

Universidad de la República
Facultad de Medicina
ESCUELA UNIVERSITARIA DE TECNOLOGÍA MÉDICA
LICENCIATURA EN IMAGENOLOGÍA

REDUCCIÓN DE DOSIS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE PROTECTORES DE BISMUTO, EN
TOMOGRFÍA COMPUTADA DE TÓRAX.

RICARDO ANAYA

MONOGRAFÍA FINAL

Montevideo

URUGUAY

Octubre 2012

AGRADECIMIENTOS

Al profesor de la Facultad de Ciencias, Lic. Daniel Blanco y especialmente a la Ing. Química Beatriz Souto, por todo el conocimiento y la información brindados.

TABLA DE CONTENIDOS

pag.

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. OBJETIVOS.....	3
4. MARCO TEÓRICO.....	4
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
6. RESULTADOS.....	16
7. DISCUSIÓN.....	18
8. CONCLUSIONES.....	18
BIBLIOGRAFÍA.....	19
ANEXO.....	20
GLOSARIO.....	25

RESUMEN

Reducción de dosis mediante la utilización de protectores de Bismuto, en TC de tórax. La protección radiológica de áreas específicas es necesaria cuando hay tejidos u órganos radiosensibles en el trayecto o cerca del haz. El uso correcto de protección en estos casos representa un desafío para el radiólogo, debido al tiempo y los materiales que requiere. Metodología: Se realizó una investigación prospectiva en el C.H.P.R. (servicio TC). Las dosis se midieron con dosímetros TLD cien. Se utilizaron cuatro TLD por paciente: dos por encima del protector de bismuto y dos por debajo, en tórax. Resultados: Se obtuvo una dosis media para *piel-centro* (con protector) de $3,94 \pm 0,17$ mSv, con una varianza de 0,0278 presentando una diferencia significativa de la dosis *arriba-centro* (sin protector), con una dosis media de $7,60 \pm 0,42$ mSv y una varianza de 0,1774, mostrando una reducción del $48 \pm 3,11\%$, con una varianza de 2,98 y una dosis media para *piel-costado* (con protector) de $3,31 \pm 0,19$ mSv, con una varianza de 0,0372 presentando una diferencia significativa de la dosis *arriba-costado* (sin protector), con una dosis media de $3,85 \pm 0,14$ mSv y una varianza de 0,0200, mostrando una reducción del $14,1 \pm 3,10\%$, con una varianza de 3,11. Conclusiones: No todos los centros hospitalarios poseen estos protectores. Su utilización en niños es útil e importante para su radioprotección.

Palabras clave: Protector de Bismuto, Dosis recibida, Dosímetro TLD.

1-INTRODUCCIÓN

La protección radiológica de áreas específicas es necesaria cuando hay tejidos u órganos radiosensibles, como la glándula tiroides, las gónadas o las mamas, en el trayecto o cerca del haz útil. Algunos ejemplos son las protecciones de goma plomada, durante exámenes radiológicos diversos. En los niños, el área por proteger es proporcionalmente menor.

El uso sistemático y correcto de la protección de áreas específicas representa un desafío para el radiólogo, debido al tiempo y los materiales adicionales que requiere. No obstante, la importancia de proteger las gónadas de niños y adultos en edad fértil contra radiaciones innecesarias, debería ser motivación suficiente para cumplir sistemáticamente las siguientes tres reglas de la protección:

1. Debe aplicarse para todas las áreas específicas de niños y adultos (muchos servicios de radiología establecen como norma proteger siempre las gónadas en todos los pacientes, cuando sea posible.)
2. Debe aplicarse cuando las áreas radiosensibles estén en el trayecto del haz primario o cerca de él (5 cm ó 2 pulgadas), salvo que la protección enmascare áreas esenciales para el diagnóstico.
3. La protección de áreas específicas debe acompañarse de una colimación precisa del haz de rayos y una posición correcta del paciente. La protección de áreas específicas es importante, pero siempre debe ser una medida de protección secundaria y no un sustituto de la colimación precisa.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Buscar la adecuada radioprotección del paciente en las tomografías computadas (TC) de tórax.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Medir las dosis recibidas por el paciente al usar protectores mamarios en TC de tórax.
2. Demostrar la acción reductora de la dosis que tienen los protectores.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 TÓRAX.

El tórax es la parte del cuerpo humano que está entre la base del cuello y el diafragma. Contiene a los pulmones, el corazón, grandes vasos sanguíneos como la arteria aorta (ascendente, arco y descendente) y la vena cava inferior, la cadena ganglionar simpática de donde salen los espláncnicos, la venas ácigos mayor y menor, el esófago, el conducto torácico y su división en el mediastino (ver fig. 1).

Tiene forma de cono truncado o pirámide cuadrangular y su pared está formada por las costillas y los músculos intercostales de ambos lados, que se unen por delante al hueso esternón por medio de los cartílagos costales y por detrás a la columna vertebral dorsal. La función de esta "caja" es la de proteger los órganos internos de traumatismos mecánicos que de otra manera podrían lesionarlos.

La caja torácica tiene la particularidad de ensancharse para permitir la inspiración. Además, el último par de costillas es denominado flotante, ya que sólo está unido a las vértebras en la parte posterior, lo que permite su ensanchamiento en el embarazo.

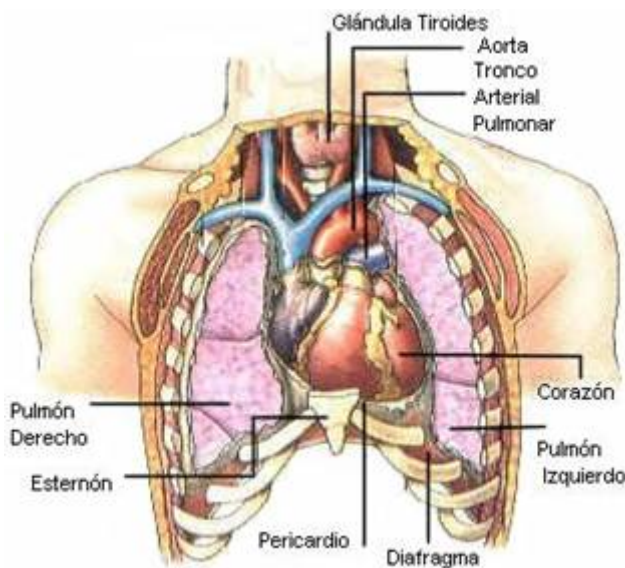


Figura 1. Anatomía del Tórax (de Tortora).

3.2 GLÁNDULAS MAMARIAS.

Las glándulas mamarias son los órganos que, en todos los mamíferos, producen leche para alimentar a las crías o hijos durante los primeros meses o semanas de vida. Estas glándulas exócrinas son glándulas sudoríparas dilatadas.

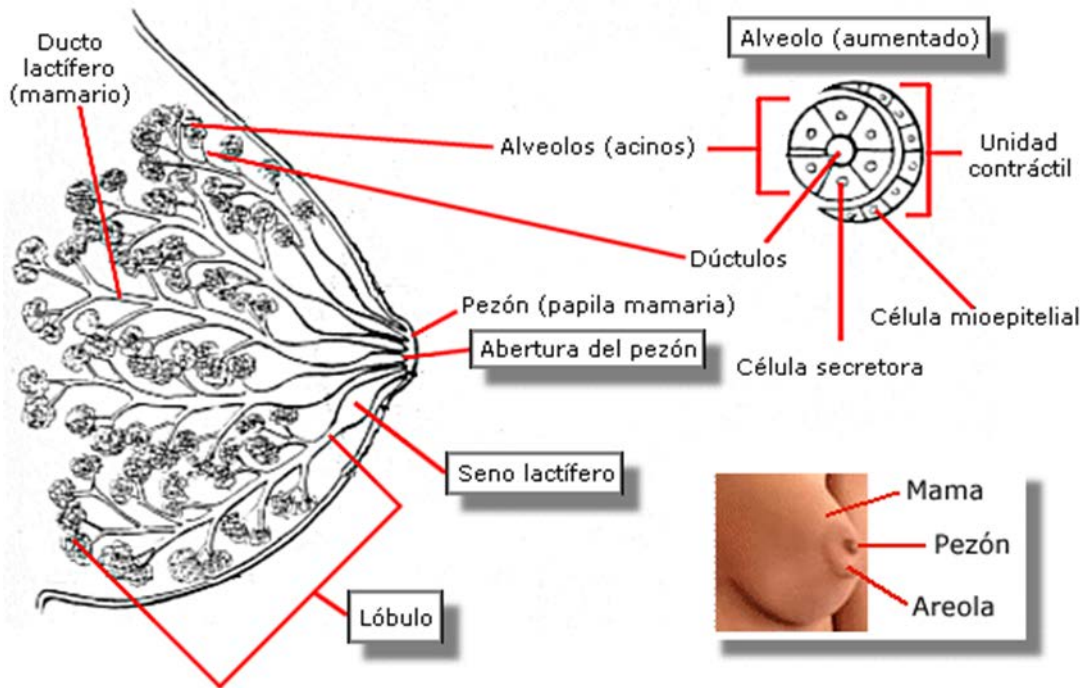
Los elementos primarios de una glándula mamaria son los alvéolos (estructuras tubulares huecas de unos cuantos milímetros de longitud) recubiertos por células epiteliales y rodeados por células mioepiteliales.

Estos alvéolos se reúnen formando grupos llamados lóbulos y cada uno de estos lóbulos posee un ducto lactífero que drena en los orificios del pezón.

En las células mioepiteliales, que pueden contraerse de forma similar a las musculares, la leche es impelida desde los alvéolos, a través de los ductos lactíferos hacia el pezón, donde se almacena en engrosamientos (senos) de los ductos. A medida que la cría comienza a succionar se inicia el "reflejo hormonal de relajación" y la leche se segrega -no se aspira desde la glándula- a la boca del bebé (ver fig. 2).

Todo el tejido excretor de leche que se dirige hacia un único ducto se denomina "glándula mamaria simple"; se define como "glándula mamaria compuesta" a todas las glándulas mamarias simples que abastecen un pezón. Las mujeres tienen normalmente dos glándulas mamarias compuestas, una en cada mama y cada una consta de entre 10 a 12 glándulas simples. La presencia de más de dos pezones se llama politelia y más de dos glándulas mamarias compuestas se denomina polimastia.¹

Figura 2. Anatomía de la glándula mamaria (de Tortora).



¹Latarjet, A., Ruiz Liard, A. Anatomía Humana. Cuarta edición. Madrid, España. Editorial Panamericana.

3.3 RADIOSENSIBILIDAD

Según: Peña Bernal, JJ et al. En "Protección radiológica en el paciente de radiodiagnóstico". Programa del Curso Superior de Protección Radiológica del Paciente Hospitalario. La Habana, 1998: 137-147.

Radiosensibilidad es la magnitud de respuesta de las estructuras biológicas, producida por las radiaciones ionizantes. Un elemento biológico es más sensible cuanto mayor es su respuesta a una dosis determinada. Es más radiosensible cuando se necesita menos dosis para alcanzar un efecto.

El concepto opuesto a radiosensibilidad, es radioresistencia. No existe célula ni tejido normal o patológico radioresistente en forma absoluta, si se aumenta ilimitadamente la dosis, siempre se puede lograr su destrucción. Administrando dosis mínimas en órganos o tejidos, se observarán diferentes grados de alteraciones morfológicas o funcionales.

Las células presentan diferentes grados de sensibilidad hacia la radiación, según la línea celular. Tomando como referencia la muerte celular, pueden clasificarse en cinco grupos de mayor a menor sensibilidad:

1. Muy radiosensibles: leucocitos, eritroblastos, espermatogonias.
2. Relativamente radiosensibles: mielocitos, células de las criptas intestinales, células basales de la epidermis.
3. Sensibilidad intermedia: células endoteliales, células de las glándulas gástricas, osteoblastos, condroblastos, espermatozoides.
4. Relativamente radioresistentes: granulocitos, osteocitos, espermatozoides, eritrocitos.
5. Muy radioresistentes: fibrocitos, condrocitos, células musculares y nerviosas.

Leyes de radiosensibilidad:

"...la radiosensibilidad celular está regida por una serie de determinantes que han sido estudiados y aplicados a todas las células del organismo, enunciándose unas leyes biológicas, que conceden mucha importancia a la actividad mitótica, siendo las más importantes:

Ley de Bergonié y Tribondeau:

*Está basada en la observación de irradiaciones sobre células testiculares, y en función de la actividad mitótica y diferenciación celular, se establecen los siguientes puntos:
Una célula es tanto más radiosensible, cuanto mayor es su actividad reproductiva.
Una célula es tanto más radiosensible, cuanto más largo sea su porvenir de división, es decir, cuantas más divisiones deba cumplir en el futuro.
Una célula es tanto más radiosensible, cuanto menos diferenciadas sean sus funciones.*

Ley de Ancel y Vitemberg: La sensibilidad de toda célula que ha de experimentar lesiones por radiación es la misma, pero el tiempo que tardan en aparecer las lesiones inducidas, varía según los distintos tipos de células. Los factores que influyen en el tiempo que tardan en aparecer las lesiones radioinducidas son:

El estrés biológico que actúa sobre la célula. La actividad reproductiva representa un estrés biológico considerable.

Las condiciones en que se encuentra la célula en el periodo de pre y post radiación...”
Radiosensibilidadhística: aunque la radiosensibilidad de un tejido es parecida a la de las células que lo forman, no es una expresión directa, por lo que contribuyen varios factores. Un tejido u órgano está formado por dos componentes: el parénquima (compartimento que contiene las células características del tejido en cuestión) y el formado por tejido conjuntivo y vasos (mesénquima). Los dos tienen diferente radiosensibilidad. La dificultad del funcionamiento de un tejido, implica que en todo momento, coexisten en él, células en actividad mitótica, en reproducción y con buena o mala oxigenación.²

3.5 BISMUTO

Según: Peña Bernal, JJ et al. En “Protección radiológica en el paciente de radiodiagnóstico”. Programa del Curso Superior de Protección Radiológica del Paciente Hospitalario. La Habana, 1998: 137-147.

PRINCIPIO TEÓRICO DEL PROTECTOR DE BISMUTO

“...la característica multicromática del haz de rayos X, determina que parte de la dosis de radiación utilizada en un estudio tomográfico no intervenga en la formación de la imagen.

Los fotones de baja energía, que entregan el total de su energía en los planos superficiales en su trayecto a través de sus estructuras anatómicas, no inciden en la obtención de las imágenes tomográficas en tanto que si contribuyen con la dosis efectiva recibida por el paciente...”

La disposición superficial de las mamas dictamina que estas glándulas estén expuestas a la radiación de baja energía, responsable de parte de la dosis recibida por dichos órganos. El objetivo buscado con la utilización de protectores de bismuto es detener fotones de baja energía permitiendo el pasaje de aquellos que contribuyen en la formación de la imagen tomográfica.

Esto se lleva a cabo por las características de ese elemento, cuyo número atómico dictamina que sea efectivo para detener la radiación “blanda” sin obstruir el pasaje de la radiación útil en la formación de la imagen.

²Peña Bernal, JJ et al. Protección radiológica en el paciente de radiodiagnóstico.

En: Programa del Curso Superior de Protección Radiológica del Paciente

Hospitalario. La Habana, 1998: 137-147.

En el presente trabajo se busca demostrar la disminución de la dosis recibida por las mamas con la utilización de protectores. El bismuto es un elemento químico de la tabla periódica cuyo símbolo es Bi, su número atómico es 83 y se encuentra en el grupo 15 del sistema periódico. Es un metal típico desde el punto de vista químico. En compuestos, tiene valencias de +3 o +5, siendo más estables los compuestos de bismuto trivalente.

Características generales de los protectores de Bismuto (la tabla se adjunta en el anexo): Protector de bismuto para región de las mamas. Para una máxima protección del tejido mamario sin artefactos. Libre de plomo, de fácil aplicación y fijación al paciente. Formato de varias unidades (ver fig. 3).³



Figura 3. Muestra colocado un protector de bismuto especialmente diseñado para la región mamaria (de Peña Bernal).

³Peña Bernal, JJ et al. Protección radiológica en el paciente de radiodiagnóstico. En: Programa del Curso Superior de Protección Radiológica del Paciente Hospitalario. La Habana, 1998: 137-147.

3.6 TOMOGRAFÍA

Según: Bushong, S. En "Manual de Radiología para técnicos. La Imagen Radiográfica". Sexta Ed. Madrid: Harcourt, 1998. 586p.

"...la tomografía computarizada (TC), también denominada escáner, es una técnica de imagen médica que utiliza radiación X para obtener cortes o secciones de objetos anatómicos con fines diagnósticos..."

En lugar de conseguir una imagen de proyección, como la radiografía, la tomografía obtiene múltiples imágenes al efectuar la fuente de rayos X y los detectores de radiación, movimientos de rotación alrededor del cuerpo. La representación final de la imagen tomográfica se obtiene mediante la captura de las señales por detectores y su proceso mediante algoritmos de reconstrucción.

El tomógrafo emite un haz colimado de rayos que incide sobre el objeto a estudiar. La radiación no absorbida por el objeto es captada por detectores. Luego el emisor, que tenía una orientación determinada (por ejemplo, estrictamente vertical a 90º) cambia de orientación (por ejemplo, haz oblicuo a 95º). Este espectro es recogido por detectores. El emisor cambia su orientación (según el ejemplo, unos 100º de inclinación). Los detectores captan este nuevo espectro, lo 'suman' a los anteriores y 'promedian' los datos. Esto se repite hasta que el tubo y los detectores dan una vuelta completa, momento en el que se dispone de una imagen tomográfica definitiva.

Una vez que ha reconstruido el primer corte, avanza (o retrocede) una unidad de medida (hasta menos de un milímetro) y el ciclo vuelve a iniciar. Así se obtiene un segundo corte (una segunda imagen tomográfica) que corresponde a un plano situado a una unidad de medida del corte anterior.

Para aplicarlo a la medicina hubo que esperar al desarrollo cibernético y del equipo adecuado que mezclase la capacidad de obtener múltiples imágenes axiales separadas por cortas distancias, guardar electrónicamente los resultados y procesarlos. Todo esto lo hizo posible Hounsfield en los años 70. Hoy por hoy es una exploración rutinaria de hospital, habiéndose abaratado mucho los costos.

Ahora con la TC helicoidal, los cortes presentan mayor precisión. Entre las ventajas de la TC: es una prueba rápida de realizar, ofrece nitidez de imagen todavía no se ha superado con la resonancia magnética nuclear la visualización de ganglios y hueso; entre sus inconvenientes: la mayoría de las veces es necesario el uso de contraste que, al utilizar rayos, hace recibir dosis de radiación que no son despreciables. Las imágenes por TC son exactas, no son invasivas y no provocan dolor. Una ventaja importante de la TC es su capacidad de producir imágenes de huesos, tejidos blandos y vasos sanguíneos al mismo tiempo.

Siempre hay una pequeña posibilidad de problemas de índole oncológica, cataratas, enfermedades circulatorias y daño cognitivo, como consecuencia de la exposición excesiva a la radiación, pero el daño al ADN de cada célula irradiada es cierto. Algunos de los daños en el ADN son reparados por los mecanismos de la célula, pero algunos no y causan enfermedades relacionadas con los genes que no fueron reparados.

El costo beneficio debe ser positivo. La dosis efectiva de radiación y la dosis de radiación absorbida a partir de este procedimiento, muestran diferencias según la máquina y la parte del cuerpo escaneada. En algunas máquinas varía aproximadamente 1 a 10 mSv y desde aproximadamente 10 a 140 mGy para un solo análisis.⁴

⁴Bushong, S. Manual de radiología para técnicos. La imagen radiográfica. 6ª Ed. Madrid: Harcourt, 1998. 586p.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una investigación prospectiva en el Servicio de TC del Centro Hospitalario Pereira Rossell (CHPR) por un periodo de cinco meses (entre abril y setiembre de 2012).

4.1 Medición de dosis:

Las dosis se midieron con dosímetros termoluminiscentes (TLD100) que miden dosis en piel. Se utilizaron cuatro dosímetros por paciente: dos por encima del protector de Bismuto y dos por debajo del protector de Bismuto, en la zona del tórax, más específicamente en la región de la mama.

Se recubrió cada dosímetro con una bolsa en la investigación (ver fig. 4). Cada cristal estaba debidamente numerado con un número de cuatro cifras.

Se colocó un dosímetro cuidadosamente en la región en medio de las mamas por encima del protector, denominado en la tabla 1 como "*arriba centro*"; otro en la misma región pero por debajo del protector, manteniendo la simetría entre ellos, denominado en la tabla 1 como "*piel centro*"; otro en la región lateral del tórax, más específicamente en la región lateral de la mama, por encima del protector de Bismuto, denominado en la tabla 1 como "*arriba costado*" (ver fig. 5); por último se colocó uno en la parte lateral del tórax, más específicamente en la región lateral de la mama por debajo del protector de Bismuto, denominado en la tabla 1 "*piel costado*".

Cada uno fue debidamente numerado e identificado y recubierto con la bolsa negra antes mencionada. Se fijó cada dosímetro con cinta plástica al protector o, en el caso de los estudios sin protector, a la piel.

Se dejó fuera del lugar directo de exposición de radiación un dosímetro como "*dosímetro testigo*" para registrar la medición de la radiación de fondo.

Luego se realizó la exposición del paciente a la radiación, manteniendo los mismos parámetros tomográficos que son:

1. Kv de exposición: 110Kv
2. mAs de exposición: 30mAs
3. protocolo de estudio tomográfico.
4. cortes tomográficos de 5mm
5. colimación de 2.5mm
6. pitch de 1.5.
7. no utilización del sistema de exposición automática (sin *caredose 4d*)

Se dejó asentar la radiación en cada dosímetro durante cinco días, con el objeto de acercarse al valor más real posible.

Se midieron los cristales en la Autoridad Reguladora Nacional de Radioprotección (ARNR) por el lector de cristales de TLD Harshaw 4500 (ver fig. 6).



Figura 4 - Cristales TLD forrados con la bolsa.

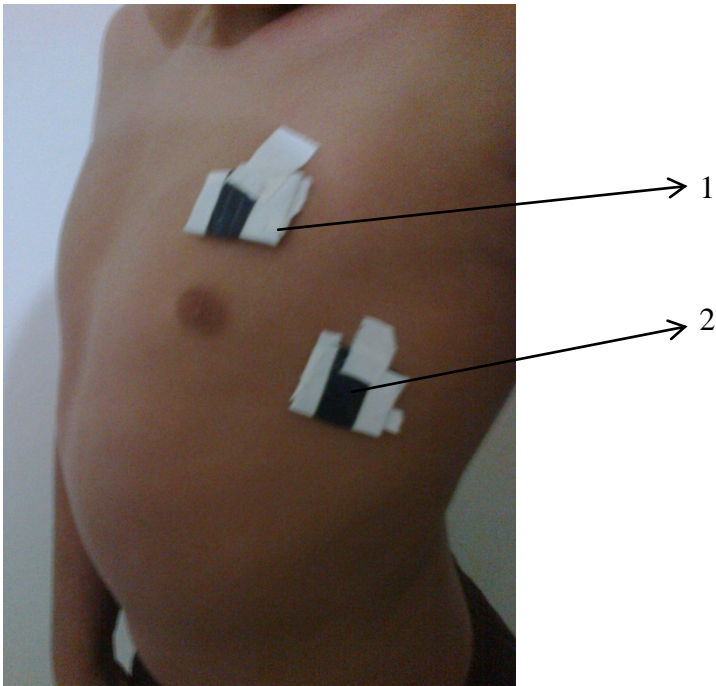


Figura 5– Distribución de los cristales en 1) *piel centro* y 2) *piel costado*, circundando la región mamaria.

4.2 Población de estudio:

La población de pacientes a estudiar incluyó niños de ambos sexos:

1. Edad: de 1 a 9 años.
2. Peso: entre 20kg y 30kg.
3. Altura: entre 1.05m y 1.35m.
4. Biotipo: misma contextura corporal.
5. Pacientes que requerían estudios tomográficos simples de tórax, con similar protocolo.No de alta resolución, ni con patologías en la cual uno o ambos pulmones estuvieran ocupados.

Figura 6. Harshaw modelo 4500, encargado de la lectura de los cristales de TLD (de la pág. Web de Harshaw).



4.3 SUPUESTOS:

1. Aleatoriedad
2. Independencia
3. Normalidad
4. Homogeneidad de Varianzas

PRUEBA DE LOS SUPUESTOS

4.3.1.- Aleatoriedad

Las n muestras observadas se han tomado aleatoriamente, respetando la población de estudio.

En el anexo se adjunta “*test for randomness*” cuyo resultado reafirma esta última aseveración.

4.3.2.- Independencia

Las n muestras observadas se han tomado independientemente.

4.3.3._ Normalidad

Hipótesis Nula: Los datos obtenidos por las distintas posiciones de los cristales de TLD tienen una distribución normal.

Hipótesis Alternativa: Los datos obtenidos por las distintas posiciones de los cristales de TLD no tienen una distribución normal.

Las corridas de los datos que demuestran que la distribución es normal se adjuntan en el anexo.

Supuestos:

1. Aleatoriedad
2. Independencia

Como fue demostrado que estos supuestos se cumplen se continúa con la prueba.

TEST DE KOLMOGOROV- SMIRNOV

Demuestra que hay diferencias significativas entre los datos y que la distribución de los mismos es normal.

TEST DE CHI CUADRADO, PRUEBA DE CURTOSIS

Demuestra que hay diferencias significativas entre los datos y que la distribución de los mismos es normal.

4.4- HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS

Hipótesis Nula: Los datos obtenidos por las distintas posiciones de los cristales de TLD presentan homogeneidad entre varianzas.

Hipótesis Alternativa: Los datos obtenidos por las distintas posiciones de los cristales de TLD no presentan homogeneidad entre varianzas

Supuestos:

1. Aleatoriedad
2. Independencia
3. Normalidad

Como fue demostrado que estos supuestos se cumplen se continúa con la prueba aplicando los test para homogeneidad de varianzas, probando diferencias significativas.

4.5- Análisis de Varianza

Hipótesis Nula: Los datos obtenidos por las distintas posiciones de los cristales de TLD no presentan diferencias significativas entre cada una de las medias.

Hipótesis Alternativa: Los datos obtenidos por las distintas posiciones de los cristales de TLD presentan diferencias significativas para algún par de las medias.

Fórmula de grado de libertad de varianza: $n-1$.

Supuestos:

1. Aleatoriedad
2. Independencia
3. Normalidad

Como fue demostrado que estos supuestos se cumplen se continúa con la prueba.

Se calculó el rozamiento de la bolsa negra utilizada para cubrir los dosímetros para restarla a los cálculos de dosis con el objeto de llegar a valores de dosis lo más reales posibles.

Se realizaron promedios entre las dosis necesarias para la validez y la exactitud de los datos de la investigación. Los resultados de las dosis se expresan en miliSievert (mSv).

Los cálculos pertinentes se realizaron con la utilización de dos programas computacionales: Microsoft Excel y Statgraphics Centurión 16.1 (programa específico para cálculos estadísticos).

5 .RESULTADOS

Se presentan los resultados de las dosis de los dosímetros de cada paciente, para comparar los valores de dosis con y sin protector de Bismuto, con el cometido de demostrar que realmente reducen la dosis recibida por el paciente, colaborando con la radioprotección del mismo. En este estudio son niños, lo que tornamás relevante demostrar la reducción de dosis.

En la pág. 24 se muestra la *tabla 1* que contiene los datos de dosis en crudo.

La tabla de datos en pág. 17 muestra los valores definitivos de dosis.

Puesto que el valor p calculado es 0,05, se rechaza la hipótesis alterna en favor de la nula.

Se tiene un grado de libertad de varianza de 12.

Se obtuvo una dosis media para *piel-centro* (con protector) de $3,94 \pm 0,17$ mSv, con una varianza de 0,0278 presentando una diferencia significativa con la dosis *arriba-centro* (sin protector), con una dosis media de $7,60 \pm 0,42$ mSv y una varianza de 0,1774, mostrando una reducción del $48 \pm 3,11\%$, con una varianza de 2,98.

Se obtuvo una dosis media para *piel-costado* (con protector) de $3,31 \pm 0,19$ mSv, con una varianza de 0,0372 presentando una diferencia significativa con la dosis *arriba-costado* (sin protector), con una dosis media de $3,85 \pm 0,14$ mSv y una varianza de 0,0200, mostrando una reducción del $14,1 \pm 3,10\%$, con una varianza de 3,11.

TABLA DE DATOS (Dosis en mSv)

Posición	piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	% reduccion centro	% reduccion costado
	3,95	7,04	3,39	3,82	43,9	11,3
	3,64	6,72	2,95	3,62	45,8	18,5
	4,19	7,97	3,35	3,96	47,4	15,4
	3,93	7,15	3,54	3,88	45,0	8,8
	4,15	7,3	3,05	3,75	43,2	18,7
	4,04	7,84	3,29	3,74	48,5	12,0
	4,05	7,85	3,46	4,06	48,4	14,8
	3,84	7,51	3,55	3,93	48,9	9,7
	3,92	7,9	3,16	3,72	50,4	15,1
	3,94	7,66	3,52	4,08	48,6	13,7
	3,79	7,94	3,17	3,84	52,3	17,4
	4,11	7,83	3,38	3,94	47,5	14,2
	3,71	8,07	3,18	3,7	54,0	14,1
average	3,94	7,60	3,31	3,85	48,0	14,1
stddev	0,17	0,42	0,19	0,14	3,11	3,10
varianza si2	0,0278	0,1774	0,0372	0,0200	2,98	3,11

6. DISCUSIÓN

Se realizó el cálculo de reducción de dosis utilizando la fórmula $1 - (\text{dosis con protector} / \text{dosis sin protector}) \times 100$. Para la realización de la investigación en los diversos pacientes, se utilizaron los mismos parámetros del tomógrafo (kv, mAs, pitch) para evitar errores en el cálculo y medición de las dosis (lectura de cristales de TLD).

Se respetó el mismo protocolo en el estudio de tomografía de cada paciente. Se utilizó el mismo equipo Harshaw 4500 para la medición de los cristales TLD 100HP(0.07) utilizado para la medición de dosis en piel.

Se tomó en cuenta la misma cantidad de días luego de cada exposición de los cristales de TLD, para que la radiación recibida por cada cristal de TLD se asentara y de esta manera la lectura fuera efectiva, acercándose lo más posible a la medida real.

Se realizó la investigación en niños con similar peso y altura para evitar errores en el cálculo y la medición de las dosis.

Se realizó la investigación en el Servicio de TC del principal Centro Hospitalario de niños (CHPR), no habiendo un precedente de este tipo de investigación a nivel nacional.

7. CONCLUSIONES

1. Los protectores de Bismuto reducen efectivamente la dosis recibida en la región mamaria (tórax).
2. Hay diferencias significativas entre la reducción a nivel frontal con la reducción a nivel lateral.
3. Reducen aproximadamente un 48% la dosis recibida por el paciente a nivel frontal.
4. Reducen aproximadamente un 14,1% la dosis recibida por el paciente a nivel lateral.
5. Llama la atención la poca efectividad de los protectores de Bismuto a nivel lateral.
6. No todos los centros hospitalarios poseen protectores de Bismuto.
7. La utilización de los protectores de Bismuto en niños es útil y de suma importancia para su radioprotección.

BIBLIOGRAFIA

1. Latarjet, A., Ruiz Liard, A. Anatomía Humana. Cuarta edición. Madrid, España. Editorial Panamericana, 1997.
2. Peña Bernal, JJ et al. Protección radiológica en el paciente de radiodiagnóstico. En: Programa del Curso Superior de Protección Radiológica del Paciente Hospitalario. La Habana, 1998: 137-147.
3. Ministerio de Industria, Energía y Minería; Dirección Nacional de Tecnología Nuclear. Norma UY 100. Junio 2002.
4. Ministerio de Industria, Energía y Minería; Dirección Nacional de Tecnología Nuclear. Norma UY 103. Junio 2002.
5. Bushong, S. Manual de radiología para técnicos. La imagen radiográfica. 6ª Ed. Madrid: Harcourt, 1998. 586p.
6. Ballinger, P. Merrill-Atlas de Posiciones Radiológicas y Procedimientos Radiológicos. Octava edición. Madrid, España. HartcourtBrace, 2009.
7. Moore D, Estadística aplicada básica. Segunda edición, 2006.

ANEXO

RADIOPROTECCIÓN

Según: Ministerio de Industria, Energía y Minería; Dirección Nacional de Tecnología Nuclear En Norma UY 100 y Norma UY 103 Junio 2002.

Principios y Requisitos Generales

“Art. 8.- Justificación de las Prácticas. No se autorizará ninguna práctica o fuente de radiación ionizante que no produzca un beneficio neto positivo a los individuos expuestos o a la sociedad.

El proceso de justificación de prácticas ya existentes deberá procesarse tomando en consideración los nuevos conocimientos que se vayan operando en la materia. Dichas prácticas pueden dejar de ser justificadas si se demuestra que existe un beneficio neto positivo con la terminación de la práctica de que se trate.

Art. 9.- Optimización de la protección radiológica. La concepción, planificación, uso o aplicación subsiguiente de las fuentes y prácticas deberá realizarse de forma que asegure que las exposiciones se mantengan tan bajas como sea posible.-

Art. 10.- Excepto para prácticas justificadas que involucren exposiciones médicas, las siguientes prácticas no serán autorizadas:

- A) Las que impliquen un uso injustificado de las fuentes radiactivas en productos tales como juguetes, joyería o adornos personales; y*
- B) Cualquier otra práctica especificada por la Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección*

Art. 79.- Para los estudiantes con edades entre 16 a 18 años quienes requieren de uso de fuentes en el curso de sus estudios, la exposición ocupacional debe estar controlada de tal manera que los límites siguientes no sean excedidos:

- A) Una dosis efectiva de 6 mSv en un año.*
- B) Una dosis equivalente para el cristalino de 50 mSv en un año.*
- C) Una dosis equivalente a las extremidades o piel de 150 mSv en un año.*

Art. 80.- Las dosis promedio estimadas para los grupos críticos relevantes de personas del público que son atribuibles a prácticas con fuentes de radiación no deben exceder los límites siguientes:

- A) Una dosis efectiva de 1 mSv en un año.*
- B) En circunstancias especiales, una dosis efectiva de hasta 5 mSv en un solo año, siempre que la dosis promedio en 5 años consecutivos no exceda de 1 mSv.*
- C) Una dosis equivalente para el cristalino de 15 mSv en un año.*
- D) Una dosis equivalente para la piel de 50 mSv en un año.*

Art. 81.- Los límites de dosis indicados en esta parte no deberán aplicarse a las personas que presten asistencia a pacientes, es decir, a las personas expuestas a sabiendas mientras ayudan voluntariamente (no como parte de su empleo u ocupación) a cuidar, aliviar o procurar bienestar, incluidas las visitas, a pacientes sometidos a diagnóstico o tratamiento médicos. Ahora bien, la exposición de estas personas auxiliaadoras de pacientes deberá restringirse de modo que sea improbable que su exposición exceda de 5 mSv durante el período abarcado por el examen diagnóstico o el tratamiento de cada paciente. La dosis a los niños que visiten a pacientes que hayan ingerido sustancias radiactivas debe restringirse a menos de 1 mSv por tratamiento.

Justificación de las exposiciones médicas

Art. 109.- Las exposiciones médicas deberán estar justificadas ponderando los beneficios diagnósticos o terapéuticos que producen contra el detrimento que puedan causar, tomando en cuenta los beneficios y riesgos de las técnicas alternativas disponibles que no involucren exposición médica.

Art. 110.- Todo examen radiológico con fines ocupacionales, legales o de seguro médico, que se efectúe con independencia de indicaciones clínicas, se estima injustificado, salvo que se espere que proporcione información útil sobre la salud del individuo examinado, o que quienes lo pidan justifiquen, en consulta con profesionales competentes ese tipo específico de examen.

Art. 111.- No se consideran justificados los estudios masivos a la población, salvo que las ventajas esperadas para los individuos examinados o para la población sean tales que compensen el detrimento radiológico y los costos económicos y sociales. En la justificación se deberá tomar en cuenta el potencial del procedimiento del examen masivo para detectar la enfermedad, la probabilidad de tratamiento efectivo para los casos detectados y las ventajas que tenga para la población el control de la enfermedad.

Art. 112.- La exposición de seres humanos con propósitos de investigación médica no se considera justificada, salvo que esté de acuerdo a las previsiones de la Declaración de Helsinki y, para su aplicación se sigan los lineamientos preparados por la Organización Mundial de la Salud y el Consejo de Organizaciones Internacionales de Ciencias Médicas.

De las restricciones de dosis

Art. 122.- Previa consulta preceptiva con el Ministerio de Salud Pública, la Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección especificará, caso por caso, las restricciones de dosis de las personas expuestas con propósitos de investigación, si tales exposiciones no producen un beneficio directo al individuo expuesto.

Art. 123.- En casos de auxilio voluntario y/o apoyo a los pacientes que estén bajo tratamiento diagnóstico o terapéutico y a los visitantes de pacientes a los que se les haya aplicado cantidades terapéuticas de radionucleidos o que tengan implantes de braquiterapia, el titular de la autorización deberá restringir las dosis a niveles que no excedan los indicados en este reglamento...”⁵

⁵ Ministerio de Industria, Energía y Minería; Dirección Nacional de Tecnología Nuclear. Norma UY 100. Junio 2002.

Ministerio de Industria, Energía y Minería; Dirección Nacional de Tecnología Nuclear. Norma UY 103. Junio 2002.

Bismuto.

a) Generalidades.

Ya era conocido en la antigüedad, pero hasta mediados del siglo XVIII se confundía con el Plomo, Estaño y Zinc. Ocupa el lugar 73 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre representa el $8,5 \times 10^{-7}$ % del peso de la corteza y es tan escaso como la Plata. Los principales depósitos están en Sudamérica, pero en Estados Unidos se obtiene principalmente como subproducto del refinado de los minerales de Cobre y Plomo.

Existen varios nitratos, especialmente el nitrato de Bismuto, $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$, o *trinitrato de Bismuto*, y su *pentahidrato*, $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, que se descompone en nitrato de bismuto. Éste también se conoce como *oxinitrato de Bismuto*, nitrato de *Bismutito*, blanco perla y blanco de España, y se emplea en medicina y en cosmética.

El Bismuto se expande al solidificarse, esta extraña propiedad lo convierte en un metal idóneo para fundiciones. Algunas de sus aleaciones tienen puntos de fusión inusualmente bajos. Es una de las sustancias más fuertemente diamagnéticas (dificultad para magnetizarse). Es un mal conductor del calor y la electricidad, y puede incrementarse su resistencia eléctrica en un campo magnético, propiedad que lo hace útil en instrumentos para medir la fuerza de estos campos. Es opaco a los rayos X y puede emplearse en fluoroscopia.

Entre los elementos no radiactivos, el Bismuto tiene el número atómico y la masa atómica (208,98) más altos. Tiene un punto de fusión de 271 °C, un punto de ebullición de 1.560 °C y una densidad de 9,8 g/cm³.

b) Características.

Cristal de Bismuto:

Cuando es sólido flota sobre su estado líquido, por tener menor densidad en el estado sólido. Esta característica es compartida con el agua, el galio, el ácido acético, el antimonio y el silicio.

En casi todos los compuestos el Bismuto está en forma trivalente; no obstante, en ocasiones puede ser pentavalente o monovalente. El *bismutato de sodio* y el *pentafluoruro de Bismuto* son quizá los compuestos más importantes de Bi(V). El primero es un agente oxidante poderoso y el último un *agente fluorante* útil para compuestos orgánicos.

CARACTERISTICAS DEL BISMUTO.	
Rojo, blanco brillante	
Información general	
Nombre, símbolo, número	Bismuto, Bi, 83
Masa atómica	208,98038 u
Propiedades atómicas	
Radio medio	160 pm
Electronegatividad	2,02 (Pauling)
Radio atómico	143 pm (Radio de Bohr)
Radio covalente	146 pm
Estado(s) de oxidación	3,5
1.ª Energía de ionización	703 kJ/mol
2.ª Energía de ionización	1610 kJ/mol
3.ª Energía de ionización	2466 kJ/mol
4.ª Energía de ionización	4370 kJ/mol
5.ª Energía de ionización	5400 kJ/mol
6.ª Energía de ionización	8520 kJ/mol
Propiedades físicas	
Estado ordinario	Sólido
Densidad	9780 kg/m ³
Punto de fusión	544,4 K (271 °C)
Punto de ebullición	1.837 K (1.564 °C)

TABLA 1 : DATOS EN CRUDO

NOMBRE	EDAD(años)	PESO(kg)	ALTURA(m)	LOCALIZADOR(cm)	KV	MAS	PITCH	CRISTALES TLD					
Paciente 1	8	28	1.33	17	110	30	1.5	Número	1510	1549	1673	1604	1590
								Localización	piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
								Dosis(mSv)	4.00	7.09	3.44	3.87	0.05
Paciente 2	7	22	1.15	15	110	30	1.5		1675	1604	1549	1697	1510
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									3.69	6.77	3.00	3.67	0.07
Paciente 3	8	30	1.35	18	110	30	1.5		1636	1557	1548	1510	1549
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									4.23	8.01	3.39	4.00	0.04
Paciente 4	4	20	1.08	10.8	110	30	1.5		1549	1604	1510	1673	1590
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									3.98	7.20	3.59	3.93	0.07
Paciente 5	7	23.6	1.23	16	110	30	1.5		1557	1646	1636	1581	1549
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									4.20	7.34	3.10	3.80	0.04
Paciente 6	9	29.2	1.29	17	110	30	1.5		1549	1581	1527	1604	1673
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									4.10	7.90	3.35	3.80	0.06
Paciente 7	5	22.2	1.16	12	110	30	1.5		1636	1557	1548	1510	1549
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									4.09	7.89	3.50	4.10	0.07
Paciente 8	8	27.3	1.27	17	110	30	1.5		1637	1557	1636	1604	1549
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									3.89	7.56	3.60	3.98	0.06
Paciente 9	5	22.6	1.20	16	110	30	1.5		1549	1673	1697	1581	1527
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									4.00	7.98	3.23	3.80	0.07
Paciente 10	7	24	1.26	16	110	30	1.5		1604	1673	1549	1581	1697
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									3.98	7.70	3.56	4.12	0.05
Paciente 11	8	28.7	1.28	17	110	30	1.5		1637	1557	1636	1604	1549
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									3.85	8.00	3.23	3.90	0.09
Paciente 12	4	20	1.10	12	110	30	1.5		1549	1557	1636	1604	1527
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									4.18	7.90	3.45	4.00	0.06
Paciente 13	9	29	1.31	18	110	30	1.5		1637	1557	1636	1604	1697
									piel centro	arriba centro	piel costado	arriba costado	testigo
									3.76	8.12	3.23	3.78	0.05

GLOSARIO

DOSIS Y CONCEPTOS GENERALES

Dosis Absorbida: Cantidad dosimétrica fundamental (D), definida como:

Donde d

\bar{E} es la energía promedio

elemento de masa dm . La unidad de la dosis absorbida es el joule por kilogramo ($J \cdot kg^{-1}$), cuyo nombre es el gray (Gy).

Dosis Colectiva: Expresión para el total de la dosis a una población, definida como el producto del número de individuos expuestos a una fuente y su dosis promedio. La dosis colectiva se expresa en *Sievert* - *persona* (Sv \cdot persona).

Dosis Efectiva: La cantidad E , está definida como la suma de las dosis equivalentes al tejido multiplicadas por el factor de ponderación apropiado para cada tejido:

Donde H_T es la dosis equivalente al tejido T y w_T es el factor de ponderación. La unidad de la dosis efectiva es el joule por kilogramo ($J \cdot kg^{-1}$), cuyo nombre es el sievert (Sv).

Dosis Efectiva Comprometida: La cantidad E (

$\int_0^T \dot{E} dt$) se define como:

Donde H_T (

$\int_0^T \dot{H}_T dt$) es la dosis equivalente comprometida

integración. Cuando no se especifica, debe tomarse un valor de 50 años para adultos y de 70 años para ingestiones a infantes.

Dosis Equivalente: La cantidad H_T , R , se define como:

Donde D_T , R es la dosis absorbida impartida por la radiación R al tejido T y w_R es el factor de ponderación para la radiación R . La unidad de la dosis equivalente es el joule por kilogramo ($J \cdot kg^{-1}$), cuyo nombre es el sievert (Sv).

Dosis Equivalente Comprometida: La cantidad H_T (

$\int_0^T \dot{H}_T dt$) se define como: don

tiempo al que ocurre la incorporación, es el tiempo que ha pasado desde la

incorporación de la sustancia radiactiva y H_T (

\dot{H}_T) es la tasa de dosis

tiempo al órgano o tejido T . Cuando no se especifica, deberá tomarse un valor de 50 años para adultos y de 70 años para ingestiones a infantes.

Dosimetría: Métodos de medición directa, indirecta o por medio de cálculos de magnitudes radiológicas y demás técnicas asociadas.

Efecto Determinista: Efecto debido a la radiación ionizante que, generalmente, presenta una dosis umbral, por arriba de la cual la severidad del efecto es proporcional a la dosis.

Efecto Estocástico: Efecto de la radiación que ocurre, generalmente, sin una dosis umbral. Para estos efectos la probabilidad es proporcional a la dosis y su severidad es independiente de la misma.

Equipo Generador de Radiación Ionizante: Dispositivo que durante su funcionamiento produce radiación ionizante.

Evaluación de Seguridad: Revisión de los aspectos de diseño y operación de una fuente, los cuales son relevantes para la protección de las personas o para la seguridad de la fuente. Esta revisión incluye el análisis de las previsiones de protección y seguridad radiológica establecidas en el diseño y operación de la fuente y el análisis de riesgos asociados con las condiciones normales y las situaciones de accidente.

Exposición: El acto o condición de estar sujeto a irradiación. La exposición puede ser externa (irradiación por fuentes localizadas fuera del cuerpo humano) o exposición interna (irradiación por fuentes ubicadas dentro del cuerpo humano). La exposición puede ser clasificada como exposición normal o exposición potencial; exposición ocupacional, médica o pública; exposición en situaciones de intervención, de emergencia o prolongada en el tiempo. El término exposición usado como magnitud dosimétrica, expresa el valor absoluto de la carga total de los iones de un signo, cuando todos los electrones liberados por fotones en un volumen elemental de aire son completamente frenados. La unidad utilizada es el roentgen (R) hoy sustituida por la magnitud *Kerma en aire* (Ka) y su correspondiente unidad el Gray (Gy).

Exposición Prolongada (Crónica): Exposición prolongada en el tiempo, presente en todo momento y debida a múltiples causas como: accidentes nucleares, pruebas nucleares realizadas en el pasado, diferentes prácticas, origen terrestre, cósmico, radón, etc.

Exposición Médica: Exposición a la que incurren: los pacientes como parte de su propio tratamiento médico; las personas, que no son personal ocupacionalmente expuesto que auxilian en forma voluntaria a los pacientes; y los voluntarios de los programas de investigación biomédica que estén expuestos a exposición.

Exposición Natural: Exposición debida a fuentes naturales de radiación.

Exposición Normal: La exposición que se espera recibir bajo condiciones de operación normal de una instalación o una fuente, incluyendo los pequeños percances que pueden ser mantenidos bajo control.

Exposición Ocupacional: Todas las exposiciones a la que están expuestos el personal ocupacionalmente expuesto en su ambiente de trabajo, con la excepción de lo establecido en el presente Reglamento.

Exposición Potencial: Exposición no programada que puede resultar de un accidente o debida a un evento o secuencia de eventos de naturaleza probabilística, incluyendo fallas de equipos y errores de operación.

Exposición Pública: Exposición a los miembros del público, excluyendo cualquier exposición ocupacional o médica y la debida al fondo natural propio de cada lugar. Incluye la exposición debida a prácticas y fuentes autorizadas y la debida a situaciones de intervención.

Límite de Dosis: Valor de una dosis establecido por la Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección, que no debe ser superado en el período de un año.

Radiación Ionizante: Toda radiación electromagnética o corpuscular capaz de producir pares de iones directa o indirectamente, debido a su interacción con la materia.

Restricción de Dosis: Fracción del límite dosis impartida, la cual sirve como una cota en la optimización de la protección y seguridad.

