recibe la mayor dosis de radiación al analizar los datos en globo y por examen realizado.

Entonces debemos entender que en Chile y en específicamente en el Hospital San Juan de Dios si se lleva estudios periódicos para que su personal que trabaja en estas áreas estén protegidos contra las diferentes alteraciones que la Radiación Ionizante pueda tener sobre ellos

**8.6. MARCO CONCEPTUAL**

<sup>1</sup>Entendemos por radiación ionizante, a la radiación que puede ocasionar ionización de la materia debido a su alto contenido de energía, en el tejido humano, la ionización produce daño al DNA y a las células, pero también pueden penetrar al cuerpo para permitir la visualización no invasora de la anatomía del cuerpo

---

<sup>1</sup> Secretos de la radiología de Douglas Katz Edit. McGraw-Hill Interamericana

El personal que trabaja en radiación ionizante, es toda aquella persona que esta expuesta a la radiación ionizante, y por consecuencia esta expuesta a recibir altas dosis de radiación que a la larga afectaran su organismo

Al referirnos a la fisiopatología, nos referimos a las alteraciones orgánicas que se presentan por el abuso a la exposición de la radiación ionizante, el cual afecta de manera considerable al organismo de las personas que trabajan en este medio.

Y cuando hablamos de la relación técnica, estamos dirigiéndonos a todo lo que conlleva lo que es la radiación ionizante en el campo netamente técnico, a la formación de la radiación, como se produce esta, en que magnitud afecta al ser humano, cuales son las alteraciones que puede ocasionar la radiación ionizante a la persona que trabaja con este medio tan toxico

### **8.7. MARCO JURÍDICO:**

Por todo lo anteriormente expuesto es necesario que en Bolivia exista una ley que proteja y de seguridad jurídica y social a todo el personal que trabaje con este campo de salud en radiaciones, ya que las consecuencias a futuro son irreversibles, por que pueden cobrar la vida de las personas miembros de esta actividad profesional, en ninguno de los códigos ni leyes se menciona la protección que deben tener estos trabajadores, si, es verdad que protegen al trabajador pero desde un punto muy general, sin dar especificaciones a que tipo de trabajadores se refieren, en la <sup>2</sup>Constitución Política del Estado en el Titulo Segundo Régimen Social en sus art. 156<sup>o</sup> 157<sup>o</sup>,y 158<sup>o</sup> señala la protección que el Estado da al trabajador pero de una manera muy global, sin especificar los trabajos de alto riesgo como es la radiación ionizante, en la Ley General del Trabajo <sup>3</sup>solo habla de la relación que tiene el empleador con el empleado o viceversa, de los accidentes de trabajo en el Titulo VII, Cap. I arts.79<sup>o</sup> al 84<sup>o</sup>, de las remuneraciones económicas en caso de enfermedades por trabajo en el Cap. II, arts. 87<sup>o</sup> al 92<sup>o</sup>, de las bajas medicas por

---

<sup>2</sup> Constitucion Política del Estado

<sup>3</sup> Ley General del Trabajo D.L. de 24 de mayo de 1939 elevada a rango de ley el 8 de diciembre de 1942

enfermedades, del Seguro Social obligatorio que es de manera general en el Título VIII, Cáp. Único, arts. 97º al 98º, de los riesgos profesionales también de manera general en su D.R de la Ley General del Trabajo Título V, Cáp. I arts. 80º al 84º.

En el código de Seguridad social <sup>4</sup>en el Art. 1º bien define a esta rama como un conjunto de normas que tiende a proteger la salud del capital humano del país, la continuidad de sus medios de subsistencia, la aplicación de medidas adecuadas para la rehabilitación de las personas inutilizadas y la concesión de los medios necesarios para el mejoramiento de las condiciones de vida del grupo familiar. En el Art. 3º del mismo cuerpo legal dice: El Seguro Social tiene por objeto proteger a los trabajadores y sus familiares en los casos siguientes: a) Enfermedad, b) Maternidad, c) **Riesgo profesional**, d) **Invalidez**, e) Vejez y f) **Muerte**.

En el Título I Sección A – Enfermedad en el Art. 14º dice: “En caso de enfermedad, reconocida por los servicios médicos de la Caja, el asegurado y los beneficiarios tienen derecho a las prestaciones en especie que dichos servicios consideren para la curación, o sea a la necesaria asistencia médica y dental, general y especializada, quirúrgica, hospitalaria y al suministro de medicamentos que requiera el estado de la enfermedad”. Esta disposición solo habla de la parte general del empleado no así de la parte específica de los miembros de radiación, que por su naturaleza del trabajo es de mayor riesgo, para la salud tanto física como mental, ya que las consecuencias que deja esta profesión son irreversibles.

En el Capítulo II Sección A en su Art. 38 nos habla de los subsidios del trabajo o de enfermedad profesional: “En caso de incapacidad temporal, por accidente del trabajo o enfermedad profesional, el asegurado tiene derecho, a partir del cuarto día subsiguiente del accidente o del reconocimiento de la enfermedad profesional, a un subsidio diario que se pague mientras dure la asistencia sanitaria o se declare la incapacidad permanente”. En este artículo solo habla de las eventualidades de los accidentes de trabajo o de la enfermedad

---

<sup>4</sup> Compilación y legislación concordada de la Seguridad Social Boliviana Dra. Sussy Saavedra De Blomberg

profesional sin tomar en cuenta que la radiación es un mal para el que trabaja, dentro de este campo muy letal, esto en relación al tiempo y fisiología del trabajador.

En el Art. 39° del mismo cuerpo legal nos dice: “La incapacidad permanente total es la que como consecuencia del accidente del trabajo o enfermedad profesional, imposibilita definitivamente al asegurado efectuar cualquier trabajo remunerado”. Este es una de los pocos artículos dentro de las normativas vigentes que apoyan al trabajador en el campo de la radiación, por que considera que la incapacidad puede ser total, ya que el daño orgánico es a largo plazo y sobre todo es mortal y lo imposibilita de acceder a un trabajo remunerado. Pero también el Instituto Boliviano y Tecnológico Nuclear (I.B.T.E.N.) dentro de sus Reglamentos y sus Títulos Reglamentarios, nos dan una normativa que si bien no esta elevada a rango de Ley, es valida para la protección y la Seguridad Jurídica que los miembros que trabajan en Radiaciones Ionizantes necesitan para poder ampararse.

En su Reglamento No.1 registro de fuentes de Radiación capitulo registros en su Art. 1° señala que: “Toda persona, natural o jurídica que posea cualquier fuente de radiación, deberá registrarla ante la Autoridad Nacional Competente, dentro de los diez días después de su adquisición, y antes de su uso, proporcionando la información que se solicita en el correspondiente formulario.” Pero esta disposición es muy pocas veces respetada por los centros Médicos Radiológicos que continuamente están abriendo sus puertas a los pacientes.

En el Art. 3o. del mismo Reglamento y del mismo Título señala: “Toda persona, Natural o jurídica, que ya esté utilizando una fuente de radiación sin haber procedido a su registro, tendrá un plazo de sesenta días, a partir de la fecha de publicación de la notificación oficial, para proceder a su respectivo registro”. En este Artículo el I.B.T.E.N. da una muestra de que todos los centros que trabajan con Radiaciones Ionizantes después de infringir el Art. 1° tienen un plazo mas amplio para poder Registrarse y estar protegido ante cualquier eventualidad que en el futuro se pueda presentar.

En el Art. 4o. del mismo Reglamento y del mismo Título señala: “El formulario de registro de fuentes de radiación será extendido por la Autoridad Nacional Competente y deberá ser conservado por el registrante durante el periodo de tiempo de validez” Este Artículo tiene como fin el proteger la seguridad de de los centros que están habilitados legalmente para su funcionamiento, haciendo un control periódico por medio del registro, que es obligatorio.

En el Art. 8o. del mismo Reglamento y del mismo Título señala: “La Autoridad Nacional Competente tiene la facultad de efectuar visitas en las unidades registradas para verificar la información contenida en los formularios de registros de fuentes de radiación, así como obtener información adicional que juzgue necesaria”.

En el **Art. 9o** del mismo Reglamento y del mismo Título señala: “Todo registrante tiene la obligación de facilitar estas labores y proporcionar información fidedigna”. Este artículo da una estadística de cómo los centros que trabajan con Radiaciones Ionizantes son controlados por el Organismo permitido por el Estado Boliviano, para un mejor control de la seguridad de su personal.

**En el Reglamento No. 2 sobre las Normas Básicas de Protección Radiológica en el Título 2º sobre el Sistema de Protección señala:**

**Art. 1o.** “Las dosis resultantes de las fuentes y prácticas que entrañen exposición a fuentes de radiación ionizante se restringirán mediante un sistema de protección para las prácticas que consiste en: la justificación de las prácticas, la optimización de la protección radiológica, límites y restricciones de dosis.

**En el Reglamento No. 9 sobre el Control Médico del Personal expuesto a Radiación ionizante**

**Art. 1o.** La vigilancia médica de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes se debe basar en los principios generales de la medicina ocupacional y debe cumplir los siguientes propósitos:

Evaluar la salud de los trabajadores;

Evaluar la compatibilidad de la salud y aptitud psicofísica de los trabajadores con las condiciones de su trabajo;

Mantener registros apropiados; y Recopilar información base, necesaria en caso de enfermedad ocupacional o exposición accidental.

**Art. 2o.** Ningún trabajador será empleado o continuará en un empleo que implique exposición a las radiaciones ionizantes en contra de lo recomendado por un dictamen médico competente.

**Art. 3o.** Cuando se estime que un trabajador ha recibido una dosis efectiva superior a 100 milisievert en un año se debe efectuar una evaluación médica y dosimétrica previo a su reintegro al trabajo. El responsable de la instalación o práctica debe decidir si dicho trabajador puede continuar en trabajando con fuentes de radiación.

**Art. 4o.** Los trabajadores que se desempeñen en una función que requiera autorización específica, deben poseer un certificado de aptitud psicofísica.

**Art. 5o.** Los exámenes de aptitud psicofísica deben ser realizados por médicos examinadores especialmente designados por la Entidad Responsable, a satisfacción del IBTEN. Previo a la evaluación, se deben establecer los perfiles de las funciones, tomando como base la descripción de las tareas y el ambiente de trabajo, incluyendo las tareas previstas en situaciones accidentales.

**Art. 6o.** La vigilancia médica no será, por ninguna razón, un sustitutivo de la evaluación individual de la dosis o de procedimientos de monitoreo, ni

tendrán significación para confirmar la eficacia del programa de protección radiológica del Responsable

**Art. 7o.** En los casos en que se emita un dictamen médico competente negativo se informara de este hecho al IBTEN, a fin de que éste último arbitre las medidas necesarias conjuntamente con la Entidad Responsable, para asegurar que la persona involucrada no realice tareas en las cuales esté directamente expuesta a radiaciones ionizantes.

**En el Reglamento No. 10 hace referencia a la Dosimetría de Personal que trabaja con Radiaciones Ionizantes**

**Art. 1o.** Es obligatorio el uso de dosímetros individuales para todo el personal considerado profesionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.

**Art. 2o.** Cuando un trabajador realice su labor con radiaciones ionizantes en distintas instalaciones deberá informar de este hecho a l responsable de la instalación y a la Autoridad Nacional Competente. Esta última establecerá un sistema que permita acumular la dosis que el trabajador recibe con fines de verificar el cumplimiento de los límites aplicables.

**Art. 3o.** De los resultados de las evaluaciones dosimétricas no deben resultar compensaciones de algún tipo.

**Art. 4o.** Las evaluaciones de las dosis individuales deberán ser conservados por la Entidad Responsable por un periodo no inferior a los 30 años posteriores al cese de trabajo con radiaciones del trabajador.

**En el Reglamento No.11 referidas a las Sanciones el I.B.T.T.E.N señala:**

**Art.1o.** Cualquier personal natural o jurídica , pública o privada que viole o incumpla la Ley de Protección y Seguridad Radiológica y su correspondiente reglamentación emitida en virtud a la misma, estará sujeta a las sanciones correspondientes, sin perjuicio de la acción penal correspondiente.

**Art.2o.** De acuerdo a la gravedad de la infracción a la Ley de Protección y Seguridad Radiológica, su reglamentación y disposiciones específicas, la Autoridad Nacional Competente, el Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear, podrá dictaminar la imposición de las siguientes sanciones:

- a) Sanción económica, según la gravedad, entre dos y diez salarios mínimos nacionales.
- b) Suspensión o cancelación de la licencia de la instalación y/o del personal.
- c) Decomiso de la fuente(s) de radiación.
- d) Clausura definitiva o temporal, total o parcial de las instalaciones.

**Art.3o.** La sanción dictaminada por la Autoridad Nacional Competente, será puesta en conocimiento del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

**Art.4o.** La sanción establecida podrá ser apelada por el infractor, en un tiempo máximo de quince días, a la máxima instancia, el Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

**Art.5o.** Si el motivo de la sanción es corregido, el infractor podrá solicitar por escrito a la Autoridad Nacional Competente la rehabilitación de la Licencia o Registro. Esta rehabilitación deberá ser puesta en conocimiento del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

## **Título I Disposiciones Generales**

**Art. 1o.** Las siguientes disposiciones legales, reglamentan la Ley de Protección y Seguridad Radiológica, aprobado mediante Decreto Ley No. 19172 de 6 de octubre de 1982, en lo referente a todas las actividades con fuentes de radiación, estableciendo procedimientos de registro de fuentes de radiación, normas básicas de protección radiológica, licencias y autorizaciones, inspecciones, transporte de materiales radiactivos, normas de seguridad radiológica en las instalaciones, descontaminación de superficies, tratamiento de desechos radiactivos, vigilancia médica del personal expuesto a radiación ionizante, dosimetría de personal y sanciones.

**Art. 2o.** La Ley de Protección y Seguridad Radiológica y la presente reglamentación tienen el objeto normar las actividades con materiales radiactivos y/o equipos generadores de radiaciones ionizantes en el país, de manera que las prácticas se efectúen en condiciones normales de protección y seguridad para los trabajadores, población y medio ambiente.

**Art. 3o.** El Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente es la máxima instancia que definirá políticas, expedirá y aprobará normas técnicas para el uso seguro de las fuentes de radiación ionizante, en coordinación con la Autoridad Nacional Competente y/u Organismos Sectoriales Competentes.

**Art. 4o.** El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología Nuclear es la Autoridad Nacional Competente encargada de implementar, cumplir y hacer cumplir la Ley de Protección y Seguridad Radiológica y su respectiva reglamentación en todo el territorio nacional, estando a su cargo las actividades relacionadas con la protección y seguridad en el uso de las radiaciones ionizantes.

**Art. 5o.** La presente reglamentación se aplica a toda persona natural o colectiva, pública o privada que desarrolle actividades con fuentes de radiación ionizante.

**En el Decreto Ley No. 19172 emanada por el Gral. Brig. Guido Vildoso Calderón ex Presidente de la República de Bolivia** señala que:

CONSIDERANDO:

Que, es conveniente dictar las normas necesarias para el correcto uso y aplicación de los radioisótopos en Medicina, Investigación, Industria, Agricultura, Hidrología, Minería y otros aspectos.

Que, la exposición a las radiaciones ionizantes, puede constituir un peligro para la colectividad, razón por la cual es necesaria reglamentar y controlar las actividades en éste campo; siendo necesario dictar las normas pertinentes.

Que la Comisión Boliviana de Energía Nuclear en coordinación con organismos especializados , ha elaborado un proyecto de Ley de Seguridad y Protección Radiológica para su aplicación en todo el territorio nacional.

Que, la Ley de referencia contempla dichas normas y tiene por objeto regular el uso y aplicación de las radiaciones ionizantes , los materiales y fuentes radiactivas en todas sus aplicaciones.

Que, de acuerdo a los D.S. Nos. 05389 de 14 de enero de 1960 y 07162 de 14 de mayo de 1965 y su Estatuto Orgánico, compete a la Comisión Boliviana de Energía Nuclear, controlar y administrar la aplicación científica e industrial de las radiaciones por razones de utilidad pública o para prevenir los perjuicios que pudieran ocasionar.

EN CONSEJO DE MINISTROS,

DECRETA:

Artículo Primero.- Apruébese la Ley de Seguridad y Protección Radiológica en sus 11 capítulos y 30 artículos.

Artículo segundo.- La Comisión Boliviana de Energía Nuclear elaborará y mediante su Consejo Directivo hará aprobar la reglamentación necesaria para la correcta aplicación y cumplimiento de la presente Ley.

Artículo Tercero.- Quedan derogadas todas las disposiciones legales contrarias al presente Decreto Ley.

Los señores Ministros de Estado en sus respectivos despachos , quedan encargados de la ejecución y cumplimiento del presente Decreto Ley.

Es dado en el Palacio de Gobierno de la ciudad de La paz, a los veintinueve días del mes de septiembre de mil novecientos ochenta y dos años.

FDO. GRAL. BRIG. GUIDO VILDOSO CALDERON

Fdo. Agustín Saavedra Weise

Fdo. Edagar Rojas Ruiz

Fdo. Alfredo Villarroel Barja

Fdo. Alfonso Revollo Tennier

Fdo. Amadeo Saldías Cordero

Fdo. Marcelo Calvo Valda

Fdo. Douglas Estremadoiro García

Fdo. Raúl Soria Ruiz

Fdo. Julio Villagómez Vargas

Fdo. Octavio Villavicencio Q.

Fdo. Victor Balderrama Casanovas

Fdo. Augusto Sánchez Va

Fdo. Dorian Gorena Urízar

Fdo. Manuel Luján Alda

Fdo. Alfredo Careaga Guereca

Fdo. José Antonio Oña Costa

Fdo. Luis Peñaranda Beltrán

## **COMISION BOLIVIANA DE ENERGIA NUCLEAR**

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

LEY DE PROTECCION Y SEGURIDAD RADIOLOGICA

### **CAPITULO I**

**Artículo 1º.- Objeto y Campo de Aplicación.** La presente Ley y los Reglamentos emergentes tienen por objeto reglamentar y normar todas las actividades con radioelementos y/o equipos generadores de radiaciones ionizantes en el país, de manera que se efectúen en condiciones normales de protección y seguridad para los trabajadores y la población en general. Se aplicaran a todas las personas naturales o jurídicas, publicas o privadas cualquiera sea el campo de su actividad, y que estén relacionadas con el uso de radioelementos y/o equipos generadores de radiaciones ionizantes.

**Artículo 2º.-Autoridad Competente.** La Comisión Boliviana de Energía Nuclear (COBOEN) es la Autoridad Competente encargada de cumplir y hacer cumplir la presente Ley en todo el Territorio Nacional, estando a su cargo las actividades relacionadas con la protección y seguridad en el uso de radiación y/o equipos ionizantes.

Para el efecto el Instituto Nacional de Salud Ocupacional (INSO) dependiente del Ministerio de Previsión Social y Salud Pública le proporcionará el apoyo y colaboración en las actividades relacionadas en el control médico del personal.

**Artículo 2º.- Autoridad Competente.** El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología es la Autoridad Competente encargada de cumplir y hacer cumplir la presente Ley en todo el Territorio Nacional, estando a su cargo las actividades relacionadas con la protección y seguridad en el uso de radiación y/o equipos ionizantes.

Para el efecto el Ministerio de Planificación del Desarrollo le proporcionará el apoyo y colaboración en las actividades relacionadas en el control médico del personal.

**Artículo 3º.- Coordinación.** COBOEN a través del Ministerio de Minería y Metalurgia coordinará su acción con todas y cualquier otra Institución del Estado que se encuentren relacionadas con el uso de radioelementos y/o equipos generadores de radiación ionizantes para el debido cumplimiento de las normas contenidas en la presente Ley.

**Artículo 3º.- Coordinación.** El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología a través del Ministerio de Planificación del Desarrollo coordinará su acción con todas y cualquier otra Institución del Estado que se encuentren relacionadas con el uso de radioelementos y/o equipos generadores de radiación ionizantes para el debido cumplimiento de las normas contenidas en la presente Ley.

**Artículo 4º.- Reglamentos.** COBOEN elaborará y publicará después de ser aprobada la presente Ley, las reglamentaciones correspondientes que contendrán las normas y procedimientos que faciliten el cumplimiento y aplicación de la presente Ley, las cuales serán aprobadas por el Consejo

Directivo de esta institución y convalidadas para su vigencia y aplicación mediante Resolución Ministerial del Ministerio de Minería y Metalurgia. Esta Reglamentación será periódicamente revisada para ajustar a sus necesidades.

**Artículo 4º.- Reglamentos.** El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología elaborará y publicará después de ser aprobada la presente Ley, las reglamentaciones correspondientes que contendrán las normas y procedimientos que faciliten el cumplimiento y aplicación de la presente Ley, las cuales serán aprobadas por el Consejo Directivo de esta institución y convalidadas para su vigencia y aplicación mediante Resolución Ministerial del Ministerio de Planificación del Desarrollo. Esta Reglamentación será periódicamente revisada para ajustar a sus necesidades.

**Artículo 5º.- Emergencias.** Cuando se presenten situaciones de emergencias que requieran acción inmediata para proteger la salud de la colectividad, o del medio ambiente, COBOEN esta facultada para emitir disposiciones y emitir normas de aplicación inmediatas.

**Artículo 5º.- Emergencias.** Cuando se presenten situaciones de emergencias que requieran acción inmediata para proteger la salud de la colectividad, o del medio ambiente, El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología esta facultado para emitir disposiciones y emitir normas de aplicación inmediatas.

**Artículo 6º.- Artículo Transitorio.** La aplicación parcial o total de las disposiciones contenidas en los capítulos siguientes sólo tendrán vigencia a partir de la fecha en que se apruebe la reglamentación respectiva y específica para cada aspecto.

**Artículo 7º.- Asesoramiento.** COBOEN está facultada a conformar una o varios grupos asesores consultivos especializados en el campo de la seguridad y protección radiológica. El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología

**Artículo 7º.- Asesoramiento.** El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología está facultada a conformar una o varios grupos asesores consultivos especializados en el campo de la seguridad y protección radiológica.

## **CAPITULO II**

### ***REGISTRO DE FUENTES DE RADIACION***

**Artículo 8º.- Del Registro.** Toda persona natural o jurídica, publica o privada, que posea o utilice cualquier fuente de radiación, deberá registrarla en COBOEN, dentro los noventa (90) días a partir de la vigencia del Reglamento de Procedimientos de Registro de Fuentes de Radiación.

**Artículo 8º.- Del Registro.** Toda persona natural o jurídica, publica o privada, que posea o utilice cualquier fuente de radiación, deberá registrarla en El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología, dentro los noventa (90) días a partir de la vigencia del Reglamento de Procedimientos de Registro de Fuentes de Radiación.

**Artículo 9º.- Actos Jurídicos.** Toda persona natural o jurídica, publica o privada, que venda, transfiera, arriende, o permita el uso de cualquier tipo de fuentes de radiación antes de realizar la operación para obtener la autorización respectiva, esta obligada a notificar a COBOEN.

**Artículo 9º.- Actos Jurídicos.** Toda persona natural o jurídica, publica o privada, que venda, transfiera, arriende, o permita el uso de cualquier tipo de fuentes de radiación antes de realizar la operación para obtener la autorización respectiva, esta obligada a notificar a El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología

### **CAPITULO III**

#### **LICENCIAS**

**Artículo 10º.- Otorgamiento de Licencias:** Ninguna persona natural o jurídica, pública o privada, podrá recibir, adquirir, poseer, usar, transportar, transferir o disponer fuente de radiación sin contar con la Licencia expedida por la COBOEN, la cual se otorgará de acuerdo con el “reglamento de Licencias para la Utilización de Fuentes de Radiación” y el “reglamento de Normas de Seguridad Radiológica en las Instalaciones”.

**Artículo 10º.- Otorgamiento de Licencias:** Ninguna persona natural o jurídica, pública o privada, podrá recibir, adquirir, poseer, usar, transportar, transferir o disponer fuente de radiación sin contar con la Licencia expedida por la El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología, la cual se otorgará de acuerdo con el “reglamento de Licencias para la Utilización de Fuentes de Radiación” y el “reglamento de Normas de Seguridad Radiológica en las Instalaciones”.

### **CAPITULO IV**

#### **INSPECCIONES**

**Artículo 11º.-** COBOEN efectuará inspecciones cuantas veces sea necesario, en todas las instalaciones donde se trabaje con fuentes y/o equipos generadores ionizantes, las que se registrarán por el “Reglamento de Inspecciones”.

Los usuarios están en la obligación de facilitar las labores de inspección y deberán suministrar toda información que sea requerida.

**Artículo 11º.-** El Instituto Boliviano de ciencia y Tecnología efectuará inspecciones cuantas veces sea necesario, en todas las instalaciones donde se trabaje con fuentes y/o equipos generadores ionizantes, las que se registrarán por el “Reglamento de Inspecciones”.

## **CAPITULO V**

### ***TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS***

**Artículo 12º.-** Las regulaciones del transporte de material radiactivo por vía terrestre, marítima, lacustre, fluvial o aérea se sujetarán al “Reglamento de Transporte de Materiales Radiactivos”, coordinando esta acción con las entidades nacionales encargadas del transporte en el país.

## **CAPITULO VI**

### **TRATAMIENTO DE DESECHOS RADIATIVOS Y DESCONTAMINACION**

**Artículo 13º.-** Se considera como desechos radiactivos a todos los productos de desechos provenientes del funcionamiento de centrales nucleares, empleo de radioelementos en medicina, industria, minería, agricultura, investigación u otros campos.

Las operaciones de tratamiento, recolección, almacenamiento y eliminación de desechos radiactivos deberán practicarse de acuerdo a las normas establecidas en el “Reglamento de Tratamiento de Desechos Radiactivos”, las normas para la descontaminación del personal, de los equipos, de las áreas de trabajo y del vestuario, así como los niveles máximos permisibles de contaminación estarán señalados en el “Reglamento de Normas para la Descontaminación”.

## **CAPITULO VII**

### **NORMAS DE SEGURIDAD RADIOLOGICA PARA EL EMPLEO DE FUENTES RADIATIVAS**

**Artículo 14º.-** Las Normas de Seguridad se establecerán en el “Reglamento de Normas de Seguridad Radiológica en el empleo de Fuentes Radiactivas”.

**Artículo 15º.-** Las Normas relativas al uso terapéutico de fuentes de Radio 226 y Cesio-137, se establecerán en el Reglamento de Normas para el uso terapéutico de fuentes radiactivas selladas Radio-226 y Cesio-137.

El uso de otras fuentes se establecerá en la reglamentación pertinente.

## **CAPITULO VIII**

### ***NORMAS DE SEGURIDAD RADIOLOGICAS EN LAS INSTALACIONES***

**Artículo 16º.-** La determinación de zona controlada y zona vigilada, así como todos los aspectos técnicos normativos relativos a la seguridad de las instalaciones, se regirán de acuerdo al “Reglamento de Normas de Seguridad Radiológica en las Instalaciones”.

**Artículo 17º.-** COBOEN es la Institución encargada de prestar el servicio de control y seguridad de las instalaciones.

**Artículo 17º.-** El Instituto Boliviano de Ciencia y tecnología es la Institución encargada de prestar el servicio de control y seguridad de las instalaciones

**Artículo 18º.-** Toda vez que el usuario proceda a modificar las instalaciones por cambio de ambiente, renovación de equipos, operaciones que impliquen la exposición prolongada del personal operador y/o público a las radiaciones producidas por el equipo o la fuente radiactiva en cuestión, deberá notificar a COBOEN.

**Artículo 18º.-** Toda vez que el usuario proceda a modificar las instalaciones por cambio de ambiente, renovación de equipos, operaciones que impliquen la exposición prolongada del personal operador y/o público a las radiaciones

producidas por el equipo o la fuente radiactiva en cuestión, deberá notificar a El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología.

## **CAPITULO IX**

### **DOSIMETRIA DE PERSONAL**

**Artículo 19º.-** Todas las personas que trabajan en la utilización de fuentes radiactivas selladas o no selladas, así como los encargados del manejo y operación de equipos destinados a la generación de radiaciones utilizarán obligatoriamente el dispositivo de Dosimetría Personal, provisto por COBOEN, a fin de practicar las evaluaciones periódicas correspondientes.

**Artículo 19º.-** Todas las personas que trabajan en la utilización de fuentes radiactivas selladas o no selladas, así como los encargados del manejo y operación de equipos destinados a la generación de radiaciones utilizarán obligatoriamente el dispositivo de Dosimetría Personal, provisto por El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología, a fin de practicar las evaluaciones periódicas correspondientes.

**Artículo 20º.-** La Comisión Boliviana de Energía Nuclear (COBOEN) estará encargada de prestar el servicio de Dosimetría Personal de acuerdo a tarifas en vigencia.

**Artículo 20º.-** El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología (I.B.T.E.N.) estará encargada de prestar el servicio de Dosimetría Personal de acuerdo a tarifas en vigencia.

**Artículo 21º.-** COBOEN hará conocer los resultados obtenidos a los interesados y sugerirá las medidas de protección necesarias.

**Artículo 21º.-** El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología (I.B.T.E.N.) hará conocer los resultados obtenidos a los interesados y sugerirá las medidas de protección necesarias.

**Artículo 22º.-** Todos los aspectos técnicos relativos a la Dosimetría estarán contenidos en el pertinente Reglamento.

## **CAPITULO X**

### **CONTROL MEDICO DE PERSONAL**

**Artículo 23º.-** Ninguna persona podrá ser contratada a realizar trabajos que impliquen riesgos de exposición a radiaciones sin haber sido sometida previamente a examen médico pre-ocupacional.

**Artículo 24º.-** El control médico del personal en todos los organismos e instalaciones donde se emplean fuentes de radiación, estará a cargo del Instituto Nacional de Salud Ocupacional (INSO) coordinando su actividad con COBOEN.

**Artículo 24º.-** El control médico del personal en todos los organismos e instalaciones donde se emplean fuentes de radiación, estará a cargo del Instituto Nacional de Salud Ocupacional (INSO) coordinando su actividad con El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología (I.B.T.E.N.)

**Artículo 25º.-** COBOEN de acuerdo a los informes de evaluación del INSO definirá si el trabajador puede o no continuar trabajando en la misma función o si puede o no ser contratado para realizar trabajos específicos.

**Artículo 25º.-** El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología (I.B.T.E.N.) de acuerdo a los informes de evaluación del INSO definirá si el trabajador puede o no continuar trabajando en la misma función o si puede o no ser contratado para realizar trabajos específicos.

**Artículo 26º.-** La realización del control médico se sujetará al “Reglamento de Control Médico del Personal”, así como a los procedimientos internos del INSO.

## **CAPITULO XI**

### **SANCIONES**

**Artículo 27º.-** Cualquier persona natural o jurídica, pública o privada, que viole o incumpla las disposiciones de la Ley de Seguridad y Protección Radiológica y su reglamentación o disposiciones emitidas en virtud de las mismas, estará sujeta a las sanciones establecidas en el Art. 28, sin perjuicio de la acción penal correspondiente.

**Artículo 28º.-** De acuerdo con la gravedad de las infracciones o contravención a la Ley de Seguridad y Protección Radiológica y sin la Autoridad Competente podrá dictaminar la imposición de las siguientes sanciones:

Suspensión o cancelación de Licencia o Registro de fuentes de radiación.

Suspensión o cancelación de la habilitación de equipos y sus instalaciones.

Decomiso de las fuentes de radiación.

Clausura definitiva o temporal, total o parcial de instalaciones de cualquier naturaleza y carácter responsables de la tenencia, usos y aplicación de las fuentes de radiación en infracción.

**Artículo 29º.-** Dentro del término de 15 días de comunicada la sanción, podrá interponerse apelación ante el Consejo Directivo de la Comisión Boliviana de Energía Nuclear, el que la mantendrá, modificará, revocará o anulará; debiendo su resolución ejecutada por COBOEN, sin ulterior recurso.

**Artículo 29º.-** Dentro del término de 15 días de comunicada la sanción, podrá interponerse apelación ante El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología , el que la mantendrá, modificará, revocará o anulará; debiendo su resolución ejecutada por el (I.B.T.E.N.), sin ulterior recurso.

**Artículo 30º.-** El infractor a quién se le hubiera suspendido o cancelado la Licencia o Registro de sus Fuentes de Radiación, podrá solicitar por escrito a COBOEN la rehabilitación de la Licencia o Registro, si a satisfacción acredita haber corregido la deficiencia que motivó la sanción, circunstancia que será

verificada por COBOEN antes de autorizar la rehabilitación. Igual procedimiento se seguirá para el caso de decomiso de fuentes de radiación o clausura de instalaciones.

**Artículo 30º.-** El infractor a quién se le hubiera suspendido o cancelado la Licencia o Registro de sus Fuentes de Radiación, podrá solicitar por escrito a El Instituto Boliviano de Ciencia y Tecnología la rehabilitación de la Licencia o Registro, si a satisfacción acredita haber corregido la deficiencia que motivó la sanción, circunstancia que será verificada por el I.B.T.E.N. antes de autorizar la rehabilitación. Igual procedimiento se seguirá para el caso de decomiso de fuentes de radiación o clausura de instalaciones.

## **CAPITULO XI (AÑADIDO)** **DE LAS REMUNERACIONES**

**Artículo 31º.-** El personal que trabaja en los ambientes donde se emiten radiaciones ionizantes, tendrán un trato preferencial al momento de percibir su sueldo, por el motivo de que la salud, tanto física como psicológica y organica esta, en constante peligro de ser lesionada.

**Artículo 32º.-** La remuneración económica para estos funcionarios deberá ser de acuerdo a la siguiente tabla:

- El personal que tenga de 1-5 años de servicio percibirá el 25 % mas del salario mensual del sueldo de un medico de guardia
- El personal que tenga de 5 – 10 años de servicio percibirá el 30% mas del salario mensual de un medico de guardia
- El personal que tenga de 10-15 años de servicio percibirá el 20 % mas del salario mensual de un medico de planta
- El personal que tenga de 15-20 años de servicio percibirá el 25 % mas del salario mensual de un médico de planta
- El personal que tenga de 21-25 años de servicio percibirá el 30% mas del salario mensual de un médico de planta.

- El personal que tenga mas de 25 años hacia Delante de servicio percibirá igual al salario mensual de un jefe de área o de Quirófano.

**Artículo 33º**.- De los **BONOS DE RADIACION**, estos serán cada trimestre, y será igual a un sueldo mensual

**Artículo 34º**.- De los **BONOS DE ALIMENTACION**, estos serán cancelados junto con el sueldo mensual.

Como se demostró en las diversas normas jurídicas, en ningún capitulo o Artículo, se menciona la remuneración económica que el miembro que trabaja en esta área médica debe percibir, pues no solamente deberá acceder a un sueldo como lo señala la Ley General del Trabajo, si no que esto deberá ir mas allá para una mejor protección, el de contar con diferentes bonos como el de Radiación, el de una sobrealimentación a base de Calcio, Sodio, Fosforo, para que de esta manera se pueda contrarrestar de alguna manera la absorción a la Radiación dentro del organismo de estos profesionales, así también deberán contar con una vacación cada cuatro meses para que de esta manera la radiación absorbida pueda ser eliminada en un porcentaje alto.

Asi mismo en ninguna normativa se habla de la cantidad de estudios que deberá tener el miembro que trabaja en radiaciones Ionizantes, pues como se demostró la radiación están letal que a la persona no la mata rápidamente mas por el contrario el desgaste orgánico es lentamente y en algunos casos conlleva a la muerte.

## **LEGISLACION COMPARADA**

### **LEGISLACION MEXICANA**

#### **Ley Reglamentaria Del Artículo 27 Constitucional En Materia Nuclear** **(Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 04-feb-1985)**

En la Ley de Radiaciones de México en su articulo Artículo 28 señala que “ Las autorizaciones para la construcción y operación de una instalación nuclear sólo

se otorgarán cuando se acredite, mediante la presentación de la información pertinente, cómo se van a alcanzar los objetivos de la seguridad y cuáles serán los procedimientos y métodos que se utilizarán durante las fases de emplazamiento, diseño, construcción, operación, modificación, cierre definitivo y desmantelamiento de la instalación. Adicionalmente, se presentará el plan de emergencia radiológica correspondiente. Esta información deberá observar los términos y formas previstos en las disposiciones reglamentarias de la presente Ley”

Así mismo en su artículo Artículo 29 dispone que: “La adquisición, importación, exportación, posesión, uso, transferencia, transporte, almacenamiento y destino o disposición final de material radiactivo y dispositivos generadores de radiación ionizante, sólo podrán llevarse a cabo con autorización que expedirá la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, por conducto de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, con independencia de otras autorizaciones. Los materiales radiactivo y dispositivos aludidos utilizados con fines médicos requerirán la autorización previa de la Secretaría de Salubridad y Asistencia.

En el artículo Artículo 32 señala que “Las instalaciones nucleares y radiactivas serán objeto de inspecciones, auditorías, verificaciones y reconocimientos por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, para comprobar las condiciones de seguridad nuclear, **radiológica** y física, y el cumplimiento de las salvaguardias en las mismas.”

Artículo 34.- En los casos de peligro o riesgo inminente para el personal de una instalación nuclear o radiactiva, o para la sociedad en general, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias ordenará y ejecutará según el caso, la retención, aseguramiento o depósito de las fuentes de radiación ionizante o equipo que las contenga, así como de cualquier bien contaminado, en los términos del reglamento respectivo.

También podrá ordenar y ejecutar, como medida preventiva, la clausura temporal, parcial o total, de las instalaciones nucleares y radiactivas, así como de los bienes inmuebles contaminados, fijando los plazos para corregir las deficiencias o anomalías. En el caso de que no se subsanen las deficiencias o

anomalías dentro del plazo que se conceda, la Comisión referida con apoyo en el dictamen técnico correspondiente procederá a la clausura definitiva.

El titular de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal igualmente podrá ordenar a la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias la ocupación temporal de instalaciones nucleares o radiactivas, la que deberá observar en todo tiempo las disposiciones que el Ejecutivo Federal expida al respecto.

Las medidas anteriores que se adopten no excluyen la responsabilidad civil, penal o laboral que, en su caso, resulten a cargo del titular de la autorización por los daños a las personas o a sus bienes.

Como medida de protección hacia los miembros que trabajan con Radiaciones Ionizantes el Artículo 35 dispone: “La suspensión o cancelación de las autorizaciones otorgadas implicará la adopción de las medidas de seguridad a que se refiere el Artículo anterior en lo que respecta a las fuentes o equipo. Las mismas medidas podrán aplicarse cuando se cancelen o suspendan las autorizaciones de construcción, adaptación o preparación de la instalación de que se trate, y por lo tanto tales acciones no podrán continuarse. Estas medidas también se aplicarán y ejecutarán por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias en los casos en que se realicen actividades en que se involucren materiales y combustibles nucleares, materiales radiactivos y equipos que los contenga, sin la autorización, permiso o licencia requeridos por esta Ley y sus reglamentos.”

En el Artículo 50 de esta Ley señala que “La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias es un órgano desconcentrado dependiente de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, con las siguientes atribuciones”:

I.- Vigilar la aplicación de las normas de seguridad nuclear, radiológica, física y las salvaguardias para que el funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas se lleven a cabo con la máxima seguridad para los habitantes del país;

V.- Expedir, revalidar, reponer, modificar, suspender y revocar, los permisos y licencias requeridos para las instalaciones radiactivas de acuerdo a las disposiciones legales, así como recoger y retirar en su caso los utensilios,

equipos, materiales existentes y, en general, cualquier bien mueble contaminado, en dichas instalaciones;

VI.- Recomendar y asesorar respecto de las medidas de seguridad nuclear, radiológica, física, de salvaguardias y administrativas que procedan en condiciones anómalas o de emergencia, tratándose de instalaciones nucleares y radiactivas; así como determinar y ejecutar en estos casos, cuando técnicamente sea recomendable la retención, aseguramiento o depósito de fuentes de radiación ionizante o equipos que las contengan, o la clausura parcial o total, temporal o definitiva, del lugar en que se encuentren o aquellos otros que hayan sido afectados, sin perjuicio de las medidas que adopten otras autoridades competentes;

XII.- Ordenar y practicar auditorías, inspecciones, verificaciones y reconocimientos para comprobar el cumplimiento y observancia de las disposiciones legales en materia de seguridad nuclear, radiológica, física y de salvaguardias; así como imponer las medidas de apremio y las sanciones administrativas que procedan de acuerdo a las disposiciones de esta Ley y sus reglamentos.

Decreto Ley 15325 de La Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo mediante Promulgación del 30/09/1982 y Publicación: 06/10/19

GREGORIO C. ALVAREZ - LUIS A. CRISCI - HEBERT ARBUET VIGNALI –  
ARMANDO LOPEZ SCAVINO

#### **Artículo 1**

**Apruébase** el Convenio Internacional del Trabajo N° 115, relativo a la protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes, adoptado por la Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo el 22 de junio de 1960, en el transcurso de su cuadragésima cuarta reunión.

#### **Artículo 2**

Comuníquese, etc.

**CONVENIO INTERNACIONAL DEL TRABAJO N° 115 RELATIVO A LA  
PROTECCION DE LOS TRABAJADORES CONTRA LAS RADIACIONES  
IONIZANTES 1960 CONVENIO 115**

Convenio relativo a la protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes.

La Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo:

Convocada en Ginebra por el Consejo de Administración de la Oficina Internacional del Trabajo y congregada en dicha ciudad el 1º de junio de 1960 en su cuadragésima cuarta reunión;

Después de haber decidido adoptar diversas proposiciones relativas a la protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes, cuestión que constituye el cuarto punto del orden del día de la reunión, y

Después de haber decidido que dichas proposiciones revistan la forma de un convenio internacional,

Adopta, con fecha veintidós de junio de mil novecientos sesenta, el siguiente Convenio, que podrá ser citado como el Convenio sobre la protección contra las radiaciones, 1960:

## **Parte I**

### **Disposiciones Generales**

#### **Artículo 1**

Todo Miembro de la Organización Internacional del Trabajo que ratifique el presente Convenio se obliga a aplicarlo por vía legislativa, mediante repertorios de recomendaciones prácticas o por otros medios apropiados. Al dar efecto a las disposiciones del Convenio, la autoridad competente consultará a representantes de los empleadores y de los trabajadores.

#### **Artículo 2**

1. El presente Convenio se aplica a todas las actividades que entrañen la exposición de trabajadores a radiaciones ionizantes en el curso de su trabajo.
2. El presente Convenio no se aplica a las sustancias radiactivas, precintadas o no, ni a los aparatos generadores de radiaciones ionizantes, que, debido a las débiles dosis de radiaciones ionizantes que se pueden recibir por su causa, quedaren exceptuados de su aplicación según uno de los medios que para dar efecto al Convenio se prevén en el artículo 1.

#### **Artículo 3**

1. Basándose en la evolución de los conocimientos, deberán adoptarse toda las medidas apropiadas para lograr una protección eficaz de los trabajadores

contra las radiaciones ionizantes, desde el punto de vista de su salud y de su seguridad.

2. A este fin, se adoptarán las reglas y medidas necesarias y se proporcionarán las informaciones esenciales para obtener una protección eficaz.

3. Para lograr esta protección eficaz.

a) Las medidas para la protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes, adoptadas por un Miembro después de ratificar el Convenio, deberán hallarse en conformidad con las disposiciones del Convenio;

b) El Miembro de que se trate deberá modificar lo antes posible las medidas que haya adoptado antes de ratificar el Convenio, con objeto de que estén en conformidad con las disposiciones de éste, y deberá promover la modificación, en el mismo sentido, de cualesquiera otras medidas existentes igualmente antes de la ratificación;

c) El Miembro de que se trate deberá comunicar al Director General de la Oficina Internacional del Trabajo, en el momento de ratificar el Convenio, una declaración indicando de qué modo y a qué tipos de trabajadores se aplican las disposiciones del Convenio, y asimismo deberá hacer constar en sus memorias sobre la aplicación del Convenio todo progreso realizado en esta materia;

d) A la expiración de un período de tres años, después de la entrada en vigor inicial de este Convenio, el Consejo de Administración de la Oficina Internacional del Trabajo presentará a la Conferencia un informe especial, relativo a la aplicación del apartado b) del presente párrafo, que contenga las proposiciones que juzgue oportunas con miras a las medidas que hayan de tomarse a este respecto.

## **Parte II**

### **Medidas de Protección**

#### **Artículo 4**

Las actividades aludidas en el artículo 2 deberán organizarse y ejecutarse de manera que se logre la protección prevista en la presente parte del Convenio.

#### **Artículo 5**

No deberá escatimarse ningún esfuerzo para reducir al nivel más bajo posible la exposición de los trabajadores a radiaciones ionizantes, y todas las partes interesadas deberán evitar toda exposición inútil.

#### **Artículo 6**

1. Las dosis máximas admisibles de radiaciones ionizantes, procedentes de fuentes situadas fuera o dentro del organismo, así como las cantidades máximas admisibles de sustancias radiactivas introducidas en el organismo, se fijarán de conformidad con la parte 1 del presente Convenio para los diferentes tipos de trabajadores.

2. Estas dosis y cantidades máximas admisibles deberán ser objeto de constante revisión, basándose en los nuevos conocimientos.

#### **Artículo 7**

1. En lo que respecta a los trabajadores directamente ocupados en trabajos bajo radiaciones, se deberían fijar niveles apropiados, de acuerdo con las disposiciones del artículo 6:

- a) Para los de 18 años de edad y mayores, por una parte;
- b) Para los menores de 18 años de edad, por otra parte.

2. No deberá ocuparse a ningún trabajador menor de 16 años en trabajos que impliquen la utilización de radiaciones ionizantes.

#### **Artículo 8**

Deberán fijarse niveles apropiados, de conformidad con las disposiciones del artículo 6, para los trabajadores no ocupados directamente en trabajos bajo radiaciones, pero que permanecen en lugares donde se exponen a radiaciones ionizantes o a sustancias radiactivas o pasan por dichos lugares.

#### **Artículo 9**

1. Se deberá utilizar una señalización de peligro apropiada para indicar la existencia de riesgos debidos a radiaciones ionizantes. Se deberá proporcionar a los trabajadores toda la información necesaria a este respecto.

2. Se deberá instruir debidamente a todos los trabajadores directamente ocupados en trabajos bajo radiaciones, antes y durante su ocupación en tales trabajos, de las precauciones que deben tomar para su seguridad y para la protección de su salud, así como de las razones que las motivan.

#### **Artículo 10**

La legislación deberá prescribir la notificación, de acuerdo con las modalidades que ella fije, de los trabajos que entrañen la exposición de trabajadores a radiaciones ionizantes en el curso de su trabajo.

#### **Artículo 11**

Deberá efectuarse un control apropiado de los trabajadores y de los lugares de trabajo para medir la exposición de los trabajadores a radiaciones ionizantes y a sustancias radiactivas, con objeto de comprobar que se respetan los niveles fijados.

#### **Artículo 12**

Todos los trabajadores directamente ocupados en trabajos bajo radiaciones deberán someterse a examen médico apropiado, antes o poco después de la ocupación en tales trabajos, y someterse ulteriormente a exámenes médicos a intervalos apropiados.

#### **Artículo 13**

Los casos en que, a causa de la naturaleza o del grado de exposición, deban adoptarse prontamente las medidas enunciadas a continuación se determinarán según uno de los medios de aplicación que dan efecto al Convenio previsto en el artículo 1:

- a) El trabajador deberá someterse a examen médico apropiado;
- b) El empleador deberá avisar a la autoridad competente de acuerdo con las instrucciones dadas por ésta;
- c) Personas competentes en materia de protección contra las radiaciones deberán estudiar las condiciones en que el trabajador efectúa su trabajo;
- d) El empleador deberá tomar todas las disposiciones de corrección necesarias, basándose en las comprobaciones técnicas y los dictámenes médicos.

#### **Artículo 14**

No se deberá ocupar ni mantener a ningún trabajador en un trabajo que lo exponga a radiaciones ionizantes, en oposición a un dictamen médico autorizado.

#### **Artículo 15**

Todo Miembro que ratifique el presente Convenio se obliga a encargarse del control de la aplicación de sus disposiciones a servicios de inspección apropiados, o a cerciorarse de que existe una inspección adecuada.

### **Parte III**

#### **Disposiciones Finales**

##### **Artículo 16**

Las ratificaciones formales del presente Convenio serán comunicadas, para su registro, al Director General de la Oficina Internacional del Trabajo.

##### **Artículo 17**

1. Este Convenio obligará únicamente a aquellos Miembros de la Organización Internacional del Trabajo cuyas ratificaciones haya registrado el Director General.
2. Entrará en vigor doce meses después de la fecha en que las ratificaciones de dos Miembros hayan sido registradas por el Director General.
3. Desde ese momento, este Convenio entrará en vigor, para cada Miembro, doce meses después de la fecha en que haya sido registrada su ratificación.

##### **Artículo 18**

1. Todo Miembro que haya ratificado este Convenio podrá denunciarlo a la expiración de un período de cinco años, a partir de la fecha en que se haya puesto inicialmente en vigor, mediante declaración escrita comunicada, para su registro, al Director General de la Oficina Internacional del Trabajo. La denuncia no surtirá efecto hasta un año después de la fecha en que se haya registrado.
2. Todo Miembro que haya ratificado este Convenio y que, en el plazo de un año después de la expiración del período de cinco años mencionado en el párrafo precedente, no haga uso del derecho de denuncia previsto en este artículo quedará obligado durante un nuevo período de cinco años, y en lo sucesivo podrá renunciar este Convenio a la expiración de cada período de cinco años en las condiciones previstas en este artículo.

##### **Artículo 19**

1. El Director General de la Oficina Internacional del Trabajo notificará a todos los Miembros de la Organización Internacional del Trabajo el registro de cuantas ratificaciones, declaraciones y denuncias le comuniquen los Miembros de la Organización.

2. Al notificar a los Miembros de la Organización el registro de la segunda ratificación que le haya sido comunicada, el Director General llamará la atención de los Miembros de la Organización sobre la fecha en que entrará en vigor el presente Convenio.

#### **Artículo 20**

El Director General de la Oficina Internacional del Trabajo comunicará al Secretario General de las Naciones Unidas, a los efectos del registro y de conformidad con el artículo 102 de la Carta de las Naciones Unidas, una información completa sobre todas las ratificaciones y declaraciones de denuncia que haya registrado de acuerdo con los artículos precedentes.

#### **Artículo 21**

Cada vez que lo estime necesario, el Consejo de Administración de la Oficina Internacional del Trabajo presentará a la Conferencia una memoria sobre la aplicación del Convenio, y considerará la conveniencia de incluir en el orden del día de la Conferencia la cuestión de su revisión total o parcial.

#### **Artículo 22**

1. En caso de que la Conferencia adopte un nuevo convenio que implique una revisión total o parcial del presente, y a menos que el nuevo convenio contenga disposiciones en contrario:

- a) La ratificación, por un Miembro, del nuevo convenio revisor implicará, ipso jure, la denuncia inmediata de este Convenio, no obstante las disposiciones contenidas en el artículo 18, siempre que el nuevo convenio revisor haya entrado en vigor;
- b) A partir de la fecha en que entre en vigor el nuevo convenio revisor, el presente Convenio cesará de estar abierto a la ratificación por los Miembros.

2. Este Convenio continuará en vigor en todo caso, e n su forma y contenido actuales, para los Miembros que lo hayan ratificado y no ratifiquen el convenio revisor.

#### **Artículo 23**

Las versiones inglesa y francesa del texto de este Convenio son igualmente auténticas.

### **DECRETO N° 133**

**MINISTERIO DE SALUD****REGLAMENTO SOBRE AUTORIZACIONES PARA INSTALACIONES RADIATIVAS O EQUIPOS GENERADORES DE RADIACIONES IONIZANTES, PERSONAL QUE SE DESEMPEÑA EN ELLAS, U OPERE TALES EQUIPOS Y OTRAS ACTIVIDADES AFINES.**

(Publicado en el diario oficial de 23 de agosto de 1984)

Santiago, 22 de mayo de 1984- hoy se decretó lo que sigue:

**Nº 133** -Visto: lo dispuesto en los artículos 86 y 90 de decreto con fuerza de ley nº 725, de 1968, que aprobó el código sanitario; en el libro décimo del mismo cuerpo legal; en el artículo 67 de la ley nº 18.302; en la ley nº 16.319 y las facultades que me confiere el artículo 32 nº 8 de la constitución política del estado,

**DECRETO :**

Apruébase el siguiente reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos y otras actividades a fines.

**TITULO I****Disposiciones generales**

**Artículo 1º** El presente reglamento establece las condiciones y requisitos que deben cumplir las instalaciones radiactivas o los equipos generadores de radiaciones ionizantes, el personal que desempeñe en ellas u opere estos equipos, la importación, distribución y venta de las sustancias radiactivas que se utilicen o mantengan en las instalaciones radiactivas o en los equipos generadores de radiaciones ionizantes y el abandono o desecho de sustancias radiactivas.

**Artículo 2º** Las instalaciones radiactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes a que se refiere el artículo precedente, no podrán funcionar sin autorización previa del servicio de salud en cuyo territorio se encuentren ubicados. Tratándose de la región metropolitana, esta facultad le corresponderá al servicio de salud del ambiente de esa región.

**Artículo 3º** Toda persona que se desempeñe en las instalaciones radiactivas u opere equipos generadores de radiaciones, deberá contar con autorización del servicio de salud correspondiente.

**Artículo 4º** La adquisición, posesión, uso, manejo, manipulación, almacenamiento, importación, exportación, distribución, y venta de sustancias radiactivas no podrá efectuarse sin la autorización sanitaria pertinente.

**Artículo 5º** Compete, igualmente, a los Servicios de Salud el control y fiscalización del correcto cumplimiento de las disposiciones establecidas en este reglamento y en las normas e instrucciones que conforme a él imparta el Ministerio de Salud.

## **TITULO II**

### **De las definiciones**

**Artículo 6º** Para los efectos del presente reglamento se entenderá por:

A) Instalaciones radiactivas.- El recinto o dependencia habilitado especialmente para producir, tratar, manipular, almacenar o utilizar sustancias radiactivas u operar equipos generadores de radiaciones ionizantes.

B) Sustancia radiactiva.- Cualquier sustancia que tenga una actividad específica mayor de dos milésimas de microcurio por gramo o su equivalente en otras unidades.

C) Radiaciones ionizantes.- Es la propagación de energía de naturaleza corpuscular o electromagnética, que en su interacción con la materia produce ionización.

D) Desecho radiactivo.- Cualquier sustancia radiactiva o material contaminado por dicha sustancia que, habiendo sido utilizado con fines científicos, médicos, agrícolas, comerciales, industriales u otros, sean desechados.

E) Historial dosimétrico.- Conjunto de documentos que acreditan las dosis recibidas por una persona expuesta a las radiaciones ionizantes durante todo su desempeño laboral.

F) Dosimetría.- Técnica para medir las dosis absorbidas por una persona, expuesta a las radiaciones ionizantes, en un período de tiempo determinado.

## **TITULO III**

### **De las instalaciones radiactivas**

**Artículo 7.-** Las instalaciones radiactivas se clasificarán en tres categorías.

Quedan comprendidos en la primera categoría los aceleradores de partículas, plantas de irradiación, laboratorios de alta radiotoxicidad, radioterapia y roentgenterapia profunda, gammagrafía y radiografía industrial.

Pertenece a la segunda categoría los laboratorios de baja radiotoxicidad, rayos x para diagnóstico médico o dental, radioterapia y roentgenterapia superficial.

La tercera categoría incluye los equipos de fuente selladas de uso industrial, tales como: pesómetros, densímetros, medidores de flujo y de nivel, detectores de humo, medidores de espesores, etc. Asimismo, quedan comprendidas en esta categoría las fuentes patrones, estimuladores cardíacos radioisotópicos, marcadores o simuladores de uso médico, equipos de rayos x para control de equipaje, correspondencia, etc, fluoroscopia industrial y difractómetros.

**Artículo 8.-** Las instalaciones de primera categoría requerirán autorización de construcción, operación y cierre temporal o de definitivo.

Las instalaciones de segunda categoría requerirán autorización de operación y de cierre temporal o definitivo, y las de tercera categoría sólo requerirán autorización de operación.

**Artículo 9.-** Para el otorgamiento de la autorización de construcción de las instalaciones de primera categoría, el interesado deberá presentar los siguientes antecedentes:

- A) plano de ubicación e informe de emplazamiento, cuando corresponda.
- B) anteproyecto de construcción
- C) plano y memoria de diseño de la instalación, que deberá incluir blindajes, manuales de los equipos, de los sistemas de seguridad y control y de los auxiliares, y
- D) plan de utilización, que contendrá una descripción de los elementos radiactivos y de los equipos generadores de radiaciones ionizantes, y la utilización estimada de los mismos.

**Artículo 10.-** Para el otorgamiento de la autorización de operación de las instalaciones de primera categoría, el interesado deberá presentar los siguientes documentos:

- A) manual de operación y mantenimiento de sistemas y equipos con descripción de los procedimientos.
- B) plan de emergencia, en caso de accidente.

C) informe de funcionamiento y de seguridad radiológica favorable de la autoridad sanitaria. Este informe también podrá ser emitido por una persona natural o jurídica, especialmente autorizada para estos efectos, por los Servicios de Salud, conforme a las normas que al respecto dicte el Ministerio de Salud.

**Artículo 11.-** Para el otorgamiento de la autorización de operación de las instalaciones radiactivas de segunda categoría, se exigirá:

a) manual de operación y mantenimiento de sistemas y equipos.

b) informe de funcionamiento y de seguridad radiológica favorable de la autoridad sanitaria. Este informe también podrá ser emitido por una persona natural o jurídica, especialmente autorizada para estos efectos, por los Servicios de Salud, conforme a las normas que al respecto dicte el Ministerio de Salud.

**Artículo 12.-** Para el otorgamiento de la autorización de operación de las instalaciones de tercera categoría, el interesado deberá presentar el plano de la instalación y las especificaciones técnicas de los equipos.

**Artículo 13.-** Para el otorgamiento de las autorizaciones de cierre temporal o definitivo de las instalaciones radiactivas de primera y segunda categoría, el interesado deberá presentar a la autoridad sanitaria una solicitud debidamente fundada, en la que se indicará los procedimientos y sistemas de seguridad que se adoptarán para tales efectos.

**Artículo 14.-** El titular de una autorización para instalación radiactiva, será siempre responsable de la seguridad de su emplazamiento, puesta en servicio, funcionamiento y cierre temporal o definitivo, sin perjuicio de la responsabilidad que pudiera afectar al personal que se desempeña en dicha instalación, de acuerdo a las normas generales del derecho.

**Artículo 15.-** Para el otorgamiento de la autorización de operación de los equipos generadores de radiaciones ionizantes móviles, el interesado deberá presentar ante el Servicio de Salud correspondiente, los siguientes antecedentes:

a) manual de operación y mantenimiento del equipo con descripción de los procedimientos.

b) nómina de los operadores, debidamente autorizados, encargados del manejo de tales equipos. Dicha nómina deberá mantenerse actualizada, comunicándose a la autoridad sanitaria cualquier cambio que se produzca en ella.

#### **TITULO IV**

#### **De las autorizaciones para las personas que se desempeñan en las instalaciones radiactivas**

**Artículo 16.-** Toda persona que desarrolle actividades relacionadas directamente con el uso, manejo o manipulación de sustancias radiactivas u opere equipos generadores de radiaciones ionizantes deberá ser autorizado por el servicio de salud correspondiente. Esta autorización tendrá validez en todo el territorio nacional.

**Artículo 17.-** Para obtener esta autorización, el interesado deberá acreditar ante el servicio de salud respectivo, el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- a) licencia secundaria o su equivalente.
- b) haber aprobado el curso de protección radiológica, dictado por la Comisión Chilena de Energía Nuclear, los Servicios de Salud, el Instituto de Salud Pública de Chile, u otros organismos autorizados por el Ministerio de Salud, o haber convalidado estudios realizados al efecto, ante el Servicio de Salud.

**Artículo 18.-** No obstante lo dispuesto en el artículo precedente, podrán optar a esta autorización aquellas personas que acrediten fehacientemente, haberse desempeñado en tales actividades por un período de a lo menos tres años. Para estos efectos, los Servicios de Salud, cuando lo estimen conveniente, **podrán exigir que el solicitante rinda un examen acerca de materias de protección radiológica.**

Asimismo, se exigirá a los interesados la presentación de su historial dosimétrico, o en su defecto, el examen médico correspondiente.

**Artículo 19.-** Las autorizaciones a que se refiere el presente titulo serán otorgadas por un plazo máximo de tres años. Para su renovación, deberá considerarse el historial dosimétrico del interesado, que llevará el Instituto de Salud Pública de Chile.

La dosimetría personal podrá efectuarse por otro organismo habilitado para tales efectos, por el Ministerio de Salud.

## **TITULO V**

### **De las autorizaciones de importación, exportación venta, distribución y almacenamiento de sustancias radiactivas**

**Artículo 20.-** Las sustancias radiactivas no podrán ser internadas al territorio nacional o enviadas fuera de él, sin la competente autorización sanitaria.

Asimismo la transferencia a cualquier título de dichas sustancias, deberá contar con autorización del Servicio de Salud respectivo.

**Artículo 21.-** Los lugares destinados al almacenamiento de sustancias o desechos radiactivos, deberán contar con autorización del Servicio de Salud competente.

## **TITULO VI**

### **Del abandono o desecho de sustancias radiactivas**

**Artículo 22-** Todo abandono o desecho de sustancias radiactivas, requerirá de autorización del Servicio de Salud respectivo.

## **TITULO VII**

### **De las sanciones**

**Artículo 23.-** El incumplimiento de las disposiciones establecidas en este reglamento, será sancionado por los servicios de salud en la forma y conforme a los procedimientos previstos en el libro décimo del código sanitario.

## **TITULO FINAL**

**Artículo 24.-** El presente reglamento entrará en vigencia a contar de su publicación en el diario oficial, fecha en la cual quedará derogada toda norma, disposición o instrucción contraria o incompatible con sus preceptos.

## **DISPOSICIONES TRANSITORIAS**

**Artículo 1.º** Las instalaciones radiactivas o los equipos generadores de radiaciones ionizantes que se encuentren en funcionamiento a la fecha de vigencia de este decreto, sin autorización sanitaria, deberán obtener la correspondiente autorización de operación de acuerdo a las normas que se establecen en esta materia dentro del plazo de 180 días desde la fecha de su vigencia.

**Artículo 2º** Las personas que actualmente se encuentren desempeñándose en instalaciones radiactivas u operen equipos generadores de radiaciones ionizantes sin la correspondiente autorización sanitaria, deberán obtenerla dentro del mismo plazo señalado en el artículo precedente.

Anótese, tómese razón, publíquese e insértese en la Recopilación de Reglamentos de la Contraloría General de la República.-

[www.consejonacionaldeseguridaddechile.cl](http://www.consejonacionaldeseguridaddechile.cl)

### **HIPÓTESIS DE TRABAJO.**

“Con una norma legal específica que regule las actividades de los funcionarios que trabajan en radiaciones ionizantes, disminuirá la inseguridad personal de los mismos y elevará la productividad de sus resultados”.

### **MÉTODOS Y TÉCNICAS A UTILIZAR EN LA TESIS.**

#### **MÉTODO DE OBSERVACIÓN Y ANALÓGICO.**

Se observará los hechos reales, como descriptivos referentes al trabajo con radiactividad, para luego ser clasificadas adecuadamente desde el punto de vista de sus repercusiones, para ser asimilados y vaciados en la propuesta de la norma jurídica correspondiente.

#### **MÉTODO INDUCTIVO.**

Se analizará el tema en particular para llegar a una idea o principio general, centrado en las posibilidades de reducción de la inseguridad en el trabajo con radiactividad, buscando en consecuencia; mediante este método, todos los puntos referidos a la propuesta de la norma jurídica, como mecanismo o medio para la consecución de los objetivos propuestos.

#### **MÉTODO DEDUCTIVO**

Formulamos la hipótesis de carácter general sobre el tema, para llegar a una afirmación o negación de contenido particular, mediante el análisis del

contenido, desde diferentes puntos de vista, para finalmente deducir la importancia de una norma ampliatoria o subsecuente y como resultado de imbricar los factores personales e individuales del personal que trabaja con radiactivos y los presupuestos jurídicos, en una relación de acción e interacción

## **VARIABLES**

### **12. VARIABLE DEPENDIENTE.-**

La variable dependiente: Trabajo de dependientes en radiaciones ionizantes.

#### **12.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.-**

Norma legal específica de regulación al trabajo de dependientes en radiaciones ionizantes.

Inseguridad personal de dependientes en radiaciones ionizantes.

Incremento de productividad en función a la norma.

### **13. RECOMENDACIONES**

En el presente trabajo se puede determinar que la Protección Legal a los Miembros que trabajan en el área de Radiaciones Ionizantes es en nuestro País es muy deficiente, pues si bien existen algunas normativas vigentes dentro del I.B.T.E.N., solamente son normativas que están enmarcadas a un Ente estatal y no así a un rango de Ley y menos aun no tiene el valor que el Poder Legislativo ni el Poder Ejecutivo le deben dar para que este tenga la fuerza de Ley, entonces debemos entender que los funcionarios que trabajan en el área de Radiaciones Ionizantes están carentes de Fundamentos Jurídicos para su Protección Jurídica, lo cual es totalmente falso pues por la exposición de la presente Tesis demostramos de sobremano que la protección en este ámbito es fundamental y necesaria para que estos funcionarios tengan una propia legislación jurídica para que dentro de lo establecido por la Constitución Política del Estado se cumpla, es decir la derecho a la vida, a un trabajo digno y remunerado, así como el derecho a una familia.

### **14. CONCLUSIONES**

El presente trabajo se realizó en base a los datos proporcionados por el I.B.T.E.N. mediante estadísticas, en las cuales se puede notar que en Bolivia la apertura y la protección a los trabajadores que trabajan en el campo de la

Radiación Ionizante no tiene una legislación específica para que estos trabajadores estén en un ambiente laboral que contenga una seguridad jurídica específica al ramo, ya que en Bolivia si bien existe normativas sobre Radiaciones, no existe una normativa que sea exclusivamente de protección a los médicos, técnicos, auxiliares y personal que tenga que relacionarse con este campo de la medicina, entonces nuestra hipótesis esta comprobada, ya que los trabajadores en este campo no tienen la normativa legal para que tengan una protección establecida por las autoridades de turno, y de esta manera estar laboralmente protegidos y así disminuirá la inseguridad legal de los mismos, siendo de esta manera que la producción de estos se podrá elevar mas en el rendimiento que puedan brindar a los particulares que tengan que someterse a este tipo de estudios por medio de radiaciones Ionizantes, teniendo la protección adecuada tanto técnica como legal para este cometido.

### **BIBLIOGRAFIA DEL TEMA ENVENENAMIENTO POR RADIACION**

Andrews, G. A., Brucer, y Anderson, E. B. (Editores). Radioisotopes in Medicine (Radioisó- topos en Medicina ' ), ORO 125. Washington, D.C.: Government Printin.- Office. 1955.

Behrens, G. F. Atomic Medicine (Medicina Atómica). 2nd Ed.; Baltimore: Willíams & Wilkins Co. 1953.

Biological Effects of Atomic Radia tion -Summary Reports (Efectos Biológicos dé la Radiación Atómica-Informes Sumarions). Washington, D.C.: National Acaderny of Sciences-National Research Council. 1960.

Blair, H. A. Data Pertaining to Shortening of Life Span by Ionizing Radiation (Datos sobre el Acortamiento del Promedio de Vida por causa de la Radiación Ionizante), AEC Document UR-442. Washington, D.C.: U.S. Atomic Energy Comm. 1956.

Brues, Austin M. Radiations as a Carcinogenie Agent (Radiaciones como un Agente Carcinogénico). Radiation Research, Vol. III, No. 3, November 1155.

Glasser, Otto G. Medical Physics (Física Médica). Chicago: Year Book Medical Publishers, Inc. Vol. I, 1944; Vol. II, 1950.

Glasser, Otto G., et al. Physical Foundations of Radiology (Fundamentos Físicos de la Radiología). 2nd Ed.; New York: P. B. Hoeber. 1952.

Glasstone, Samuel. Source Book on Atomic Energy (Elementos de Energía Atómica). New York: D. Van Nostrand Co., Inc. 1950.

Hollaender, Alexander. Radiation Biology (Radiobiología). New York: McGraw-Hill Book Co., Inc. 1954-1956.

Lapp, Ralph E., y Andrews, H. S. Nuclear Radiation Physics (Radiofísica Nuclear). 2nd Ed.; Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, Inc. 1954.

Match, Stanley H., y Lawrence, Philip S. National Survey of Congenital Malformations Resulting from Exposure to Roentgen Radiation (Encuesta Nacional sobre las Malformaciones Congénitas resultantes de Exposición a Radiación Roentgen). Amer. J. of Roentgenology, Vol. 73, No. 3, March 1955.

Muller, H. J. How Radiation Changes the Genetic Constitution (Cómo la Radiación cambia la Constitución Genética). Bulletin of the Atomic Scientists, Vol. 11, No. 9, Nov., 1955.

Muller, H. J. The Manner of Dependence of the Permissible Dose of Radiation on the Amount of Genetic Damage (La forma de Dependencia de la Dosis Permissible de Radiación en la Extensión del Daño Genético). Acta Radiologica, Vol. 41, Jan. 1954;

Pathologic Effects of Atomic Radiation (Efectos Patológicos de la Radiación Atómica). Washington, D.C.: Federal Radiation Council. 1962.

Simpson, C. L., Hempelmann, L. H., y Fuller, L. M. Neoplasia in Children Treated with X-rays in Infancy for Thymic Enlargement (Neoplasia en Niños tratados con Rayos-X en la Infancia por Timo Hipertrofiado). Radiology, Vol. 64, No. 6, pp. 840-845, June 1955.

Some Effects of Ionizing Radiation on Human Beings (Algunos Efectos de las Radiaciones Ionizantes en los Seres Humanos). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.

Warren, Shields. Longevity and Causes of Death from Irradiation in Physicians (Longevidad y Causas de Muerte por Irradiación en Médicos). JAMA, Vol. 162, No. 5, pp. 464-468, Sept 29, 1956.

### **BIBLIOGRAFIA DEL TEMA DE RADIATIVIDAD**

"Métodos de Ensayos no Destructivos". Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial. Madrid. 4ª Edición. Año 1998.

"Radiografía Industrial". AGFA. Año 2000.

"Habilitación en permisos para Gammagrafía. Comisión Argentina de Ensayos no Destructivos. Año 2003.

Autoridad Regulatoria Nuclear. Boletín de información. Año 2005.

Comisión Nacional de Energía Atómica. Boletín de información. Año 2002.

"Curso de Medicina Laboral". La Plata. Año 2004/05.

**Hernan Aguiar** haguilar@mellorgoodwin.com

**Argentina. Noviembre 2005.**

<http://www.monografias.com/trabajos41/radiaciones-ionizantes/radiaciones-ionizantes2.shtml>

### **BIBLIOGRAFIA SOBRE LA LEGISLACION BOLIVIANA**

Constitución Política del Estado

Código de Seguridad Social

Código Civil Boliviano

Ley General del Trabajo y su Reglamento

Reglamentos del I.B.T.E.N

### **BIBLIOGRAFIA SOBRE LA LEGISLACION COMPARADA**

Se extrajo del Internet:

[www.consejonacionaldeseguridaddechile.cl](http://www.consejonacionaldeseguridaddechile.cl)

<http://www.2.alasbimnjournal.cl>

<http://www.derecho.com/ley/42133> (España)

[http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol1\\_1\\_00/rst07100.html](http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol1_1_00/rst07100.html)

[www.legislacion.asamblea.gob.ni](http://www.legislacion.asamblea.gob.ni)

### **BIBLIOGRAFIA SOBRE LAS ALTERACIONES GENETICAS**

Echogenic foci in the fetal heart: A marker of chromosomal abnormalities. Br L Obstet Gynaecol 1996;193:724

Wallace EM, Swanston LA, McNeilly AS, Aschby JP, y cols. Second trimester screening for Down syndrome using dimeric inhibin A . Clin Endocr ( Oxf) 1996; 44:15-21.

Lockwood C, Benacerraff BR, Krinsky A y cols. A sonographic screening method for Down syndrome. Am J Obstet Gynecol 1987;157:803

Nicolaides KH, Chawwua L, Brizot M, y cols. Ultrasonograficamente detectable markers of fetal chromosomal defects. Ultrasound Obstet Gynecol 1993;3:56.

Martinez Frias ML. Defectos congénitos en España. Diez años de vigilancia epidemiológica. Estudios sanitarios. Dirección general de planificación sanitaria. Ministerio de sanidad y consumo. Madrid, 1989.

[http://www.tesisenred.net/TESIS\\_UC/AVAILABLE/TDR-0921105-103447//1de9.CSFcap1.pdf](http://www.tesisenred.net/TESIS_UC/AVAILABLE/TDR-0921105-103447//1de9.CSFcap1.pdf)

