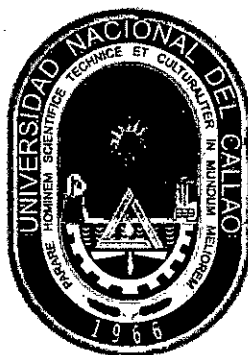


**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA**



**“CÁLCULO DEL TIEMPO PARA ALTA DE  
PACIENTES EN TRATAMIENTOS CON  $^{131}\text{I}$ ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
LICENCIADO EN FÍSICA**

**Bach. GUSTAVO EDUARDO HERNÁNDEZ FLORES**

**Callao, Mayo, 2016  
PERÚ**

## **Hoja de Referencia del Jurado y aprobación**

**“Cálculo del Tiempo para Alta de Pacientes en Tratamientos con <sup>131</sup>I”**

**GUSTAVO EDUARDO HERNÁNDEZ FLORES**

Tesis presentada a consideración del cuerpo docente de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao, como parte de los requisitos para obtener el título profesional de Licenciado en Física. Acta N° ,  
Libro N°

Aprobada por:

---

**Dr. Jorge A. Espichán Carrillo**  
Presidente

---

**Mg. Jorge Luis Godier Amburgo**  
Vocal

---

**Lic. Gustavo Alberto Altamiza Chávez**  
Secretario

---

**Lic. Juvenal Tordocillo Puchuc**  
Suplente

---

**Dr. Walter Flores Vega**  
Asesor

---

Bach. Gustavo E. Hernández Flores

Código: 020122-E

---

Dr. Walter Flores Vega

Código: 02797

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres quienes me apoyaron en todo momento.

A mi hija Zhoé y mi esposa que son mi motor y motivo para seguir superándome.

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo brindar mi más sincero agradecimiento y reconocimiento a las personas e instituciones, por su ayuda y colaboración en el desarrollo y culminación de este trabajo de Tesis.

- Al Mg. Alexander Cárdenas Solano por su constante apoyo y asesoría en el presente Trabajo de Tesis.
- Al Dr. Walter Flores Vega por su apoyo y asesoría desde el inicio de este Trabajo de Tesis.
- Al Hospital Guillermo Almenara Irigoyen, Servicio de Medicina Nuclear, por el apoyo brindado en el trabajo experimental de esta Tesis.
- A la Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática por haber impartido la formación y conocimientos para esta Tesis.
- Las personas que directa e indirectamente colaboraron con el desarrollo de este Trabajo.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.1 Identificación del Problema.....	14
1.2 Formulación del Problema.....	16
1.3 Objetivos de la Investigación.....	16
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 Justificación.....	17
1.5 Importancia.....	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Antecedentes del Estudio.....	19
2.2 Bases Teóricas.....	23
2.2.1 Glándula Tiroides.....	23
a) Anatomía y Fisiología básica.....	23
2.2.2 Cáncer Diferenciado de Tiroides.....	24
a) Carcinoma Papilar de Tiroides.....	25
b) Carcinoma Folicular de Tiroides.....	27
2.2.3 Tratamiento para el Cáncer Diferenciado de Tiroides.....	27
a) Esquemas de dosis ablativas con <sup>131</sup> I.....	28
b) Metas del Tratamiento con <sup>131</sup> I.....	29

2.2.4	Monitor de Radiación-Cóntador Geiger Müller.....	30
2.2.5	Protección Radiológica.....	31
a)	Cantidades Físicas Básicas.....	32
b)	Magnitudes de Protección Radiológica.....	35
c)	Magnitudes Operativas.....	37
d)	Categorías de Exposición.....	38
e)	Principios de Protección Radiológica.....	39
f)	Límites de Dosis.....	40
2.2.6	Protección Radiológica de Pacientes tratados con Radionúclidos.....	41
a)	Alta Radiológica de pacientes tratados con radionúclidos.....	42
CAPÍTULO III. VARIABLES E HIPÓTESIS.....		46
3.1	Variables de la investigación.....	46
3.1.1	Variable dependiente.....	46
3.1.2	Variable independiente.....	46
3.2	Operacionalización de variables.....	46
3.3	Hipótesis.....	47
3.3.1	Hipótesis específica.....	47
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA.....		48
4.1	Tipo de investigación.....	48
4.2	Diseño de la investigación.....	48
4.3	Población y muestra.....	49
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	51

4.5	Procedimientos de recolección de datos.....	53
4.5.1	Medición de la tasa de dosis.....	53
4.6	Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	54
4.6.1	Tipo de análisis.....	54
CAPÍTULO V. RESULTADOS.....		55
5.1	Hospitalización de pacientes para terapia con $^{131}\text{I}$ .....	55
5.1.1	Datos del paciente.....	55
5.1.2	Distribución de los pacientes según su edad.....	57
5.1.3	Distribución de los pacientes según su actividad administrada.....	58
5.1.4	Distribución de los pacientes según su tipo de cáncer de tiroides.....	60
5.2	Evaluación de la tasa de dosis.....	62
5.2.1	Decaimiento de la tasa de dosis medida a diferentes distancias en función del tiempo.....	62
5.2.2	Decaimiento de la tasa de dosis medida a diferentes tiempos en función de la distancia.....	63
5.3	Tasa de dosis medida a diferentes entornos.....	65
5.3.1	Tasa de dosis para el entorno anterior y posterior.....	67
5.3.2	Tasa de dosis para el entorno derecha e izquierda.....	69
5.4	Tasa de dosis medida como función del tiempo de post-administración de la actividad ablativa con $^{131}\text{I}$ .....	71
5.5	Calculo del tiempo para el alta del paciente en tratamiento con $^{131}\text{I}$ .....	73



CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN.....	76
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES.....	79
CAPÍTULO VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	87
Anexo A. ....	87
Anexo B. ....	88
Anexo C.....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

1. TABLA N° 2.1. Factores de ponderación recomendados por tipo de radiación (ICRP 07).....	36
2. TABLA N° 2.2. Factores de ponderación recomendados por tipo de tejidos del cuerpo (ICRP 07).....	37
3. TABLA N° 2.3. Límites de dosis recomendados en situaciones de exposición (ICRP 07).....	41
4. TABLA N° 2.4. Límites de alta para <sup>131</sup> I de acuerdo al País/Organización.....	43
5. TABLA N° 5.1. Información de pacientes. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	56
6. TABLA N° 5.2. Distribución de pacientes según edad, que se hospitalización para un tratamiento ablativo con <sup>131</sup> I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	57
7. TABLA N° 5.3. Media, mínimo y máximo de los valores de actividad administrada para un tratamiento ablativo con <sup>131</sup> I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	59
8. TABLA N° 5.4. Frecuencia y porcentaje valido de los valores de actividad administrada para un tratamiento ablativo con <sup>131</sup> I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	59
9. TABLA N° 5.5. Distribución de tipos de Cáncer de Tiroides, que se realizaron un tratamiento ablativo con <sup>131</sup> I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	61

10. TABLA N° 5.6. Tasa de dosis ( $\mu\text{Sv/h}$ ) medida a 1.0 m del paciente (n=20) como función del tiempo de post-administración de actividad ablativa con $^{131}\text{I}$ . Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	71
11. TABLA N° 5.7. Número de pacientes quienes podrían haber sido dados de alta de aislamiento basándose en la tasa de dosis. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	75
12. TABLA N° B.1. Energía y abundancia de las principales emisiones de $^{131}\text{I}$ .....	89

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

1. GRÁFICO N° 5.1. Distribución de pacientes según edad, que se hospitalización para un tratamiento ablativo con $^{131}\text{I}$ . Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	58
2. GRÁFICO N° 5.2. Media, mínimo y máximo de los valores de actividad administrada para un tratamiento ablativo con $^{131}\text{I}$ . Medicina Nuclear–HNGAI. Julio – octubre 2015.....	60
3. GRÁFICO N° 5.3. Distribución de tipos de Cáncer de Tiroides, que se realizaron un tratamiento ablativo con $^{131}\text{I}$ . Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	61
4. GRÁFICO N° 5.4. Tasa de dosis medida a diferentes distancias en función del tiempo para el caso del paciente 1. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	63
5. GRÁFICO N° 5.5. Tasa de dosis medida a diferentes tiempos en función de la distancia para el caso del paciente 12. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio–octubre 2015.....	64

6. GRÁFICO N° 5.6. Tasa de dosis medida a diferentes tiempos en función de la distancia para el caso del paciente 13. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	65
7. GRÁFICO N° 5.7. Tasa de dosis medida a diferentes entornos para el caso del paciente 7. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	66
8. GRÁFICO N° 5.8. Tasa de dosis medida a diferentes entornos para el caso del paciente 8. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	67
9. GRÁFICO N° 5.9. Tasa de dosis para el entorno anterior y posterior para el caso del paciente 5. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	68
10. GRÁFICO N° 5.10. Tasa de dosis para el entorno anterior y posterior para el caso del paciente 8. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	69
11. GRÁFICO N° 5.11. Tasa de dosis para el entorno derecha e izquierda para el caso del paciente 12. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	70
12. GRÁFICO N° 5.12. Tasa de dosis para el entorno derecha e izquierda para el caso del paciente 17. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	70
13. GRÁFICO N° 5.13. Tasa de dosis (uSv/h) medida a 1.0 m del paciente (n=20) como función del tiempo de post-administración de actividad ablativa con <sup>131</sup> I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 2.1. Estructura de la Glándula Tiroides.....	24
FIGURA N° 2.2. a) Esquema del mecanismo de funcionamiento de un monitor de radiación b) Regiones de operación de un detector gaseoso.....	31
FIGURA N° 4.1. Equipo digital portátil. Modelo 2241-3, número de serie 299198 y marca Ludlum Measurements .....	52
FIGURA N° 4.2. Sonda Geiger Müller tipo Pancake modelo 44-9, número de serie PR327270 y marca Ludlum Measurements.....	53
FIGURA N° 4.3. Medición de la tasa de dosis a 1 m de distancia del paciente a la altura de la tiroides.....	54
FIGURA N° B.1. Esquema del decaimiento del <sup>131</sup> I.....	88

## RESUMEN

# CÁLCULO DEL TIEMPO PARA ALTA DE PACIENTES EN TRATAMIENTOS CON $^{131}\text{I}$

Gustavo Eduardo Hernández Flores

Mayo-2016

Asesor: Dr. Walter Flores Vega

Título obtenido: Licenciado en Física

---

De todos los procedimientos terapéuticos usados en medicina nuclear, los tratamientos con yodo radiactivo constituyen la mayor fuente de exposición para las personas y miembros del público que se encuentran cercanos al paciente. Una consideración en esta terapia es el criterio de aislamiento del paciente (hospitalización), en el Hospital Guillermo Almenara Irigoyen, con actividades de  $^{131}\text{I}$  mayores a  $1110 \text{ MBq}$  ( $30 \text{ mCi}$ ). Este estudio se realizó para evaluar la tasa de dosis en función del tiempo tras la administración del  $^{131}\text{I}$ , lo que será útil para calcular el tiempo de permanencia del paciente en el hospital en un aislamiento total sin sobrepasar el límite de dosis permitido según las recomendaciones básicas internacionales (UE-Unión Europea, ICRP-Comisión Internacional de Protección Radiológica, IAEA-Agencia Internacional de Energía Atómica, HERCA - Asociación Europea de Autoridades Competentes en Protección Radiológica), se midió la tasa de dosis a 20 pacientes del Servicio de Medicina Nuclear, quienes reunían el criterio de someterse a una tiroidectomía total; encontrando la tasa de dosis en intervalos de tiempo de 0, 1, 24, 48 y 120 horas inmediatamente después de la

administración del  $^{131}\text{I}$ , y a distancias de 20, 100 y 200 cm. Los resultados demostraron que el tiempo estimado, para la tasa de dosis externa sea menor a los  $30 \mu\text{Sv/h}$  están en el rango de 0 a 52.22 h ( $37.79 \pm 1.62$  h). La primera tasa de dosis externa para los 20 pacientes, quienes han sido medidos inmediatamente después de la administración del  $^{131}\text{I}$ , fueron menores que  $30 \mu\text{Sv/h}$ . En el criterio de  $30 \mu\text{Sv/h}$ , 1 de 20 pacientes (5%) es dado de alta con 24 h de aislamiento, 17 de 20 pacientes (85%) es dado de alta con 48 h de aislamiento y 2 de 20 pacientes (10%) es dado de alta con más de 48 h de aislamiento. Los resultados muestran que el tiempo estimado para dar el alta del paciente con el criterio que la tasa de dosis externa sea menor que  $30 \mu\text{Sv/h}$  es de  $37.79 \pm 1.62$  h y se encuentran dentro del rango de 0 a 52.22 h. Esta condición es importante en el control de la radiación con fines de protección radiológica del personal ocupacionalmente expuesto.

**Palabras Clave:** tasa de dosis, alta de pacientes con cáncer de tiroides, administración de la actividad,  $^{131}\text{I}$ .



## ABSTRACT

### CALCULATION OF TIME HIGH OF PATIENTS WITH $^{131}\text{I}$ TREATMENTS

Gustavo Eduardo Hernández Flores

May-2016

Adviser: Dr. Walter Flores Vega

Obtained degree: Licentiate in Physics

---

Of all the therapeutic procedures used in nuclear medicine, radioactive iodine treatments constitute the major source of exposure for the people around the patient and members of the public. One consideration in this therapy is the standard of patient isolation (hospitalization), in the Guillermo Almenara Irigoyen Hospital with  $^{131}\text{I}$  activities greater than  $1110\text{ MBq}$  ( $30\text{ mCi}$ ). This study was performed to evaluate the dose rate versus time after administration of  $^{131}\text{I}$ , which will be useful to calculate the time a patient stays in the hospital in total isolation without exceeding the allowed dose according to international basic recommendations (UE-European Union, ICRP-International Commission on Radiological Protection, IAEA-Agency International Atomic energy HERCA-Heads of European Radiological Protection of Competent Authorities). The dose rate was measured in 20 patients of Nuclear Medicine, who met the criteria to undergo a total thyroidectomy; dose rate were measured at time intervals of 0, 1, 24, 48 and 120 hours immediately after administration of  $^{131}\text{I}$ , and at distances of 20, 100 and 200 cm. The results showed that the estimated time for the external dose rate is less than  $30\text{ uSv/h}$  are in the range of 0 to  $52.22\text{ h}$  ( $37.79 \pm 1.62\text{ h}$ ). The first external dose rate for 20 patients,

who have been measured immediately after administration of  $^{131}\text{I}$ , were lower than  $30 \mu\text{Sv/h}$ . In the criterion of  $30 \mu\text{Sv/h}$ , 1 of 20 patients (5%) could be discharged with 24 h of isolation, 17 of 20 patients (85%) could be discharged with 48 h of isolation and 2 of 20 patients (10%) could be discharged with more than 48 hours of isolation. The results showed that the estimated time for the patient's discharge is  $37.79 \pm 1.62 \text{ h}$  for the external dose rate of less than  $30 \mu\text{Sv/h}$  in the range of 0 to  $52.22 \text{ h}$ . This condition is important in radiation control for radiation protection of occupationally exposed.

**Keywords:** dose rate, discharge of patients with thyroid cancer, management activity,

$^{131}\text{I}$ .

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Identificación del Problema

Los procedimientos médicos que utilizan radionucleídos han aumentado en todo el mundo, que representan una importante fuente de exposición de la radiación a la población. Un ejemplo de este procedimiento es la administración de yodo radiactivo ( $^{131}\text{I}$ ) para tratar pacientes con trastornos en tiroides, tales como cáncer de tiroides e hipertiroidismo (Maxon HR, 1990), el  $^{131}\text{I}$  se administra a pacientes con el objetivo de destruir el tejido tiroideo en el caso de cáncer de tiroides (ablación o metástasis) después de la tiroidectomía total, y la eliminación del hipertiroidismo llevando a los pacientes a un estado eutiroidismo o hipotiroidismo. La eficiencia de dicho tratamiento esta generalmente relacionada con la dosis de radiación absorbida por el tejido de la tiroides y tumores (Hänscheid H, 2006). Después de la administración terapéutica, el  $^{131}\text{I}$  es distribuida por todo el cuerpo del paciente a través de la circulación sanguínea, siendo parcialmente retenida por el cuerpo del paciente y se excreta principalmente por los riñones. Las actividades de  $^{131}\text{I}$  terapéuticas aplicadas para tratar el cáncer de tiroides comúnmente van desde 2.96 a 7.4 GBq, con actividades más grandes se emplea en enfermedades metastásicas. Debido al campo de radiación ionizante relativamente alta que sale del cuerpo del paciente después de la administración de la terapia, se requieren regulaciones para que estos pacientes permanezcan hospitalizados hasta que la actividad presente en el cuerpo del paciente sea menor a 30 mCi, de acuerdo a la norma IR.002.2012 (Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN), 2012).

La Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN), que tiene las funciones de regulación y control del uso seguro de las fuentes de radiaciones ionizantes a nivel nacional, afirma en el inciso 7.2.2 que:

“Los pacientes radiactivos que hayan sido tratados con material radiactivo en cantidad mayor a 1100 MBq serán dados de alta cuando la actividad presente en el cuerpo haya descendido a menos de dicha cantidad anteriormente mencionada y se asegure que la dosis en miembros del público no excedan de 1 mSv por año” (Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN), 2012).

La normativa vigente en el Perú tiene la necesidad de internar pacientes cuando la actividad  $^{131}\text{I}$  administrada es mayor de 1100 MBq (~30 mCi). En algunos países como Sri Lanka, la tasa de dosis del paciente medido a una distancia fija de 100 cm se ha utilizado como criterio para liberar a los pacientes de los hospitales (Zanzonico PB., et al.). La evaluación de esta exposición a la radiación o la tasa de dosis permiten la estimación de yodo radioactivo dentro del cuerpo de un paciente como una función de la administración de la terapia post-tiempo. Esto ayuda a la persona con licencia para calcular la dosis de radiación, que afectará a las personas del público y a los familiares del paciente, por medio de  $^{131}\text{I}$  denominado como tiempo medio eficaz o también tiempo efectivo ( $T_{\text{eff}}$ ) en el interior de todo el cuerpo de un paciente.

El objetivo del presente estudio es evaluar la tasa de dosis en función del tiempo después de la administración de  $^{131}\text{I}$  en el tratamiento del cáncer de tiroides para estimar la constante de desintegración ( $\lambda$ ) y establecer un tiempo prudente para la hospitalización de los pacientes en salas aisladas del Hospital Nacional Guillermo Almenara.

## 1.2 Formulación del Problema

¿Es posible cuantificar la tasa de dosis según la distancia en pacientes tratados con actividades ablativas de  $^{131}\text{I}$ ?

¿Estimar la constante de decaimiento ( $\lambda$ ) para el cálculo del tiempo del alta del paciente en el Hospital Guillermo Almenara Irigoyen?

## 1.3 Objetivo de la Investigación

### 1.3.1 Objetivo General

Determinar un tiempo prudente para la hospitalización de los pacientes con  $^{131}\text{I}$  en salas aisladas del Hospital Nacional Guillermo Almenara.

### 1.3.2 Objetivos Especificos

- Cuantificar según la distancia la tasa de dosis efectiva del paciente cuando se ha administrado  $^{131}\text{I}$ .
- Cuantificar la tasa de dosis haciendo comparaciones entre los entornos anterior (delante), posterior (detrás), lateral derecho y lateral izquierdo respecto al paciente.
- Evaluar la tasa de dosis comparativamente entre las distancias a contacto (0.20 m), 1 m y 2 m.
- Cuantificar la tasa de dosis en función del tiempo después de la administración del  $^{131}\text{I}$  en el tratamiento de cáncer de tiroides.
- Estimar el valor de la constante de decaimiento ( $\lambda$ ) de la relación entre la tasa de dosis y el tiempo.
- Determinar el valor máximo, mínimo y promedio de la actividad neta administrada.

- Obtener el valor máximo, mínimo y promedio de la tasa de exposición en contacto, a un metro, a dos metros, perfil derecho y perfil izquierdo respecto al paciente.
- Evaluar la tasa de dosis haciendo comparaciones entre los entornos anterior (delante) y posterior (detrás).
- Evaluar la tasa de dosis haciendo comparaciones entre los entornos derecha e izquierda.

#### 1.4 Justificación

Los daños a la salud por acumulación de radiación son graves, y a largo plazo las células sufren cambios en su estructura, que pueden derivar en una neoplasia; por tal motivo este trabajo aportará conocimientos sobre las radiaciones ionizantes, saber cómo actuar y protegerse frente a estas, haciendo que el tiempo de permanencia en el hospital sea lo más óptimo posible.

En el Perú no se sigue una normativa debido a que no hay estudios que permitan estandarizar un protocolo que indique la cantidad de días que un paciente debe quedar aislado debido a un tratamiento ablativo con  $^{131}\text{I}$ , y con respecto al Hospital Almenara en el Área de Medicina Nuclear tampoco se tiene estudios cuantificables que corroboren por qué se hospitalizan por el periodo de 2 días (48 horas) por tanto esta investigación permitirá cuantificar para que finalmente se estandarice en todos los Centros hospitalarios que tengan medicina nuclear el tiempo mínimo necesario que el paciente permanezca en el cuarto de hospitalización por tratamientos ablativos con  $^{131}\text{I}$ .

## 1.5 Importancia

Este trabajo es importante porque se desea cuantificar la cantidad de días en que el paciente va a permanecer en un aislamiento total y si son suficientes para que la tasa de dosis a la cual se encuentra en el momento del alta radiológica este dentro de los límites permisibles, de tal forma, que la radiación emitida por el paciente hacia el público no supere los valores recomendados por normas internacionales (Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN), 2012), (Basic Safety Standars Series N° RS-G-1.5, 2002).

- Tasa de dosis menor a 30  $\mu\text{Sv/h}$
- Dosis menor a 1 mSv por año al publico

La importancia de esta investigación radica desde el punto de vista radiológico para prevenir al público y familiares que se encuentran cercanos al paciente y por otro lado optimizar el ambiente disponible en el Hospital Guillermo Almenara Irigoyen. Para cumplir los criterios cuantificables se toma en cuenta la dosis límite para dar el alta radiológica tiene que ser menor a 1 mSv por año para el público (Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN), 2012).

Debido a que en algunos protocolos internacionales toman como dosis límite valores menores a 1100 MBq (Basic Safety Standars Series N° RS-G-1.5, 2002) o tasas de dosis menores a 500 MBq o  $< 30 \mu\text{Sv/h}$  (caso de Japón) a 1 m de distancia.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del Estudio

El tratamiento del cáncer de tiroides comprende generalmente tiroidectomía total y la administración oral de yodo radioactivo ( $^{131}\text{I}$ ). Una consideración en esta terapia es el riesgo de exposición a la radiación, que han llevado a la Autoridad Reguladora de Sri Lanka para establecer criterios en la liberación de los pacientes de los hospitales cuando el procedimiento de terapia consiste en actividades de  $^{131}\text{I}$  mayores de 1.85 GBq (50 mCi). Este estudio se llevó a cabo para evaluar la tasa de dosis en función del tiempo tras la administración de  $^{131}\text{I}$  actividades y estimar la vida media de yodo radioactivo efectiva ( $T_{\text{eff}}$ ) en el interior del cuerpo del paciente, lo que sería útil para la liberación de los pacientes de los hospitales como también guías para las recomendaciones de protección radiológica. Las tasas de dosis cuerpo entero externo a 1.0 m de 60 pacientes se midieron inmediatamente después de la administración de  $^{131}\text{I}$  y en intervalos de 24 horas hasta 5 días. Estas tasas de dosis fueron utilizadas para estimar la  $T_{\text{eff}}$ . Los resultados demostraron un patrón de aclaramiento yodo radioactivo bi-exponencial hasta 5 días con valores de  $T_{\text{eff}}$  de 15.9 y 25.3 horas en la primera y segunda fase, respectivamente. Además, la mayoría de los pacientes podría ser liberado del hospital después de 72 horas la administración post-terapia, ya que llegan al límite de tasa de dosis permisible recomendado por la autoridad reguladora de Sri Lanka en ese momento (Hewamanna et al., 2014)

Un criterio basado en el límite de dosis fue propuesto para autorizar el alta hospitalaria de pacientes con carcinoma de tiroides tratados con  $^{131}\text{I}$ . La evaluación de las dosis



acumuladas para determinar la vida media efectiva, la dosis acumulada esperada a 1 m, y el tiempo de hospitalización fue realizada para asegurar que el límite de dosis fue satisfecho para cada paciente. Se analizaron las situaciones que afectan a diferentes límites de dosis y factores de ocupación. Este estudio se refería únicamente a la exposición externa; el problema de la contaminación interna no se consideró. Se estudiaron catorce pacientes tratados después de la operación con  $^{131}\text{I}$ . El rango de la actividad fue 1110-8175 MBq. Dosímetros electrónicos y dosímetros termoluminiscentes tipo chips que fueron colocados sobre el músculo pectoral izquierdo. Se midió la dosis durante una media de aproximadamente 2.5 d, las dosis acumuladas se representaron gráficamente como una función de tiempo y luego arreglados utilizando un modelo exponencial para obtener los parámetros de la dosis total acumulada y la vida media efectiva. Las dosis para el público y los parientes a 1 m se calcularon con aproximación de fuente puntual y varios factores de ocupación. El ajuste de los parámetros de la función de las dosis acumuladas en las primeras 36 h predijo el comportamiento de la dosis total acumulada dentro de un 5% de error en los parámetros. Los valores estimados de la dosis acumulada de 1 m del paciente eran generalmente  $<5$  mSv, incluso para un factor de ocupación del 100%. Por consideraciones de dosis más restrictivas, los tiempos de hospitalización se calcularon de acuerdo a diferentes factores de ocupación, como se sugiere en la guía de la Comisión Europea. El arreglo de los datos medidos, se obtuvieron valores de vida media efectiva para cada paciente. Para aplicar el criterio basado en límite de dosis, hay que calcular los parámetros paciente específico (se realiza para cada paciente), y se puede hacer uso de la dosis acumulada. El conocimiento de los parámetros paciente específico asegura que el paciente no se exponga a cualquier individuo a niveles mayores que el límite de dosis. Los tiempos de hospitalización calculados fueron

inferiores a las recomendadas, especialmente para los países con límites de dosis más restrictivas. El tipo de mediciones realizadas en este estudio revela dosis más realistas para el tratamiento de carcinoma de tiroides con  $^{131}\text{I}$  (Carlos et al., 2002).

La Comisión Reguladora Nuclear ha modificado recientemente su reglamento relativo a los pacientes que han recibido cantidades terapéuticas de la radiactividad. El reglamento modificado permite la liberación del paciente en base a un límite de **dosis equivalente efectiva total (TEDE)** de 5 mSv (500 mrem) en lugar de la actividad administrada o retenido [1110 MBq (30 mCi)] o la tasa de dosis [ $0.05 \text{ mSv h}^{-1}$  ( $5 \text{ mrem h}^{-1}$ ) a 1 m]. En el algoritmo general, la combinación de la cinética de pacientes específicos y la medida de tasa de dosis, se ha desarrollado para determinar sistemáticamente la duración real de las precauciones de radiación después del alta, así como el momento del alta post-tratamiento. Este algoritmo se basa en los **máximos permisibles eficaces dosis equivalentes (MPEDE)** de las respectivas cohortes expuestas, 5 mSv (500 mrem) a los miembros adultos de la familia que no están embarazadas y 1 mSv (100 mrem) a las mujeres embarazadas, los niños y los miembros de la público en general. El alta basada en el criterio del TEDE debería ser menos restrictivas que la anterior basada en la actividad o criterios de liberación basados en la tasa de dosis. Sin embargo, la radiación posterior al alta puede tomar precauciones más intrusivas y más largas en duración que aquellos a los que han acostumbrado la mayoría de los profesionales. Hasta ahora, sin embargo, la duración (normalmente 1-2 d) de las precauciones aconsejadas posteriores a la liberación no había sido derivada rigurosamente de MPEDE y eran por lo general inapropiadamente corto. Aun así, los criterios de la alta basada en la dosis deben ser más

costo-efectiva que la hospitalización de los pacientes comúnmente impuestas por criterios del alta basados en la tasa de dosis y basados en actividad (Zanzonico PB., et al., 2000)

En Japón, una nueva guía para la liberación de los pacientes administrados con  $^{131}\text{I}$  fue emitida por el Ministerio de Bienestar Social en junio de 1998: La tasa de dosis es de menos de  $30 \mu\text{Sv/h}$  a 1 m o la actividad en el cuerpo es menos de 500 MBq. Este estudio fue diseñado para establecer el período de aislamiento adecuado suficiente para satisfacer a estos límites. Se seleccionaron un total de 28 pacientes con la historia de la tiroidectomía total y la metástasis para este estudio. En estos pacientes, 28 pacientes fueron tratados con la administración oral de 3.7 GBq de  $\text{Na}^{131}\text{I}$  (72 veces), y uno de 28 pacientes una vez que se trató con 5.55 GBq de  $\text{Na}^{131}\text{I}$ . Dos de ellos también se recibieron un total de 4 cursos de una terapia de dosis fraccionada de 3.7 GBq de  $\text{Na}^{131}\text{I}$  (740 MBq una vez a la semana durante 5 semanas consecutivas = un curso). Las mediciones de la dosis de exposición externa ( $\mu\text{Sv} / \text{h}$ ) a 1 m y la radiactividad excretor urinario (MBq) se llevaron a cabo en diversos momentos. Había una buena correlación de la dosis de exposición externa entre estar de pie ( $x$  microSv /h) y sentado ( $y$  microSv /h) posturas ( $y = 0.99x + 0.406$ ,  $r = 0.99$ ,  $p < 0.0001$ ,  $n = 169$ ). La diferencia en la dosis de exposición externa antes y después de la micción ( $x$  microSv / h) tuvo una correlación significativa con la radiactividad excretor urinario ( $y$  MBq);  $y = 16.6x + 24.8$ ,  $r = 0.96$ ,  $p = < 0.001$ ,  $n = 41$ . Además, no había una correlación significativa entre el valor predicho de la radiactividad residual en el cuerpo ( $y$  MBq) y la dosis de exposición externa ( $x$  microSv / h);  $y = 20.8x + 31.5$ ,  $r = 0.98$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 77$ . En los pacientes tratados con 3,7 GBq de  $\text{Na}^{131}\text{I}$ , los valores medios y SD de la dosis de exposición externa (microSv / h) cambia de la siguiente manera: Después de 6 horas,  $168 \pm 40$ ; 24 h,  $52 \pm 23$ ; 48 h,  $20 \pm 15$ ; 72 h,

10 +/- 9; y 96 h, 8 +/- 9. Los porcentajes de los pacientes cumplieron con la nueva directriz eran los siguientes; 21.7% a las 24 horas, el 81.2% a 48 h, y 100% después de 72 h. Por lo tanto el aislamiento de 3 días es suficiente para los pacientes administrados 3.7 GBq de Na<sup>131</sup>I (Tsuchimochi S. et al, 2001)

## **2.2 Bases Teóricas**

Es necesario conocer las características de la tiroides, los tipos de tratamiento en que se usa el material radiactivo, los tipos de cáncer que se presenta en la tiroides y el equipo que se usa para medir la radiación ionizante proveniente del yodo radiactivo, para poder comprender la metodología y ejecución de este trabajo.

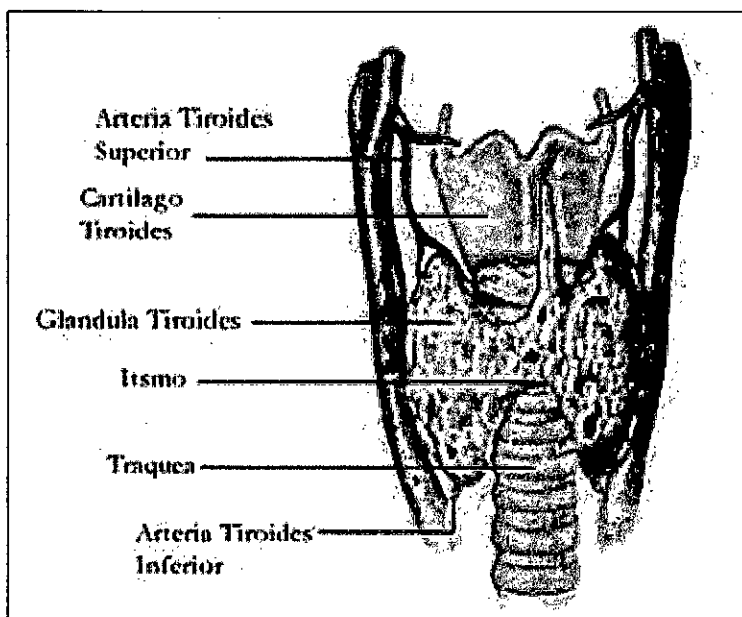
### **2.2.1 Glándula Tiroides**

#### **a) Anatomía y Fisiología básica**

La glándula tiroides, cuyo nombre se origina del griego “thyreos” que significa escudo (Wartofsky y Van Nostrand, 2007), es una de las estructuras endócrinas de mayor tamaño del organismo y su función principal es secretar la adecuada cantidad de hormonas tiroideas, que conservan el metabolismo de los tejidos de manera óptima y de calcitonina, que regula los valores circulantes de calcio (Barret, et al., 2010). La forma de la glándula tiroides es similar a la de una mariposa y se encuentra localizada en la parte anterior de la tráquea al nivel del segundo y tercer anillo, extendiéndose usualmente hasta el sexto anillo (Mazzafèrri et al., 2006); está altamente vascularizada, teniendo uno de los mayores índices de flujo sanguíneo por gramo de tejido (Barret, et al., 2010). Está constituida por dos lóbulos conectados mediante un puente hístico, de 12 a 15 mm de alto en la línea

media, llamado *Istmo del tiroides*, como se muestra en la figura N° 1. Cada lóbulo tiene de 3 a 4 cm de largo, 2 cm de ancho y sólo unos pocos milímetros de espesor (Wartofsky y Van Nostrand, 2007). En adultos la glándula tiroides tiene un peso promedio de 10 a 20 gramos.

**FIGURA N° 2.1.** *Estructura de la Glándula Tiroides* (Netter, 2001)



### **2.2.2 Cáncer Diferenciado de Tiroides**

El *Cáncer Diferenciado de Tiroides (CDT)* corresponde a la primera subdivisión de los tumores foliculares y como su nombre lo indica describe todos los cánceres bien diferenciados provenientes de las células foliculares. Dentro de esta subdivisión se

encuentran a su vez dos divisiones más: *el carcinoma papilar y el carcinoma folicular* (Granados y Herrera, 2009).

El CDT suele permanecer confinado en la glándula tiroides por largo tiempo, pero a medida que avanza la edad de presentación esto se relaciona con mayor agresividad local y de su capacidad metastásica. La recaída del cáncer diferenciado ocurre con más frecuencia en los 5 primeros años, aunque algunas recaídas ocurren incluso después de 15 años (Granados y Herrera, 2009).

Los resultados terapéuticos, así como los factores determinantes de la progresión de la enfermedad, son difíciles de estudiar debido a su baja incidencia y tasa de mortalidad, pues conlleva a largos periodos de seguimiento.

#### **a) Carcinoma Papilar de Tiroides**

El carcinoma papilar de tiroides (CPT) y sus variantes representan el 80.3% del total de las lesiones malignas tiroideas, mientras que el carcinoma folicular sólo alcanza el 2.4%, (Granados y Herrera, 2009). Este tipo de cáncer tiende a expresarse usualmente en los nodos linfáticos del cuello, siendo comunes las metástasis ganglionares particularmente entre la población joven.

En general las personas con cáncer papilar no expresan metástasis o expresión del cáncer más allá del cuello, pero algunas veces se puede presentar metástasis en pulmón o huesos. Además tiende a presentarse en personas con edades entre 30 y 50 años y se desarrolla en mujeres tres veces más frecuente que en hombres (Rosenthal , 2009).

De acuerdo con el manual de oncología del Instituto Nacional de Cancerología (INCAN) (Granados y Herrera, 2009), el carcinoma papilar se separa en tres grupos en relación a su riesgo, permitiendo contextualizar las necesidades del tratamiento:

**Bajo Riesgo.** Incluye pacientes menores de 45 años, con tumores menores de 2 cm y sin metástasis. Tienen un excelente pronóstico de supervivencia. En estos casos, el objetivo del tratamiento consiste en obtener el control local con mínima morbilidad. La lobectomía suele controlar la enfermedad.

**Riesgo Intermedio.** En esta clasificación, se encuentran las metástasis ganglionares fuera del compartimiento central, con un excelente pronóstico de supervivencia si se someten al tratamiento apropiado. Se necesita una tiroidectomía total, la resección de los tejidos comprometidos y la disección del cuello, si existe enfermedad ganglionar. Es esta categoría, el objetivo es obtener el control lobo-regional y optimizar el efecto del yodo radiactivo para abatir el riesgo de recaída.

**Riesgo Alto.** Vincula los pacientes mayores de 40 años con algún factor pronóstico adverso, como rotura capsular, metástasis a distancia o tamaño de 2 cm; tienen un pronóstico de supervivencia menos favorable. Estos casos también deben tratarse con tiroidectomía total más resección de los tejidos implicados. El objetivo es optimizar el control local y el efecto del yodo radiactivo sobre eventuales metástasis a distancia.

## b) **Carcinoma Folicular de Tiroides**

La frecuencia del carcinoma folicular es mayor en regiones donde la dieta incluye concentraciones bajas de yodo y a diferencia del cáncer papilar, rara vez se asocia con metástasis ganglionares, pero sí con metástasis a distancia.

Por otra parte, ocurre con mayor incidencia en una edad más avanzada que el papilar, generalmente mayor a 50 años.

De manera similar al carcinoma papilar, el carcinoma folicular sólo se puede considerar para su tratamiento en dos grupos:

**Bajo Riesgo.** Si el paciente es menor de 45 años, con mínima invasión, menor de 2 cm y sin metástasis a distancia. El pronóstico de supervivencia es muy bueno.

**Alto Riesgo.** Estos son aquellos pacientes mayores de 45 años o portadores de un tumor con invasión vascular extensa, o con tumores mayores de 2 cm o metástasis a distancia. Estos pacientes tienen un riesgo significativo de muerte por falla a distancia; debiéndose indicar tiroidectomía total y yodo post-operatorio.

### **2.2.3 Tratamiento para el Cáncer Diferenciado de Tiroides**

El tratamiento para el CDT, recomendado por la mayoría de endocrinólogos y cirujanos (IAEA, 2009), consiste en hacer una tiroidectomía total y luego una ablación del remanente tiroideo mediante la irradiación con partículas beta provenientes de  $^{131}\text{I}$  cuyo esquema de decaimiento y propiedades se muestran en el Anexo B. Los estudios con tiroidectomía total (Mazzafèrri E., 1999) han demostrado que la recurrencia y metástasis



a distancia del tumor se reducen significativamente, mejora la supervivencia y se facilita el seguimiento de la enfermedad.

La ablación se realiza entre 4 a 6 semanas y la eficiencia del  $^{131}\text{I}$  disminuye con el aumento de volumen de tejido tiroideo residual. Es importante resaltar, que en algunos departamentos, no se realiza un rastreo post-operatorio para ver la captación de los remanentes tiroideos, dado que algunos estudios revelan que las células tiroideas sufren un proceso de “aturdimiento” (Hilditch, et al., 2002), que ocasiona un decremento en su capacidad de captar  $^{131}\text{I}$ , provocando una disminución en la eficacia del tratamiento ablativo.

#### a) Esquemas de dosis ablativas con $^{131}\text{I}$

De acuerdo con las guías del ATA (Granados y Herrera, 2009), el método más utilizado para la determinar dosis ablativas es las dosis fijas, tomando en cuenta parámetros que se describen a continuación:

**Dosis fija baja.** Diversos autores han propuesto dosis de 30 mCi; como ventajas, se cita menor radiación corporal total y la posibilidad de administrarla de forma ambulatoria.

**Dosis fija alta.** Es el esquema adoptado con mayor frecuencia, pues ha demostrado alta eficiencia para eliminar tejido tiroideo remanente, evitando la necesidad de repetir la administración del yodo radiactivo. Este esquema varía en función de la localización de las lesiones:

- Si se encuentra en el lecho tiroideo, se recomienda de 100 a 150 mCi
- Si se constata afectación de ganglios linfáticos, se recomienda de 150 a 175 mCi.

- Si hay afectación de pulmones, de 175 a 200 mCi.
- Si se observa compromiso óseo, de 200 a 350 mCi.

#### **b) Metas del Tratamiento con $^{131}\text{I}$**

Dependiendo de la estratificación del riesgo de cada paciente, el objetivo de la primera dosis de yodo radiactivo después de la tiroidectomía puede ser (American Thyroid Association (ATA), 2015):

- Ablación remanente: Para facilitar la detección de la recurrencia de la enfermedad y el estado inicial.
- Terapia adyuvante: Para disminuir el riesgo de recurrencia y la mortalidad específica de la enfermedad mediante la destrucción de tejido sospechoso (No probado en enfermedades metastásicas).
- Terapia con yodo radioactivo: Para tratamientos conocidos como una enfermedad persistente.

La experiencia ha mostrado que el  $^{131}\text{I}$  es altamente efectivo en el tratamiento de patologías tiroideas. Para los pacientes, los posibles efectos ocasionados por la dosis que reciben a causa de este radionúclido son compensados con el beneficio que les brinda; caso contrario a lo ocurrido con los familiares cuidadores, quienes reciben dosis a causa de una irradiación indeseada sin beneficio alguno. Por esto, es de suma importancia garantizar que la dosis recibida por el familiar cuidador no rebasa los límites establecidos, evitando los efectos deterministas y limitando la ocurrencia de los estocásticos. En este trabajo, para conocer el tiempo que debe permanecer aislado un paciente a causa de un tratamiento con  $^{131}\text{I}$ , se usó monitor de radiación, cuyos fundamentos teóricos se describen a continuación.

#### 2.2.4 Monitor de Radiación-Contador Geiger Müller

Un contador Geiger es un instrumento que permite medir la radiactividad de un objeto o lugar. Es un detector de partículas y de radiaciones ionizantes.

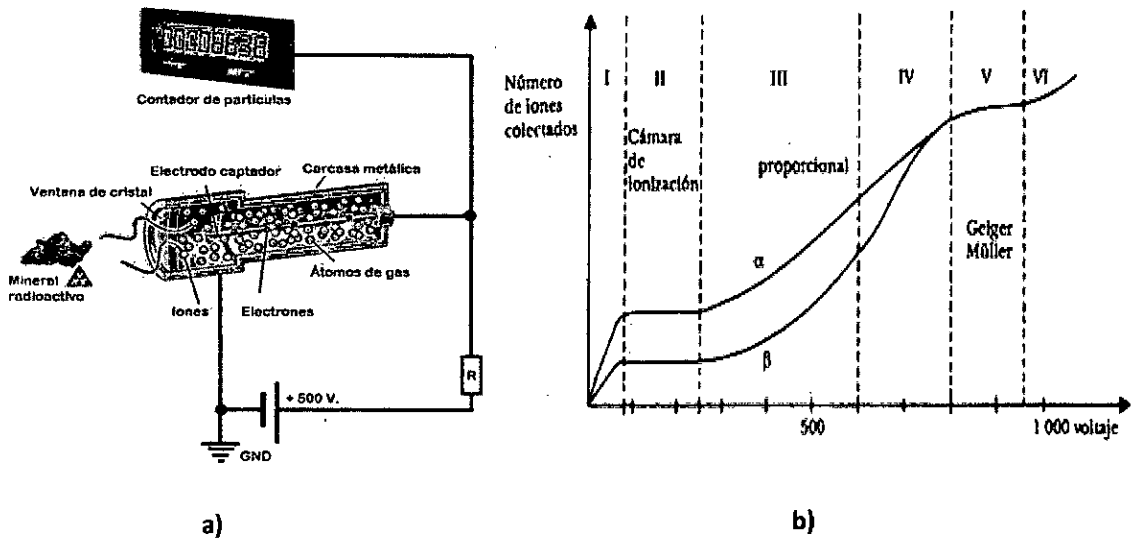
Está formado, normalmente, por un tubo con un fino hilo metálico a lo largo de su centro. El espacio entre ellos está aislado y relleno de un gas, y con el hilo a unos 1000 voltios relativos con el tubo.

Para las partículas alfa, partículas beta de baja energía y rayos X de baja energía, la forma habitual es un tubo cilíndrico (el denominado tubo Geiger-Müller) con una pequeña ventana. Para partículas de alta energía, se utilizan tubos de pared gruesa, en los que la radiación incidente es capaz de arrancar electrones del material del tubo (normalmente acero al cromo), desencadenando de forma indirecta la descarga iónica en el detector.

Cada vez que una partícula de radiación ioniza el gas contenido en el cilindro, el fuerte campo eléctrico creado por los electrodos del tubo acelera los iones y los electrones ganan energía suficiente para ionizar las moléculas de gas adicionales y crear una avalancha de descargas (por el denominado efecto Townsend). Mediante el efecto "multiplicador del gas", teóricamente se produce un impulso de salida medible por cada evento ionizante, lo que permite que el contador Geiger controle el número de partículas que han incidido en el tubo.<sup>3</sup>

En función del tipo de partículas que se desea controlar, el tubo debe ser diseñado de una determinada manera, compensando la distinta intensidad de los efectos físicos de cada tipo de partícula sobre la respuesta del tubo. Para equilibrar el distinto efecto de los rangos de energía medibles sobre el comportamiento del tubo, se suele recubrir con camisas de materiales con capacidad de atenuación de la radiactividad.

**FIGURA N° 2.2.** Esquema del mecanismo de funcionamiento de un monitor de radiación b) Regiones de operación de un detector gaseoso (International Atomic Energy Agency, 2009)



### 2.2.5 Protección Radiológica

La Protección Radiológica tiene como finalidad proteger a los individuos y a sus descendientes de los posibles efectos perjudiciales de las radiaciones ionizantes (Iturbe Hermann, 2008). Para tal fin, existen organizaciones internacionales dedicadas a emitir recomendaciones en materia de protección radiológica, que se han modificado con los años conforme a los resultados de las investigaciones que han proporcionado conocimientos acerca de los efectos de las radiaciones ionizantes en el ser humano.

En esta sección se tomará como fuente principal las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés), emitidas en su publicación N° 103 (ICRP, 2007). La ICRP es uno de los grupos más antiguos (desde 1928) cuyo objetivo principal es proteger la salud humana mediante el control de la exposición a la radiación ionizante, con la finalidad de evitar efectos deterministas, es

decir los efectos que requieren una dosis umbral para su aparición y limitar la presencia de los efectos estocásticos (Rodríguez Laguna, 2008).

#### a) Cantidades Físicas Básicas

**Radiación Directamente Ionizante:** Son partículas cargadas en movimiento que liberan su energía en la materia directamente, a través de múltiples interacciones coulombianas a lo largo de sus trayectorias. Los electrones, positrones, partículas  $\alpha$ , protones y núcleos pesados son este tipo de radiación (Ramírez Garzon, 2012).

**Radiación Indirectamente Ionizante:** Son partículas que carecen de carga (es decir, rayos X, gamma o neutrones) y transfieren su energía a partículas cargadas del medio en que inciden.

**Actividad:** Es el número de transformaciones nucleares que ocurren en una cantidad definida de algún material radiactivo por unidad de tiempo, esto es:

$$A = \frac{dN}{dt}, \quad (1.1)$$

Donde A es la actividad y dN es el valor esperado del número de transformaciones nucleares espontáneas que ocurren en un intervalo dt, está relacionada con el número de núcleos radiactivos N mediante:

$$A = \lambda N \quad (1.2)$$

Donde  $\lambda$  es la constante de desintegración.

Su unidad de la Actividad es el Becquerel (Bq), que es igual a una desintegración por segundo; anteriormente (Real Decreto 1317/1989, de 27 de octubre, por el que se establece el Sistema Legal de Unidades de Medida - BOE núm. 264, de 3 de noviembre

de 1989, con corrección de errores en núm. 21, de 24 de enero de 1990) se utilizaba el Curie; ( $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ ).

**Constante de Desintegración ( $\lambda$ ):** Esta cantidad representa la probabilidad por unidad de tiempo de la ocurrencia de una transformación nuclear para un radionúclido dado. Está relacionada con el periodo de semidesintegración ( $t_{1/2}$ ) de un radionúclido por:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \approx \frac{0.693}{T_{1/2}} \quad (1.3)$$

Se mide en  $s^{-1}$

La dependencia del tiempo de la actividad  $A(t)$ , del número de núcleos radiactivos  $N(t)$  o de la tasa de dosis  $\dot{D}(t)$  se puede expresar por:

$$A(t) = A(0)e^{-\lambda t} \quad (1.4)$$

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t} \quad (1.5)$$

$$\dot{D}(t) = \dot{D}(0)e^{-\lambda t} \quad (1.6)$$

**Tiempo de Vida Media Física ( $T_{1/2p}$ ):** Es la cantidad de tiempo necesario para que la actividad de una muestra de radionúclido se reduzca a la mitad. Equivale al tiempo necesario para que un número dado de núcleos en un estado radiactivo dado se vea reducido a la mitad.

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0.693}{\lambda} \quad (1.7)$$

Su unidad fundamental es el segundo (s), pero se suele expresar en horas, días y años.

**Tiempo de Vida Media Biológica** ( $T_{\frac{1}{2}b}$ ): El intervalo de tiempo necesario para que el cuerpo elimine el 50% de cualquier sustancia por las rutas normales de eliminación: a su vez metabólica y sobre la excreción.

**Tiempo de Vida Media Efectiva** ( $T_{\frac{1}{2}eff}$ ): El intervalo de tiempo requerido para la radiactividad de una cierta cantidad de sustancia radiactiva distribuidos en los tejidos y órganos para disminuir a la mitad de su valor original, debido a la desintegración radiactiva y la eliminación biológica.

$$\frac{1}{T_{\frac{1}{2}eff}} = \frac{1}{T_{\frac{1}{2}p}} + \frac{1}{T_{\frac{1}{2}b}} \quad (1.8)$$

**Exposición:** La exposición es la carga eléctrica que se libera en una unidad de masa de aire por los fotones incidentes y ha sido definido por la Comisión Internacional de Unidades Radiológicas (ICRU, por sus siglas en inglés) [ICRU 93] como:

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (1.9)$$

Donde:  $dQ$  es el valor absoluto de la carga total de los iones de un signo producidos en el aire, cuando todos los electrones liberados por fotones en una masa  $dm$  son completamente detenidos en el aire. La unidad de exposición en el SI es el Coulomb por kilogramo ( $C.kg^{-1}$ ). Actualmente esta magnitud está cayendo en desuso, reemplazándose por Kerma en aire.

**Tasa de Exposición:** Es el cociente,  $dX$  por  $dt$ , donde  $dX$  es el incremento de la exposición en el intervalo de tiempo  $dt$ .

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \quad (1.10)$$

Las unidades de la tasa de exposición son  $C.kg^{-1}.s^{-1}$

**Dosis Absorbida:** Es la energía promedio depositada por radiación ionizante, por unidad de masa:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (1.11)$$

Donde  $D$  es la dosis absorbida y  $dE$  es el valor esperado de la energía impartida en un volumen infinitesimal de masa  $dm$ . Su unidad es el Gray (Gy),  $1Gy = 1 J/kg$ .

**Tasa de Dosis Absorbida:** Es el cociente de  $dD$  por  $dt$ , donde  $dD$  es el incremento de la dosis absorbida en el intervalo de tiempo  $dt$ .

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (1.12)$$

Las unidades son  $Gy.s^{-1}$

## b) Magnitudes de Protección Radiológica

**Dosis Equivalente:** El uso de la dosis absorbida no es totalmente adecuado para fines de protección radiológica, dado que el efecto biológico depende del tipo de radiación incidente. Por este motivo se multiplica la dosis promedio sobre un órgano o tejido ( $D_{R,T}$ ) por un factor de ponderación  $W_R$  que depende del tipo de radiación  $R$ , ver **Tabla 2.1**, llamando a la magnitud remanente *Dosis Equivalente* ( $H_T$ ):

$$H_T = W_R \cdot D_{R,T} \quad (1.13)$$



Cuando el campo de radiación se compone de tipos y energías con diferentes valores de  $W_R$ , la dosis absorbida se debe subdividir en bloques y cada parte se debe multiplicar por su valor de  $W_R$  y todo ello se debe sumar para obtener la dosis equivalente total, es decir: (Sociedad Española de Física Médica, 2004).

$$H_T = \sum W_R \cdot D_{R,T} \quad (1.14)$$

**TABLA N° 2.1. FACTORES DE PONDERACIÓN RECOMENDADOS POR TIPO DE RADIACIÓN [ICRP 07]**

Tipo de radiación, R	Factor de ponderación, $W_R$
Fotones	1
Electrones y muones	1
Protones y piones cargados	2
Partículas alfa, fragmentos de fisión, iones pesados	20
Neutrones	Función continua dependiente de la energía

**Dosis Efectiva:** Dado que cada tejido tiene diferente radio sensibilidad es necesaria una magnitud que permita expresar el posible efecto biológico total producido por las diferentes dosis equivalentes recibidas en los distintos órganos y tejidos del cuerpo. Por tal motivo, la Dosis efectiva (E) se define como la sumatoria de los productos de las dosis equivalente recibidas en cada tejido u órgano ponderadas por el factor correspondiente a dicho tejido u órgano ( $W_T$ ) ver **Tabla 2.2.**

$$E = \sum W_T H_T = \sum W_T \sum W_R D_{T,R} \quad (1.15)$$

**TABLA N° 2.2. FACTORES DE PONDERACIÓN RECOMENDADOS POR TIPO DE TEJIDOS DEL CUERPO** (*International Commission on Radiation Protection, 2007*)

Tejido	$W_T$	$\sum W_T$
Medula ósea, colon, pulmón, estomago, mama, resto de los tejidos	0.12	0.72
Gónadas	0.08	0.08
Vejiga, esófago, hígado, tiroides	0.04	0.16
Superficie del hueso, cerebro, glándulas salivales, piel	0.01	0.04
	Total	1.00

### c) Magnitudes Operativas

Dado que ni la dosis equivalente ni la dosis efectiva pueden cuantificarse por medición directa, se han creado magnitudes operativas que se puedan medir directamente y permitan hacer estimaciones de la dosis efectiva y equivalente.

En esta sección, solo se presentan las magnitudes operativas que tienen relevancia en el desarrollo de este trabajo (ICRP, 2007):

**Dosis equivalente personal:** Para dosimetría externa, la magnitud operativa a considerar es la Dosis equivalente personal  $H_p(d)$ . De acuerdo con el ICRU (por sus siglas en inglés-

Comité Internacional de Unidades Radiológicas) (ICRU, 1993), está definida como el equivalente de Dosis en tejido blando a una profundidad apropiada  $d$ , por debajo de un punto específico sobre el cuerpo humano. Su unidad es el *Sievert*.

Para la estimación de una dosis equivalente personal, suponiendo una exposición uniforme a cuerpo entero, se elige  $d=10$  mm y para la estimación de la dosis en piel, en manos y pies se elige  $d=0.07$  mm.

#### **d) Categorías de exposición**

La ICRP emite sus recomendaciones en relación con la Exposición a radiación ionizante a la cual cada persona es sometida de acuerdo con las actividades que realice. Las situaciones que se puedan presentar se clasifican en tres grupos:

- Situaciones de exposición planificada: Son aquellas que involucran la introducción y operación planeada de fuentes, previamente categorizadas como prácticas (ICRP, 1990).
- Situaciones de exposición existente: Se refiere a las situaciones que ya existen cuando tiene que ser tomada una decisión sobre su control, como las causadas por la radiación de fondo natural o las situaciones de exposición prolongadas después de emergencias.
- Situaciones de exposición de emergencia: Son situaciones inesperadas, que demandan una atención urgente, como las que pueden ocurrir durante la operación de una situación planificada o de un acto malévolo.

Las exposiciones médicas de pacientes también son situaciones de exposición planificada, pero dada sus características especiales son tratadas separadamente.

De acuerdo con esta distribución de situaciones, la ICRP clasifica las exposiciones de la siguiente manera:

**Exposición Ocupacional:** La exposición ocupacional está definida como toda exposición a radiación de los trabajadores ocurrida como resultado de su trabajo. Los trabajadores que por su ocupación puedan quedar expuestos a radiación se denominan Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y deben ser sometidos a vigilancia radiológica, la cual es responsabilidad del nivel gerencial superior de la organización.

**Exposición del público:** Esta categoría comprende todas las exposiciones que no sean ocupacionales ni médicas de pacientes. Se produce como resultado de un conjunto de fuentes de radiación, siendo las fuentes naturales la mayor contribución.

Las exposiciones del embrión o feto en los casos de trabajadoras embarazadas se consideran y están reglamentadas como exposiciones del público.

**Exposición médica de pacientes:** La exposición a la radiación de pacientes ocurre en procedimientos diagnósticos, intervencionistas y terapéuticos. En esta categoría la exposición es intencional y para beneficio directo del paciente. El uso de radiaciones con fines médicos deberá evitarse a menos que sea justificado y optimizado.

#### e) Principios de protección radiológica

Las recomendaciones del ICRP 60 (ICRP, 1990), proponen un sistema de protección radiológica, basado en los siguientes principios:

- Principios de justificación: Cualquier decisión que altere la situación de exposición a la radiación debería ocasionar más beneficio que daño.
- Principios de optimización de la protección: Para una situación determinada, el número de personas expuestas y la magnitud de sus dosis individuales deben ser mantenidas tan bajas como razonablemente pueda lograrse, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales.
- Principios de aplicación de límites de dosis: La dosis total a todo individuo debida a fuentes controladas en situaciones de exposición planificada, sin tener en cuenta la exposición médica a los pacientes, no debería exceder los límites apropiados especificados por la ICRP.

#### **f) Límites de Dosis**

Son sólo aplicables a situaciones de exposición planificada con excepción de las exposiciones médicas de pacientes y continúan siendo los emitidos por el ICRP 60 (International Commission on Radiation Protection, 1990) dado que siguen proporcionando un nivel adecuado de protección.

Dentro de una categoría de exposición, ocupacional o del público, los límites de dosis se aplican a la suma de las exposiciones provocadas por fuentes relacionadas con prácticas que ya están justificadas.

A continuación en la Tabla N° 2.3 se muestran los límites de dosis recomendados para cada categoría de exposición a las que son aplicables.

**TABLA N° 2.3. LÍMITES DE DOSIS RECOMENDADOS EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN (ICRP, 2007)**

Tipo de Límite	Dosis Efectiva
Ocupacional	20 mSv por año promediada en periodos definidos de 5 años
Público	1 mSv en un año

Es importante resaltar que estos límites de dosis no involucran individuos del público general que estén al cuidado y acompañamiento de pacientes que hayan sido dados de alta en un hospital luego de una terapia con radionúclidos, descrito en la siguiente sección 2.2.6.

### **2.2.6 Protección radiológica de pacientes tratados con radionúclidos**

Los radionúclidos son usados en el diagnóstico y tratamientos de varias enfermedades en forma de radiofármacos (combinación de un isótopo radiactivo y una sustancia transportadora) que son dados a los pacientes por inyección, ingestión o inhalación. Estos radiofármacos pueden localizarse en algún tejido del cuerpo hasta que decaigan o puedan eliminarse a través de varias vías. Sin embargo, el uso de radionúclidos puede resultar en la exposición no sólo del paciente, sino también de las personas que lo rodean, siendo necesaria una orientación en materia de protección radiológica para todas las personas involucrada en el tratamiento.

La ICRP en su publicación 94 “Liberación de pacientes después de una terapia con radionúclidos” (International Commission on Radiation Protection, 2004), cubre tanto los procedimientos de terapia como de diagnóstico que involucran radionúclidos, enfocados

principalmente en el  $^{131}\text{I}$ , ya que es considerado como la mayor fuente de exposición para el personal y familiares cuando se proporciona una terapia con radionúclidos. Esta publicación recomienda que los individuos involucrados directamente en el cuidado y compañía de cada paciente deben tener una restricción de dosis máxima de 5 mSv por episodio, excediendo los límites de dosis estipulados para el público general.

Este límite de dosis no debe aplicarse a infantes, niños jóvenes y visitantes casuales, ellos deben ser tratados como público general con una dosis límite recomendada de 1mSv/año.

La ICRP 94 recomienda explícitamente que la orina no debe ser almacenada y que los pacientes deben ser hospitalizados después de la terapia con actividades de radiofármacos. Después de una terapia con radio yodo el amamantamiento está absolutamente contraindicado.

#### **a) Alta radiológica de pacientes tratados con radionúclidos**

El alta radiológica del paciente afecta, como su nombre indica, solamente a cuestiones relativas a la protección radiológica (tasa de dosis en contacto y a 1m, dosis que pueden recibir las personas de su entorno, etc.). La alta médica afecta a cuestiones médicas relacionadas con la patología del paciente (no es objeto de este trabajo).

Los criterios de alta radiológica pueden variar de unos países a otros, a veces entre diferentes regiones de un mismo país, ver **Tabla 2.4**

**TABLA N° 2.4. LÍMITES DE ALTA PARA <sup>131</sup>I DE ACUERDO AL  
PAÍS/ORGANIZACIÓN**

<b>País/Organización</b>	<b>Límite de alta para I-131 (MBq)</b>
BSS (Basic Safety Standard del IAEA)	1100 (como nivel orientativo)
European Thyroid Association	800
Japón	500 o < 30 USv/h a 1 m
Alemania	250 (basado en una tasa de dosis de 3.5 uSv/h a 1 m)
Otros países miembros de la UE	95-800, la mayoría 400-600

Posteriormente a la administración de la dosis terapéutica de yodo radiactivo a los pacientes con CDT, éstos pueden egresarse u hospitalizarse, de acuerdo con las condiciones socio-económicas del paciente y de acuerdo a la Norma vigente en Perú.

**Normativa vigente en Perú.** Los requisitos generales de seguridad radiológica para egresar a pacientes a quienes se ha administrado material radioactivo se establecen en la norma de la Autoridad Reguladora peruana y de la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional IPEN-OTAN "IR.002.2012" (Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN), 2012). Esta norma indica que únicamente se podrá dar el alta a los pacientes que tengan una actividad residual del material radiactivo administrado menor que 1110



MBq (30 mCi). De lo contrario, todos los pacientes con material radiactivo administrado deben permanecer hospitalizados y bajo vigilancia médica.

Además, en esta norma se indica que deben proporcionarse al paciente instrucciones verbales como escritas por parte del médico especialista en medicina nuclear y/o del encargado de seguridad radiológica (Oficial de Protección Radiológica) sobre el tratamiento que se vaya a realizar.

**Recomendaciones Internacionales.** Las regulaciones concernientes al egreso de pacientes, después de la administración de radionúclidos, varían ampliamente alrededor del mundo debido a que se basan en suposiciones que reflejan la situación actual de cada país en consideración del segundo principio de la protección radiológica (optimización). Sin embargo, aunque la ICRP no ha emitido ninguna recomendación acerca de cuál debería ser la modalidad de egreso más adecuada, en su publicación 94 (ICRP, 2004) menciona que la modalidad basada sólo en la actividad retenida no es la más adecuada dado que además de este factor, deben ser tenidos en cuenta factores tanto económicos como sociales y hasta los mismos deseos de cada paciente.

Con un planteamiento similar, en febrero del 2010, la IAEA emitió un documento (International Atomic Energy Agency, 2010) en el que recomienda que la protección radiológica deba basarse en los principios de justificación y optimización aplicados a cada individuo, considerando factores tanto económicos como sociales de forma individual. De esta manera la decisión de hospitalizar o egresar a los pacientes tratados con radionúclidos debe ser determinada individualmente, considerando factores como: su

condición médica, las circunstancias domésticas de los pacientes y su posibilidad de aislamiento, así como la presencia de niños y mujeres embarazadas en la casa.

Por tanto; en este trabajo se calculará el tiempo prudente de internamiento por aislamiento que debe tener el paciente después de la administración del radionúclido, en función de la tasa de dosis teniendo un valor límite de tasa de dosis inferior a  $30 \mu\text{Sv/h}$  medido a 1.0 m de distancia.

## CAPÍTULO III

### VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1 Variables de la investigación

##### 3.1.1 Variable dependiente

Calculo del tiempo para el alta según tasa de dosis.

##### 3.1.2 Variable independiente

Pacientes sometidos al tratamiento con  $^{131}\text{I}$ .

#### 3.2 Operacionalización de variables

TIPO DE VARIAB LE	VARIAB LE	DIMENS IÓN	INDICA DORES
Independi ente	Pacientes sometidos al tratamient o con $^{131}\text{I}$	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo</li><li>• Distanci a</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tasa de dosis</li><li>• Tipo de cáncer</li><li>• Activida d</li></ul>
Dependie nte	Calculo del tiempo para el alta según tasa de dosis.	Cuantifica ción física	

### 3.3 Hipótesis

En el hospital Guillermo almenara Irigoyen la cuantificación de la tasa de dosis según distancia en pacientes tratados con actividades ablativas de  $^{131}\text{I}$  permitirá cuantificar el tiempo para el alta de pacientes optimizando la tasa de dosis a  $30 \mu\text{Sv/h}$  y permitirá encontrar la constante de decaimiento óptimo para su caracterización.

#### 3.3.1 Hipótesis Especifica

- Al cuantificar la tasa de dosis variando la distancia permitirá encontrar los perfiles de decaimiento para diferentes tiempos (0, 1, 24, 48, 120 h)
- Al cuantificar la tasa de dosis variando el tiempo permitirá encontrar los perfiles de decaimiento para diferentes distancias (0.2, 1 y 2 m).
- Al cuantificar la tasa de dosis variando según entorno permitirá encontrar los perfiles de decaimiento para diferentes tiempos (0, 1, 24, 48, 120 h).
- Al cuantificar la tasa de dosis variando el tiempo permitirá encontrar la constante de decaimiento.

# CAPÍTULO IV

## METODOLOGÍA

### 4.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo cuantitativo debido a que se cuantifica la tasa de dosis según la distancia y el tiempo, y el nivel de investigación es de tipo explicativa porque relaciona las variables, y determinar el efecto que causa la cuantificación de la distancia y el tiempo en el alta de pacientes tratados con  $^{131}\text{I}$ .

### 4.2 Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es cuasi-experimental debido a que se utiliza variables en condiciones controladas, y los pacientes son escogidos basados en haberse realizado una tiroidectomía y en edades de 15 a más años.

Para el pre-procedimiento metodológico se debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Antes de la administración de la dosis ablativa y quedar hospitalizado, se le comunico al paciente sobre el estudio que íbamos a realizar. Después de la ingesta de dosis, se procedió a realizar las mediciones y la obtención de los datos.
- ✓ Se realizó las mediciones de radiación de fondo en la zona de medición.
- ✓ Verificamos que el instrumento este correctamente posicionado, que la posición entre el paciente y el instrumento sea de acuerdo a las distancias que proponemos.
- ✓ Llamamos a un solo paciente a la zona de medición; y realizamos las mediciones a la altura de la tiroides a contacto (20 cm); en la parte anterior, posterior, lateral izquierda y lateral derecha a 1 metro de distancia pero siempre en la misma posición y a 2 metro de distancia en la parte frontal mientras la paciente está de pie.

- ✓ Las mediciones a diferentes distancias u posiciones se realizan a los instantes (cero horas) de ser administrado al paciente el material radiactivo, una hora después, 24 h, 48 h y 120 h que correspondería el día en que el paciente se realiza su estudio de rastreo. Todas las mediciones fueron tomadas después de vaciar la vejiga.
- ✓ Todas las medidas se realizan en las mismas condiciones.

### **4.3 Población y Muestra**

#### **Población**

La población del estudio estará constituida por todos los pacientes con cáncer diferenciado de tiroides que han sido sometidos a una tiroidectomía total, administrados con dosis ablativas de  $^{131}\text{I}$ , con actividades de 1110 – 7400 MBq (30 – 200 mCi), en los Servicios de Medicina Nuclear, que estén entre las edades de 15 a 85 años, de ambos sexos.

#### **Muestra**

Son todos los pacientes que queden hospitalizados debido a tratamientos de CDT con dosis ablativas de  $^{131}\text{I}$ , que estén entre las edades de 15 a 85 años, en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen.

#### **Tamaño de Muestra**

En vista que no se sabe con certeza la cantidad de pacientes que pueden ser atendidos dentro de un periodo por tanto siguiendo las referencias especializadas en esta tesis se ha optado por una muestra de 20 pacientes ingresantes al servicio de Medicina Nuclear del

Hospital Nacional Guillermo Almenara para realizarse un tratamiento por CDT con dosis ablativas de  $^{131}\text{I}$  y que cumplan con los criterios de inclusión.

A su vez, debido a que el método usado para medir la tasa de dosis hace que la persona quien realiza la medición se exponga a cantidades altas de radiación, por tal motivo la cantidad de pacientes para este estudio es justificable.

#### Criterios de inclusión

- Pacientes que sean atendidos y hospitalizados en el servicio de medicina nuclear para un tratamiento con dosis ablativas de  $^{131}\text{I}$ , en el Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen.
- Pacientes que han sido sometidos a cirugía total (tiroidectomía total) de tiroides.
- Pacientes que reciban dosis ablativas de  $^{131}\text{I}$  para tratamiento de cáncer diferenciado de tiroides.
- Pacientes que se encuentren entre las edades de 15 a 85 años, de ambos sexos.

#### Criterios de exclusión.

- Aquellos pacientes que presentan enfermedad renal.
- Aquellos pacientes que reciben otro tipo de tratamiento como por ejemplo pacientes dializados de forma simultánea.
- Aquellos pacientes que no han quedado hospitalizados por tratamientos ablativos en el hospital.

#### 4.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

El procedimiento experimental de campo se utilizó equipos instrumentales calibrados previamente que permiten tomar medidas de tasa de dosis.

Luego de las medidas se utilizó una ficha técnica que permite almacenar la información de los pacientes que se realizar un tratamiento ablativo con  $^{131}\text{I}$ .

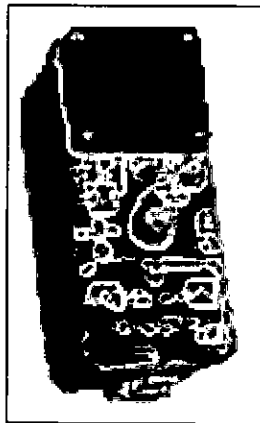
Los instrumentos utilizados para obtener los datos son: equipo digital portátil marca Ludlum (modelo 2241-3 y número de serie 299198 Ludlum Measurements) (Ludlum Measurements, 2011) conectado mediante un cable a una sonda Geiger Müller tipo Pancake marca Ludlum (modelo 44-9 y número de serie PR327270 Ludlum Measurements) (Ludlum Measurements, 2011) que son propiedad del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Guillermo Almenara Irigoyen. La sonda ha sido diseñada para leer partículas alfa, beta y radiación gamma, dar medidas estables y precisas de equivalente de dosis en un punto de radiación gamma, y cubre un rango de  $1\text{ mR/h}$  hasta  $300\text{ mR/h}$  con una precisión de  $\pm 10\%$  de la lectura según el rango de medida. La cámara esta calibrada por una empresa autorizada por el órgano regulador en abril del 2015. Todas las medidas de cada uno de los pacientes se han realizado con la misma cámara y en el mismo sitio. Ningún otro paciente o fuente cercana ha podido afectar a la medida. Ha sido esencial mantener una geometría reproducible para poder después ajustar correctamente las curvas. Las medidas se han realizado siempre con el paciente parado. Se han tomado varios datos. A continuación se ha medido en contacto en un entorno anterior a la altura de la tiroides, hemos supuesto que el familiar del paciente se encuentra a 20 cm. Por último se hacen dos medidas más, una a 1 m a diferentes entornos (anterior, posterior, derecha e izquierda) y otra a 2 m solo en el entorno anterior (posición frontal).



Se realizan las mediciones en diferentes tiempos, la primera medida a cero horas, es decir, a los instantes de administrada la dosis; a 1 h, 24 h y 48 h debido a que es el tiempo en que el yodo se organifica en la tiroides y a 120 h, que corresponde al quinto día que es la fecha de cita para su estudio de rastreo. De esta forma las medidas no son sensibles a pequeñas variaciones en la distancia o a la redistribución del yodo dentro del cuerpo del paciente. Los datos recolectados serán vaciados en el formato de recolección y posteriormente para su análisis en una tabla de contingencia.

También se utiliza el software SPSS versión 22 (SPSS-Statistical Package for the Social Sciences, 2011) para los cálculos estadísticos de los datos.

**FIGURA N° 4.1.** *Equipo digital portátil. Modelo 2241-3, número de serie 299198 y marca Ludlum Measurements (Ludlum Measurements, 2011).*



**FIGURA N° 4.2.** Sonda Geiger Müller tipo Pancake modelo 44-9, número de serie PR327270 y marca Ludlum Measurements (Ludlum Measurements, 2011).



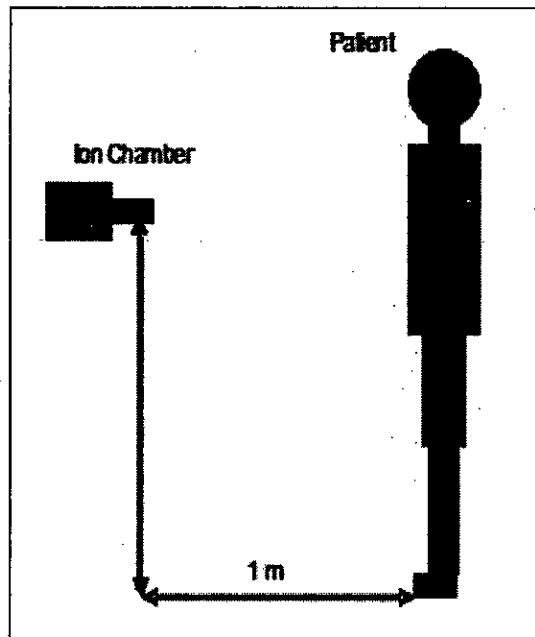
#### **4.5 Metodología de la recolección de datos**

##### **4.5.1 Medición de la tasa de dosis**

- ✓ Antes de la administración de la dosis ablativa y quedar hospitalizado, se le comunicó al paciente sobre el estudio a realizar. Después de la ingesta de dosis, procediendo a realizar las mediciones.
- ✓ Se realizó las mediciones de radiación de fondo en la zona de medición.
- ✓ Se verificó que el instrumento se encuentra en la posición correcta entre el paciente y el instrumento acorde con las distancias propuestas.
- ✓ Un solo paciente ingresa a la zona de medición; y realiza las mediciones a la altura de la tiroides a contacto (20 cm); en la parte anterior, posterior, lateral izquierda y lateral derecha a 1 metro de distancia pero siempre en la misma posición y a 2 metro de distancia en la parte frontal mientras la paciente está de pie.
- ✓ Las mediciones a diferentes distancias u posiciones se realizan a los instantes (cero horas) de ser administrado al paciente el material radiactivo, una hora después, 24 h, 48 h y 120 h que correspondería el día en que el paciente se realiza su estudio de rastreo. Todas las mediciones fueron tomadas después de vaciar la vejiga.

- ✓ Todas las medidas se realizan en las mismas condiciones.

**FIGURA N° 4.3.** *Medición de la tasa de dosis a 1 m de distancia del paciente a la altura de la tiroides (Foro sobre Protección Radiológica en el Medio Sanitario, 2011)*



#### 4.6 Procedimiento estadístico y análisis de datos

##### 4.6.1 Tipo de análisis

De acuerdo a lo descrito los datos reciben un tratamiento estadístico mediante el software SPSS (SPSS-Statistical Package for the Social Sciences, 2011) para cálculos como mediana, moda, máximo, mínimo y desviación estándar. Por lo tanto, consideramos el análisis estadístico-descriptivo.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS

#### 5.1 Hospitalización de pacientes para terapia con $^{131}\text{I}$

En el Hospital Nacional Guillermo Almenara existe una gran demanda de pacientes que necesitan ser el tratamiento con  $^{131}\text{I}$ , después de someterse a una tiroidectomía; la escasez de habitaciones de aislamiento da como resultado que se dé el alta al paciente por aislamiento al día de post-administración de la actividad o en todo caso permanezca más de tres días hospitalizado.

##### 5.1.1 Datos del Paciente

Todos nuestros pacientes reciben un consentimiento informado por escrito y verbal, donde se explican todo lo concerniente al tratamiento con  $^{131}\text{I}$ , como por ejemplo las consecuencias del tratamiento; el día en que el paciente tiene su entrevista con el médico nuclear se dan instrucciones generales sobre su dieta y la conducta que deben tener antes, durante y después del tratamiento, el día en que el paciente recibe su tratamiento el "operador" (Tecnólogo Medico) brinda instrucciones en forma escrita y verbal sobre el comportamiento que deben de tener los pacientes durante y después de su tratamiento, posteriormente el día que se le da el alta del hospital, el Oficial de Protección Radiológica y/o Tecnólogo Medico brinda las recomendaciones de forma genérica. En la Tabla N° 5.1 muestra la información (edad, sexo, tipo de cáncer diferenciado de tiroides y actividad) de los 20 pacientes.

**TABLA N° 5.1. Información de los pacientes. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio –**

*octubre 2015*

N°	EDAD (años)	SEXO	TIPO DE CDT	ACTIVIDAD (mCi)
1	74	FEMENINO	PAPILAR	80
2	55	FEMENINO	PAPILAR	80
3	64	FEMENINO	PAPILAR	100
4	47	FEMENINO	PAPILAR	50
5	55	FEMENINO	PAPILAR	109
6	79	FEMENINO	PAPILAR	120
7	69	FEMENINO	PAPILAR	150
8	71	FEMENINO	PAPILAR	120
9	62	FEMENINO	PAPILAR	120
10	27	FEMENINO	PAPILAR	120
11	49	FEMENINO	PAPILAR	150
12	15	FEMENINO	PAPILAR	120
13	65	FEMENINO	PAPILAR	120
14	77	FEMENINO	PAPILAR	100
15	65	FEMENINO	PAPILAR	100
16	64	FEMENINO	HURTHLE	120
17	21	FEMENINO	HURTHLE	100
18	37	FEMENINO	PAPILAR	80
19	43	FEMENINO	FOLICULAR	100
20	74	FEMENINO	PAPILAR	80

### 5.1.2 Distribución de los pacientes según su edad

En la tabla N° 5.2 se aprecia que el 52.9% del total de pacientes tienen edades entre 64 años a más; y el 17.6% tienen edades 15 y 31 años. De estos resultados se obtiene que la edad promedio de pacientes es de  $55 \pm 4.15$  años. Se observa también que el 50% de los pacientes tiene una edad mayor o igual a 64 años, la edad mínima es de 15 años, la máxima es de 80 años y la edad más común es de 64 años.

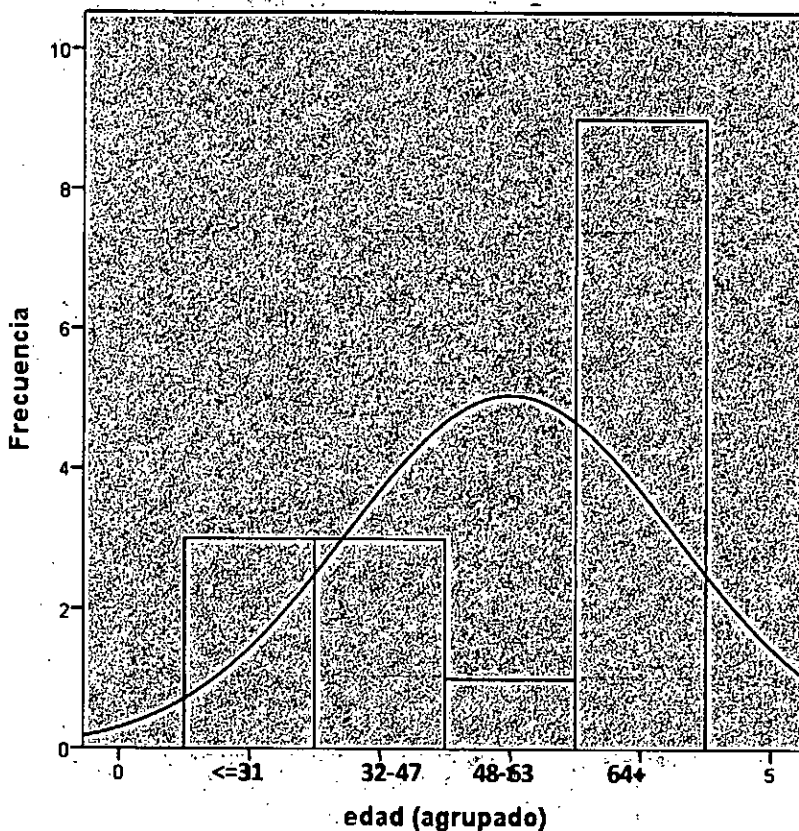
**TABLA N° 5.2.** *Distribución de pacientes según edad, que se hospitalización para un tratamiento ablativo con  $^{131}I$ . Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015*

	Frecuencia	Porcentaje válido (%)	Porcentaje acumulado (%)
<= 31	3	18,8	18,8
32 - 47	3	18,8	37,5
Válido 48 - 63	1	6,3	43,8
64+	9	56,3	100,0
Total	16	100,0	
Perdidos Sistema	4		
Total	20		

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° 5.1 muestra la distribución de pacientes de acuerdo a la edad, se puede observar que la mayoría de pacientes que se han evaluado tienen edades mayores a 64 años.

**GRÁFICO N° 5.1.** *Distribución de pacientes según edad, que se hospitalización para un tratamiento ablativo con  $^{131}\text{I}$ . Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015*



*Fuente: Elaboración propia*

### 5.1.3 Distribución de los pacientes según su actividad administrada

En la tabla N° 5.3 y 5.4, muestra que la actividad administrada promedio de los pacientes que se sometieron a una terapia ablativa con  $^{131}\text{I}$  siendo este de  $107.0\text{ mCi}$ , con una desviación estándar es  $26.178\text{ mCi}$ . Más del 50% de pacientes se le administra una dosis entre  $100 - 120\text{ mCi}$ , la actividad que se repite es de  $100\text{ mCi}$ , así también tenemos que la actividad administrada mínima es de  $50\text{ mCi}$ , y la máxima es de  $150\text{ mCi}$ .

**TABLA N° 5.3.** *Media, mínimo y máximo de los valores de actividad administrada al paciente para un tratamiento ablativo con <sup>131</sup>I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015*

N	20
Media (mCi)	107.00
Moda (mCi)	100
Desviación estándar	26.178
Varianza	685.263
Mínimo (mCi)	50
Máximo (mCi)	150

*Fuente: Elaboración propia*

**TABLA N° 5.4.** *Frecuencia y porcentaje válido de los valores de actividad administrada al paciente para un tratamiento ablativo con <sup>131</sup>I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015*

	Frecuencia	Porcentaje válido
Válido 50	1	5,0
80	4	20,0
100	6	30,0
120	6	30,0
150	3	15,0
Total	20	100,0

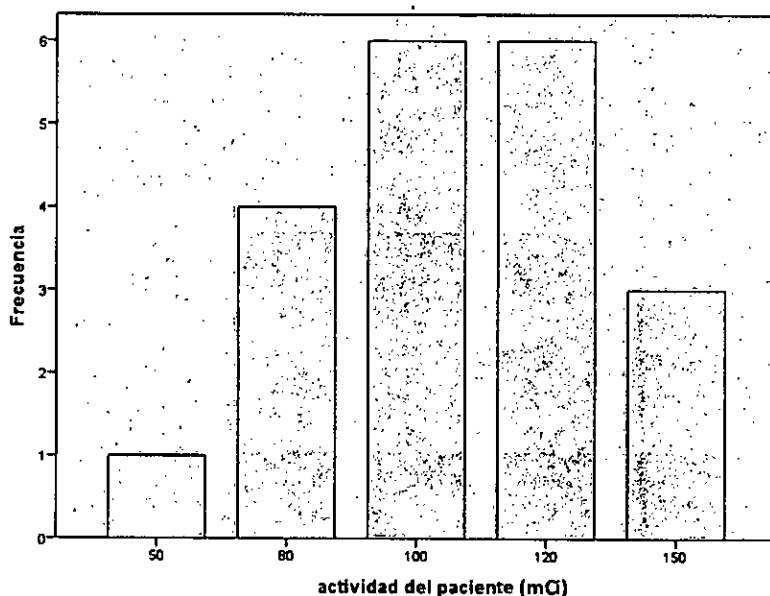
*Fuente: Elaboración propia*



En el gráfico N° 5.2 muestra que el 30% de pacientes se le administro una dosis entre 100 mCi y al 5% de 50 mCi, siendo el porcentaje máximo y mínimo respectivamente.

**GRÁFICO N° 5.2.** *Media, mínimo y máximo de los valores de actividad administrada para un tratamiento ablativo con <sup>131</sup>I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre*

2015



*Fuente: Elaboración propia*

#### 5.1.4 Distribución de los pacientes según su tipo de cáncer de tiroides

La tabla N° 5.5 nos muestra que del total de 20 pacientes, el 75% tuvieron un Cáncer de Tiroides tipo papilar mientras que 10% tuvo un cáncer de tiroides tipo folicular y 15% tuvo otro tipo de cáncer de tiroides (C. Hurthle, recurrencia pulmonar).

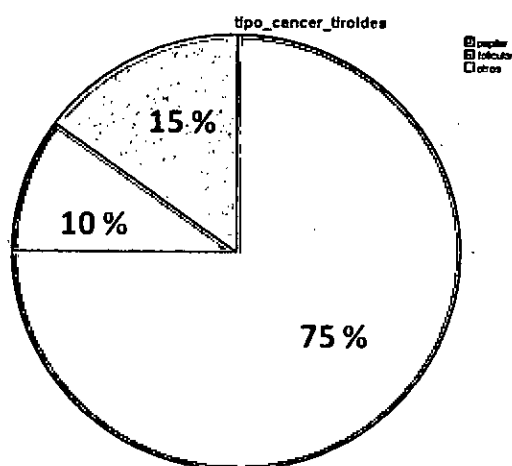
**TABLA N° 5.5.** *Distribución de tipos de Cáncer de Tiroides, que se realizaron un tratamiento ablativo con <sup>131</sup>I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015*

	Frecuencia	Porcentaje (%)
Válido papilar	15	75.0
folicular	2	10.0
otros	3	15.0
Total	20	100.0

*Fuente: Elaboración propia*

También esta distribución de pacientes por tipo de cáncer se puede observar en el Grafico N° 5.3.

**GRÁFICO N° 5.3.** *Distribución de tipos de Cáncer de Tiroides, que se realizaron un tratamiento ablativo con <sup>131</sup>I. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015*



Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Evaluación de Tasa de Dosis

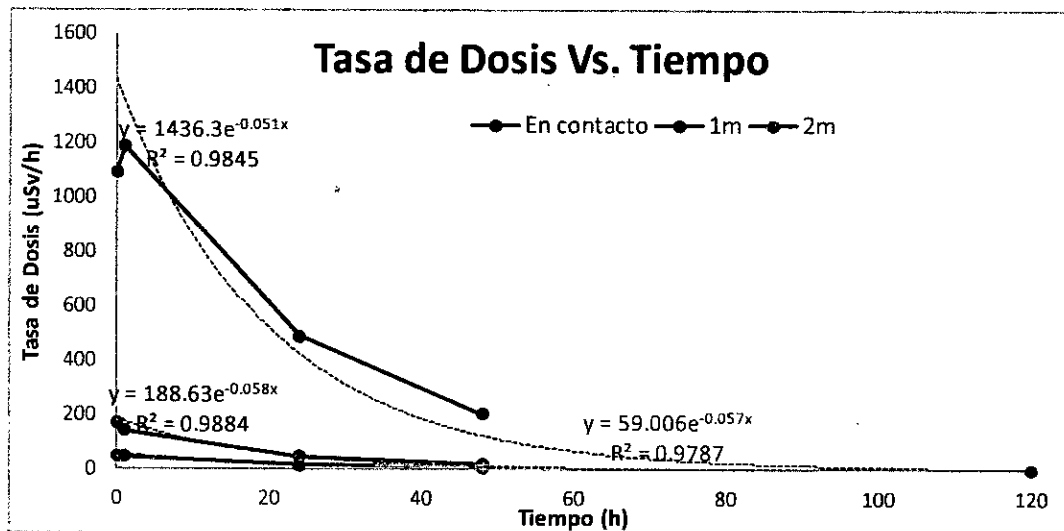
Los pacientes sometidos a tratamientos con dosis ablativas de  $^{131}\text{I}$  debido a cáncer de tiroides, se les administra actividades de  $1110\text{ MBq}$  a  $7400\text{ MBq}$  ( $30\text{ mCi}$  a  $200\text{ mCi}$ ) (International Commission on Radiation Protection, 2004), la normativa del OTAN-IPEN recomienda el alta cuando la actividad sea inferior a  $30\text{ mCi}$  (Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN), 2012) pero en una forma práctica en el Hospital Nacional Guillermo Almenara se realiza el alta de pacientes en función de la tasa de dosis debido a que se encuentra un equipo, Monitor de Radiación, a la mano que permite realizar la medición en forma directa; por tal motivo es necesario evaluar y conocer como estaría variando la tasa de dosis en diferentes situaciones que dependen de la distancia, el tiempo y las condiciones del entorno en que se encuentra.

### 5.2.1 Decaimiento de la Tasa de Dosis medida a diferentes distancias en función del tiempo

Se grafica el decaimiento de la paciente N° 1 debido a que tiene una actividad común entre nuestra muestra y porque tiene un decaimiento más representativo en comparación con las demás pacientes.

El gráfico N° 5.4 muestra la variación de la tasa de dosis en función de la distancia, en el cual se puede observar que a medida que se aumenta la distancia la tasa de dosis disminuye, en proporción al inverso del cuadrado de la distancia. También se observa que la tasa de dosis en contacto ( $20\text{ cm}$ ) tiene una pendiente mayor y su decaimiento es más rápido.

**GRÁFICO N° 5.4.** Tasa de dosis medida a diferentes distancias en función del tiempo para el caso del paciente 1. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015



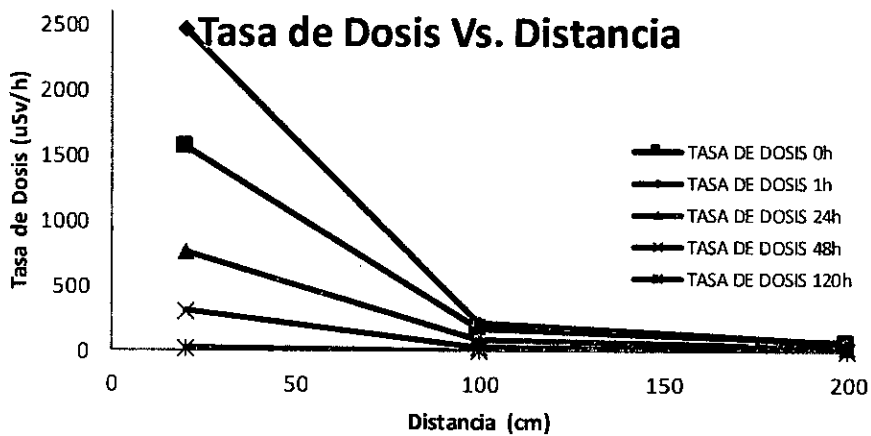
Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2 Decaimiento de Tasa de Dosis medida a diferentes tiempos en función de la distancia

Los gráficos muestran el decaimiento de la paciente N° 12 y N° 13 debido a que tienen una de las actividades más altas entre nuestra muestra. Representan a dos pacientes de edades muy diferentes, la paciente N° 12 tiene una edad casi al valor promedio y la paciente N° 13 tiene la edad mínima de la muestra. El gráfico N° 5.5 muestra la variación de la tasa de dosis en función de la distancia para tiempos diferentes, la primera medida a cero horas, es decir, a los instantes de administrada la dosis; a 1 h y 24 h debido a que es el tiempo en que el yodo es organificado en la tiroides, a 48 h, y a 120 h que sería el quinto día que es la fecha que suelen citarlos para su estudio de rastreo, como se observa del gráfico el mayor valor de tasa de dosis es a una hora después de la administración de

la actividad de  $^{131}\text{I}$  debido que a los instantes de la administración, el  $^{131}\text{I}$  se distribuye a través de la circulación sanguínea por todo el cuerpo; conforme pasa el tiempo el material radiactivo se fija en la tiroides, el tiempo para que el material radiactivo se fije en la tiroides es de 8 h (Wartofsky y Van Nostrand, 2007), luego de ese tiempo se comienza a eliminar a través de la orina lo que queda en el cuerpo.

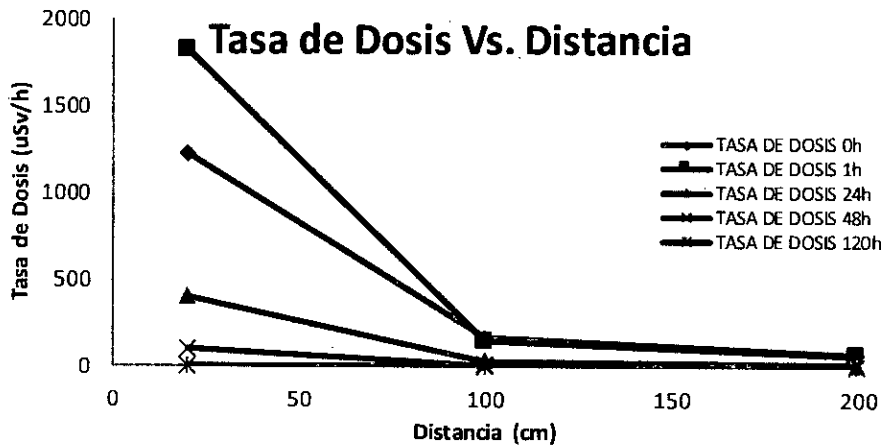
**GRÁFICO N° 5.5.** Tasa de dosis medida a diferentes tiempos en función de la distancia para el caso del paciente 12. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015



Fuente: Elaboración propia

Según el gráfico N° 5.6 también puede observarse un comportamiento similar al gráfico N° 5.5.

**GRÁFICO N° 5.6.** Tasa de dosis medida a diferentes tiempos en función de la distancia para el caso del paciente 13. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015



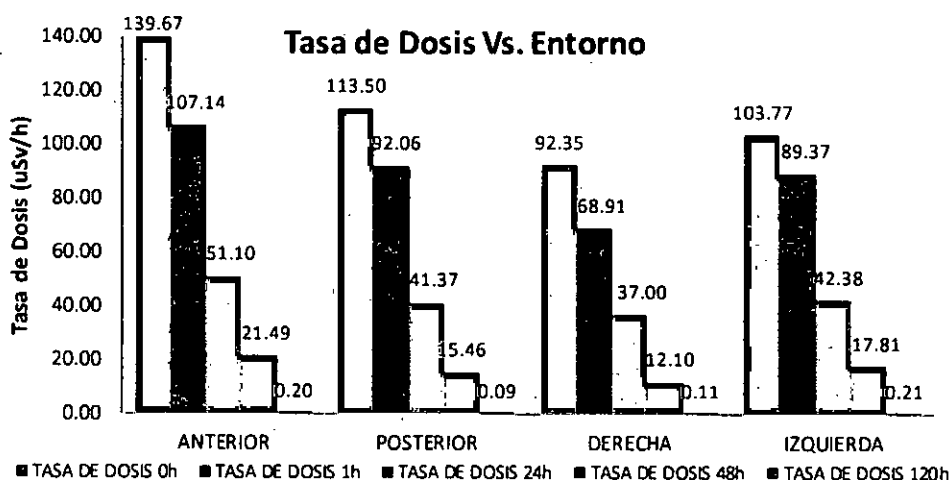
Fuente: Elaboración propia

### 5.3 Tasa de Dosis medida a diferentes entornos

Se grafica el decaimiento de la paciente N° 7 y N° 8 debido a que tienen las actividades más altas entre nuestra muestra. Representan a dos pacientes que tienen edades que están por encima de 64 años.

Los gráficos N° 5.7 y 5.8 muestran la tasa de dosis medida a diferentes entornos de dos pacientes de diferente edad y con actividades diferente administradas, como se observa del grafico 5.7 el mayor valor de tasa de dosis es de  $139.67 \mu\text{Sv/h}$  en los instantes de administrada la actividad y para el entorno anterior (posición frontal). Un menor valor de tasa de dosis de  $0.09 \mu\text{Sv/h}$  a las 120 h de administrada la actividad para el entorno posterior debido a que el órgano de la tiroides se encuentra más próximo al entorno anterior; en las demás posiciones del paciente se tienen tasa de dosis menores debido a que existe una atenuación de la radiación por parte del cuello del paciente.

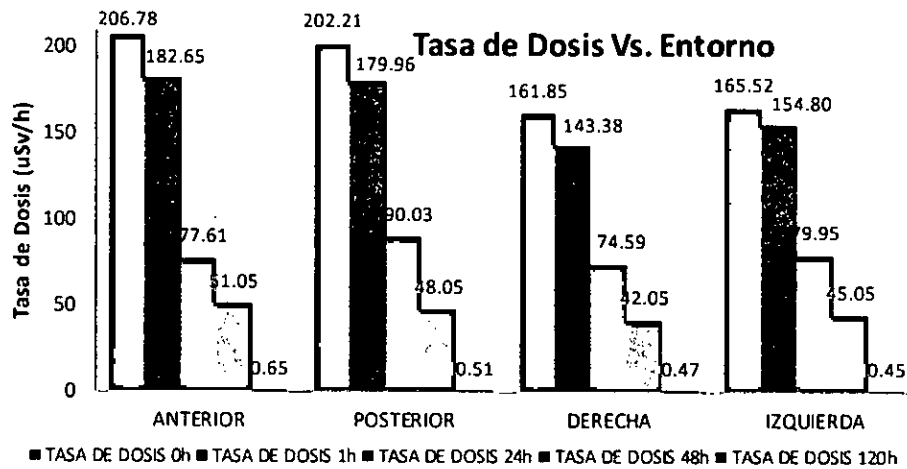
**GRÁFICO N° 5.7. Tasa de dosis medida a diferentes entornos para el caso del paciente 7. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015**



Fuente: Elaboración propia

De forma similar se observa del gráfico 5.8 el mayor valor de tasa de dosis es de 206.78  $\mu\text{Sv/h}$  a los instantes de administrada la actividad para un entorno anterior (frente al paciente) y un menor valor de tasa de dosis de 0.45  $\mu\text{Sv/h}$  a las 120 h de administrada la actividad para un entorno izquierda. Mientras transcurre el tiempo la tasa de dosis disminuye para los cuatro entornos pero igual se mantiene la mayor tasa de dosis se da para el entorno anterior.

**GRÁFICO N° 5.8.** Tasa de dosis medida a diferentes entornos para el caso del paciente 8. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015



Fuente: Elaboración propia

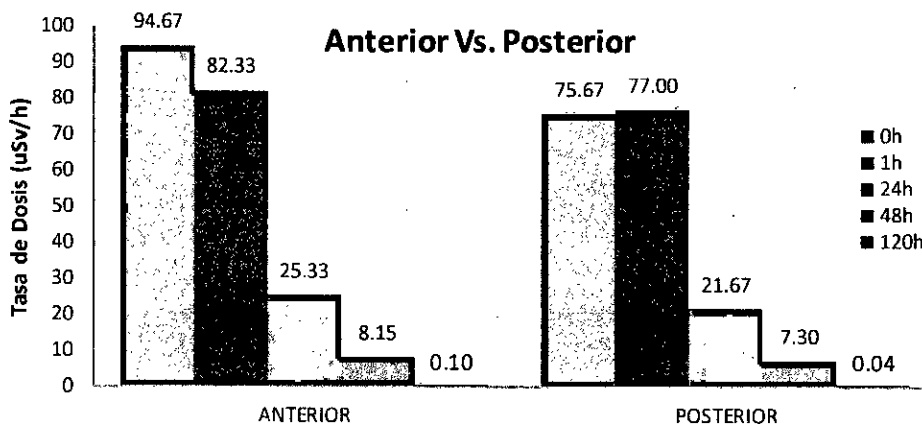
### 5.3.1 Tasa de Dosis para el entorno Anterior y Posterior

Se grafica el decaimiento de la paciente N° 5 y N° 8 debido a que tienen las actividades más opuestas; es decir, la paciente N° 5 tiene la actividad mínima de la muestra mientras la paciente N° 8 tiene una actividad máxima de nuestra muestra. Representan a dos pacientes que tienen edades diferentes por debajo y por encima de los 64 años, respectivamente.

En el gráfico 5.9 se observa que todos los valores de la tasa de dosis medida en el entorno anterior son mayores comparados a los valores de tasa de dosis en el entorno posterior para cualquier tiempo.



**GRÁFICO N° 5.9.** Tasa de dosis para el entorno anterior y posterior para el caso del paciente 5. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015

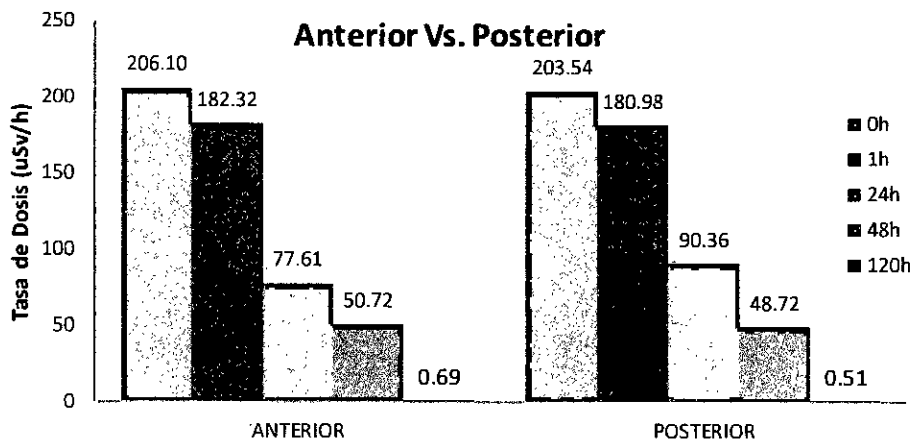


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 5.10 se observa que los valores de tasa de dosis medida en el entorno anterior son mayores a los del entorno posterior excepto el de la tasa de dosis medida a 24 h, debido a la respuesta de medición del equipo.

La variación de la tasa de dosis es debida a la proximidad de la glándula tiroides a los entornos anterior y posterior, la tiroides está más próxima al entorno anterior y para la parte posterior está un poco más lejos y existen músculos y la columna cervical que atenúan parte de la radiación.

**GRÁFICO N° 5.10.** Tasa de dosis para el entorno anterior y posterior para el caso del paciente 8. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015



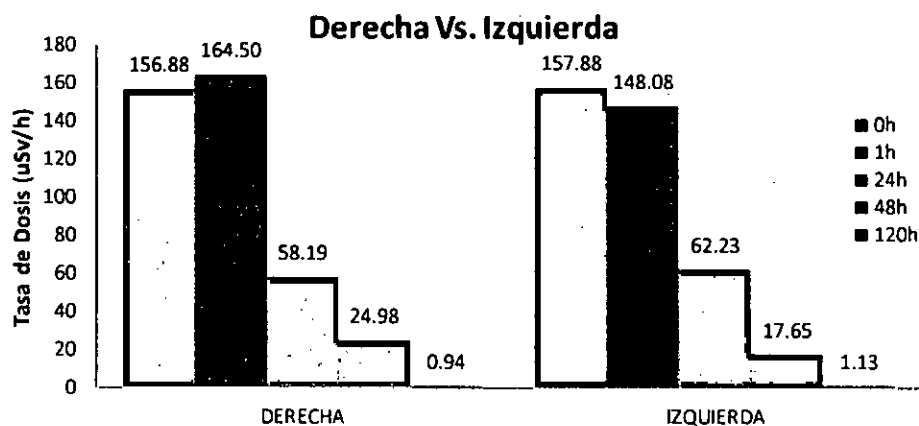
Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2 Tasa de Dosis para el entorno Derecha e Izquierda

Se grafica el decaimiento de la paciente N° 12 y N° 17 debido a que tienen las actividades más altas. Son dos pacientes que tienen edades diferentes por debajo e igual a los 64 años, respectivamente. Tienen tipos de cáncer de tiroides diferente, Papilar y C. Hurthle respectivamente.

Los gráficos N° 5.11 y N° 5.12 muestran la tasa de dosis, en los entornos derecha e izquierda, medidas a un metro de distancia, de dos pacientes de diferente edad y con actividades diferentes administradas; como se observa en el gráfico N° 5.11 y N° 5.12 existe diferencia de valores de la tasa de dosis en los dos entornos derecha e izquierda a pesar que la tiroides se encuentra en el punto medio de los dos entornos,

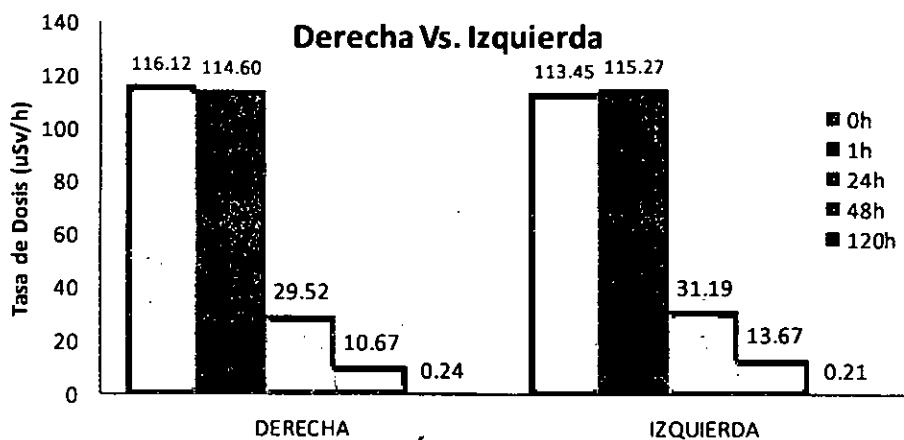
**GRÁFICO N° 5.11.** Tasa de dosis para el entorno derecha e izquierda para el caso del paciente 12. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015



Fuente: Elaboración propia

Esto se debe a que existe una atenuación por parte del cuello y de igual manera a pesar que todos los pacientes les practicaron una tiroidectomía, existe un remanente en tiroides ya sea en el lóbulo derecho o lóbulo izquierdo.

**GRÁFICO N° 5.12.** Tasa de dosis para el entorno derecha e izquierda para el caso del paciente 17. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015



Fuente: Elaboración propia

#### 5.4 Tasa de Dosis medida como función del tiempo de post-administración de la actividad ablativa con $^{131}\text{I}$

Después de la administración de la actividad, el material radiactivo entra a la circulación sanguínea y se distribuye por todo el cuerpo del paciente, a medida que pasa el tiempo el  $^{131}\text{I}$  es retenida por el cuerpo y depositado en tiroides, al igual que es excretado principalmente por los riñones.

La tabla N° 5.6 se tabulan los valores de la tasa de dosis medidas a diferentes tiempos y los rangos que representa a la mínima y al máximo valor de la tasa de dosis.

**TABLA N° 5.6.** Tasa de dosis (uSv/h) medida a 1.0 m del paciente (n=20) como función del tiempo de post-administración de actividad ablativa con  $^{131}\text{I}$ . Medicina

*Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015*

Tiempo	0 h	1 h	24 h	48 h	120 h
Tasa de dosis (uSv/h)	$181.42 \pm 2.52$	$153.64 \pm 1.7$	$47.38 \pm 0.9$	$19.03 \pm 0.74$	$0.57 \pm 0.02$
Rango (mCi)	94.67 – 323.67	82.33 – 266	25.33 – 87.54	7.07 – 50.72	0.15 – 1.38

Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° 5.13 muestra los valores de Tasa de Dosis medida a un metro de distancia a la altura de la tiroides, el promedio de tasa de dosis para los 20 pacientes al instante de la administración de la actividad de  $^{131}\text{I}$  es de  $181.42 \pm 2.52$  uSv/h y una tasa de dosis

mínima de  $94.67 \text{ uSv/h}$  y una máxima de  $323.67 \text{ uSv/h}$ . La tasa de dosis promedio en el rango de una hora después de administrada la dosis es de  $153.64 \pm 1.7 \text{ uSv/h}$  y una tasa de dosis mínima de  $82.33 \text{ uSv/h}$  y una máxima de  $266 \text{ uSv/h}$ .

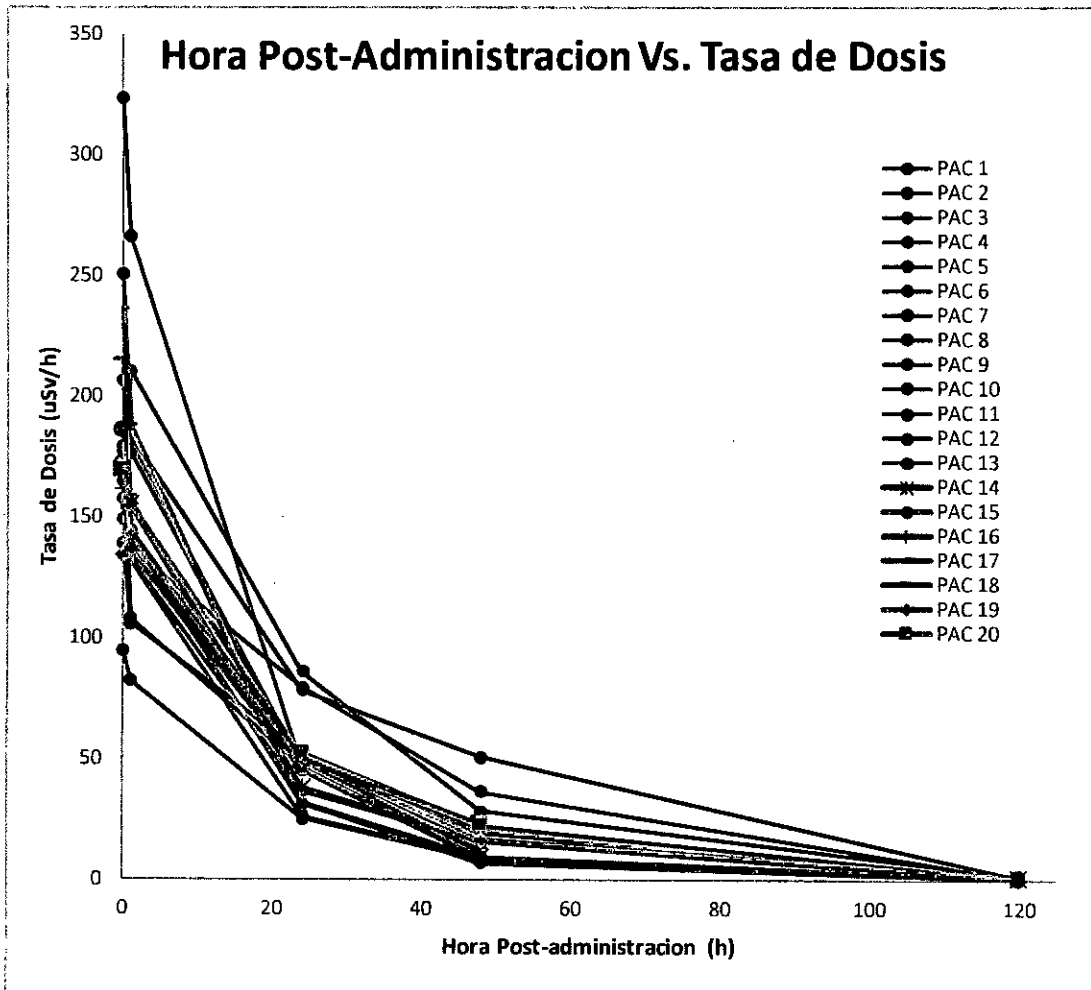
La tasa de dosis promedio pasado 24 horas después de administrada la dosis es de  $47.38 \pm 0.9 \text{ uSv/h}$  y una tasa de dosis mínima de  $25.33 \text{ uSv/h}$  y una máxima de  $87.54 \text{ uSv/h}$ .

La tasa de dosis promedio pasado 48 horas después de administrada la dosis es de  $19.03 \pm 0.74 \text{ uSv/h}$  y una tasa de dosis mínima de  $7.07 \text{ uSv/h}$  y una máxima de  $50.72 \text{ uSv/h}$ .

La tasa de dosis promedio pasada 120 horas después de administrada, en el momento del rastreo, la dosis es de  $0.57 \pm 0.02 \text{ uSv/h}$  y una tasa de dosis mínima de  $0.15 \text{ uSv/h}$  y una máxima de  $1.38 \text{ uSv/h}$ .

**GRÁFICO N° 5.13.** Tasa de dosis (uSv/h) medida a 1.0 m del paciente (n=20) como función del tiempo de post-administración de actividad ablativa con  $^{131}\text{I}$ . Medicina

Nuclear – HNGAI. Julio – octubre 2015



Fuente: Elaboración propia

### 5.5 Cálculo del Tiempo para el Alta del paciente en Tratamientos con $^{131}\text{I}$

El tiempo estimado para dar el alta del paciente del hospital estará en función de la tasa de dosis externa y del valor límite de la tasa de dosis optimizado a  $30 \text{ uSv/h}$ . Todas las mediciones se realizaron a un metro de distancia en un entorno anterior, a la altura de la

tiroides y el paciente estando de pie. Los datos fueron procesados en una hoja de cálculo de un programa comercial (Excel), donde se realizó una función de ajuste de la curva de la hoja de cálculo suponiendo un decaimiento mono exponencial.

Teniendo en cuenta que la ecuación (1.4) de la actividad viene dado por:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

También expresada en Tasa de Dosis, mediante la ecuación (1.6):

$$\dot{D}(t) = \dot{D}(0) e^{-\lambda t}$$

En base a la fórmula derivada del ajuste de la curva, se obtiene los valores de  $\dot{D}(0)$  que es la tasa de dosis medida a los instantes de administrada la dosis de  $^{131}\text{I}$ ,  $\lambda$  y  $\dot{D}(t)$  que para nuestro caso es el valor límite optimizado de  $30 \mu\text{Sv}/h$ .

Los valores de la constante de desintegración ( $\lambda$ ) que se obtuvieron del ajuste de curvas, el mínimo es de  $0.04 h^{-1}$ , el máximo es de  $0.06 h^{-1}$  y el promedio es de  $0.045 h^{-1}$ .

Por lo tanto, el tiempo puede ser calculado como:

$$t = -\frac{1}{\lambda} \cdot \text{Ln} \left( \frac{\dot{D}(t)}{\dot{D}(0)} \right) \quad (1.16)$$

El tiempo estimado para que la tasa de dosis externa sea menor que los  $30 \mu\text{Sv}/h$  se encuentra dentro del rango de  $21.85$  a  $52.22 h$  ( $37.79 \pm 1.62 h$ ). La tasa de dosis externa para los 20 pacientes, quienes han sido medidos inmediatamente después de la administración del  $^{131}\text{I}$  hasta el día en que se les dio el alta de hospitalización por aislamiento, fueron menores que  $30 \mu\text{Sv}/h$ .

Tomando en consideración que a cada paciente se administra diferentes actividades, podemos ver que en el criterio de  $30 \mu\text{Sv/h}$ , 1 de 20 pacientes (5%) pudo ser dado de alta con 24 h de aislamiento, 17 de 20 pacientes (85%) pudo ser dado de alta con 48 h de aislamiento y 2 de 20 pacientes (10%) pudo ser dado de alta con más de 48 h de aislamiento como se muestra en la Tabla N° 5.7.

**TABLA N° 5.7.** *El número de pacientes quienes podrían haber sido dados de alta del aislamiento basándose en la tasa de dosis. Medicina Nuclear – HNGAI. Julio – octubre*

2015

Tiempo	Número de pacientes	%
< 24h	1	5
< 48 h	17	85
> 48 h	2	10
Total	20	

Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO VI

### DISCUSIÓN

Si comparamos nuestros resultados con los obtenidos por Jai Hyuen Lee ((Jai Hyuen y Seok Gun , 2010) . Primero debemos mencionar que realizan su estudio con 71 pacientes y las actividades son de 3.7 GBq (47 pacientes), 5.55 GBq (23 pacientes) y 7.4 GBq (1 paciente), el tiempo de medición fue cada 4 horas a una distancia de 1 m a la altura de la tiroides, mientras que en nuestro estudio lo realizamos con 20 pacientes debido a la alta exposición a la radiación en el momento de la toma de datos por la metodología usada, la actividad administrada se encuentra dentro del rango de 50 a 150 mCi (1.85 GBq a 5.55 GBq), y fue medido a 0h, 1h, 24h, 48h y 120h y a diferentes distancias.

Los resultados muestran que con el criterio de la tasa de dosis externa 10 de 71 (26.8%) y 60 de 71 pacientes (84.5%) podrían ser dados de alta sin aislamiento y con 24 h de aislamiento respectivamente, en nuestro estudio presentamos que 1 de 20 (5%), 17 de 20 (85%) y 2 de 20 pacientes (10%) pueden quedarse hospitalizados 24 h, 48 h y 72 h respectivamente, eso dependerá de la actividad administrada y si el paciente presenta problemas para evacuar; sin embargo coincidimos que la tasa de dosis decae de forma exponencial respecto al tiempo, esto lo demuestra nuestra gráfica N° 5.13.

Con el estudio de R. Hewamanna (R. Hewamanna, et al., 2014). Ellos realizan su estudio con 60 pacientes, el tiempo de medición es cada 24 h por 5 días y se basan primero en la estimación del semi vida efectiva ( $T_{eff}$ ) de todos los pacientes, consideran un decaimiento bi-exponencial por 5 días, en nuestro estudio nos basamos en la obtención de la constante

de desintegración ( $\lambda$ ) y la consideración de un decaimiento mono exponencial desde el momento de la administración hasta  $t=120 h$ .

Los resultados de R. Hewamanna. Muestran que la mayoría de los pacientes podrían ser dados de alta del hospital después de 72 h post-administración terapéutica, en nuestro estudio la mayoría de los pacientes puede ser dados de alta del hospital luego de 38 h pero con el concepto de ser conservadores, el alta debe ser luego de 48 h post-administración terapéutica, pero si coincidimos como en el anterior caso que la tasa de dosis varía de forma exponencial con el tiempo.

Debido a la demanda que existe en el Hospital Almenara de pacientes que necesitan el tratamiento ablativo y que conlleva a la hospitalización debido a la alta radiación que emiten, el cálculo del tiempo del alta en este trabajo permite que a las 48 h de administrada la dosis ablativa en pacientes, se le estaría dando el alta radiología de acuerdo a las normativas internacionales y a la normativa nacional para no ocasionar una irradiación a las personas del entorno del paciente.

En un estudio similar Jai Hyuen Lee (Jai Hyuen & Seok Gun , 2010). Refiere que el tiempo estimado en base al criterio de la tasa de dosis externa ( $< 0.07 mSv/h$ ) fue mayor comparada con el criterio de Dosis Efectiva Equivalente total (TEDE). De acuerdo con el criterio TEDE, 70 de 71 (98.6%) pacientes no requieren ningún aislamiento. Por el contrario, según el criterio de tasa de dosis externa, solo 10 pacientes podrían haber sido puestos en alta sin aislamiento, 60 de 71 (84.5%) pacientes podrían haber sido dados de

alta del aislamiento dentro de las 24 h del ingreso, y 1 paciente podría haber sido dado de alta del aislamiento dentro de 30 h del ingreso.

## CAPÍTULO VII

### CONCLUSIONES

Al cuantificar según la distancia la tasa de dosis efectiva del paciente cuando se ha administrado  $^{131}\text{I}$ , ha permitido corroborar un decaimiento de la tasa de dosis al aumentar la distancia, lo cual también asegura en la protección radiológica la relación inversa que existe entre la distancia y la tasa de dosis.

Así mismo, el método de la tasa de dosis externa es operacionalmente relevante ya que se basa en mediciones de una cantidad de interés en la protección radiológica frente a la radiación ionizante. La principal fuente de error en la medición de la tasa de dosis fue probablemente la inexactitud de la distancia entre el eje del cuerpo del paciente y el detector de la radiación, según la Gráfica N° 5.11 y 5.12 existe una diferencia de valores en la comparación de entornos derecha e izquierda a pesar que la glándula tiroides es equidistante a estos dos entornos.

En este estudio la tasa de dosis media medida a un metro de los pacientes se presenta con un rango de valores (Tabla 5.6) como una consecuencia de muchas variables aplicadas, tales como la actividad administrada, la edad y la distancia de medición. Sin embargo, estas tasas de dosis constituyen una información importante para los fines de protección radiológica, ya que están directamente relacionados con el riesgo involucrado en el manejo de pacientes con cáncer de tiroides después de recibir la terapia de  $^{131}\text{I}$ .

Según la Gráfica 5.13 muestra a los 20 pacientes en estudio que tienen un decaimiento mono-exponencial, también en el tiempo de 0 a 24 h hay una mayor pendiente de la recta lo que conlleva a que hay un decaimiento más rápido debido a que la tiroides metaboliza el  $^{131}\text{I}$ , después del ese tiempo la pendiente es menor lo cual existe un decaimiento lento.

En el Hospital Guillermo Almenara Irigoyen (HNGAI), todos los pacientes son dados de alta del hospital solo cuando la tasa de dosis medida a 1.0 m de sus cuerpos es inferior a  $30 \mu\text{Sv/h}$ , ha demostrado que el tiempo de aislamiento depende del valor de  $\lambda$  y relacionado también con el tiempo efectivo ( $T_{\text{eff}}$ ) en lugar de actividad de  $^{131}\text{I}$  administrada. Los resultados de este estudio han indicado que en 48 horas de terapia post- $^{131}\text{I}$  la actividad de yodo radiactivo restante en el cuerpo de un paciente es casi siempre menor a  $1100 \text{ MBq}$  ( $30 \text{ mCi}$ ); solo una paciente presentó un tiempo mayor a 48 h. Esto sugiere que la mayoría de los pacientes podría ser dado de alta en el tercer día de la administración posterior a la terapia, sin riesgo a la radiación a los miembros del público o de la familia; es decir, se da el alta al paciente cuando se encuentre por debajo de los valores límites propuestos lo cual no causaría riesgo de exposición al familiar o algún individuo del entorno respecto al paciente.

Si se optimiza la logística del internamiento de los pacientes, varias ventajas se podrían dar como la reducción de costos de la terapia (hospitalización por día) y el aumento de los beneficios psicológicos para los pacientes y sus familias (temor de la exposición a la radiación).

La práctica actual en otros centros de medicina nuclear donde se hospitalizaba al paciente por aislamiento, el alta del aislamiento se realizaba al 4 o 5 día post-administración del

$^{131}\text{I}$  debido a que utilizaban como valor límite  $<50 \text{ uSv/h}$  como establece las Normas Internacionales, eso conlleva a mayor costo de la terapia por hospitalización y mayor impacto psicológico; en el Hospital Guillermo Almenara se ha optimizado el valor límite de tasa de dosis a  $<30 \text{ uSv/h}$  y como hemos demostrado el tiempo para dar el alta por aislamiento es de  $48 \text{ h}$  post-administración del  $^{131}\text{I}$ ; es decir, al tercer día se le está dando el alta. El alta por aislamiento de todos los pacientes después de la terapia post-administración del  $^{131}\text{I}$  en función de la medición de la tasa de dosis ayudaría a optimizar este procedimiento y se ajustaría a los reglamentos de la IAEA, y otras organizaciones internacionales como NRC, ICRP.

La dosis en el entorno, tiene diferentes valores siendo el más alto en la región frontal debido a que la tiroides se encuentra más próximo a esa posición en comparación a las demás regiones como son posterior, derecha e izquierda.

Conocer el tiempo en que se le debe dar el alta al paciente post-administración de la dosis ablativa de  $^{131}\text{I}$ , permite orientar a las personas involucradas en el tratamiento y familiares para que se pueda evitar la irradiación innecesaria.

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Thyroid Association (ATA). (2015). Guidelines Taskforce on Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer. *AMERICAN THYROID ASSOCIATION PROFESSIONAL GUIDELINES*.
2. Barman, S., Barret, K., Boitano, S., & Brooks, H. (2010). *GANONG Fisiología Médica* (Veinte y tres ed.). Mc Graw Hill.
3. Basic Safety Standards Series N° RS-G-1.5. (2002). *Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
4. Carlos D. Venencia, Alejandro G. Germanier, Silvia R. Bustos, Andrea A. Giovannini, & Eduardo P. Wyse. (25 de September de 2002). Hospital Discharge of Patients with Thyroid Carcinoma Treated with 131I. *The Journal of Nuclear Medicine*, 43, 61–65.
5. Foro sobre Protección Radiológica en el Medio Sanitario. (October de 2011). Criterios de Alta de pacientes y medidas para la Protección Radiológica del publico después de Tratamientos Metabólicos con 131I. *Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)*.
6. Granados, M., & Herrera, A. (2009). *Manual de Oncología INCAN* (Cuarta ed.). México: Mac Graw Hill.

7. Hänscheid H, L. M. (April de 2006). Iodine biokinetics and dosimetry in radioiodine therapy of thyroid cancer: procedures and results of a prospective international controlled study of ablation after rhTSH or hormone withdrawal. *J Nucl Med*, 47(4), 648-54.
8. Hilditch , T., Dempsey , M., Bolster , A., McMenemin, R., & Reed , N. (Junio de 2002). Self-stunning in thyroid ablation: evidence from comparative studies of diagnostic 131I and 123I. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 29(6), 783-8.
9. IAEA. (2009). *Nuclear Medicine in Thyroid Cancer Management: A Practical Approach*. Vienna.
10. ICRU. (1993). *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry*. ICRU Report 51. Bethesda: ICRU.
11. Interactive Chart of Nuclides. (December de 2015). Obtenido de <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>
12. International Atomic Energy Agency. (2009). *Material de entrenamiento en Protección Radiológica en Medicina Nuclear, Parte 2. Física de las Radiaciones*. Vienna.
13. International Atomic Energy Agency. (02 de February de 2010). Position Statement on Release of Patients After Radionuclide Therapy. IAEA document reference K9010241. *International Atomic Energy Agency*.
14. International Commission on Radiation Protection. (1990). Publication N° 60: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP. *International Commission on Radiation Protection*, 20(1).



15. International Commission on Radiation Protection. (2004). Publication N° 94: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, *Annals of the ICRP. International Commission on Radiation Protection, 37, 2:4.*
16. International Commission on Radiation Protection. (2007). *Publication N° 103: Recommendations of the International Commission on Radiation Protection. Annals of the ICRP Volume 37.* UK.
17. Iturbe Hermann, F. (2008). *Protección Radiológica: Curso para personal ocupacionalmente expuesto.* Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
18. Jai Hyuen , L., & Seok Gun , P. (2010). Estimation of the Release Time from Isolation for Patients with Differentiated Thyroid Cancer Treated with High-dose I-131. *Nucl Med Mol Imaging, 44, 241-245.*
19. Ludlum Measurements. (June de 2011). Instructions Manual Ludlum Model 2241-3RK Response Kit, Serial Number 238342 and Succeeding Serial Numbers. *Ludlum Measurements Inc.*
20. Maxon HR 3rd, S. H. (September de 1990). Radioiodine-131 in the diagnosis and treatment of metastatic well differentiated thyroid cancer. *Endocrinol Metab Clin North Am, 19(3), 685-718.*
21. Mazzaferri , E. (May de 1999). An overview of the management of papillary and follicular thyroid carcinoma. *Thyroid, 9(5), 421-7.*
22. Mazzaferri, E., Amdur, R., & Kirwan, J. (2006). *Essentials of Thyroid Cancer Management.* Springe.

23. Netter, F. (2001). *Atlas de anatomía humana*. New Jersey: Masson S.A.
24. Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN). (10 de 12 de 2012). *Norma IR.002.2012*. Lima: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Recuperado el 10 de 12 de 2015, de [http://www.ipen.gob.pe/transparencia/regulacion/leyes\\_normatividad.htm](http://www.ipen.gob.pe/transparencia/regulacion/leyes_normatividad.htm)
25. R. Hewamanna, Naalini Loganathan, & D.K.A. Perera. (2014). Releasing thyroid cancer patients from the hospital based on dose rate measurement after <sup>131</sup>I activity administration. *J.Natn.Sci.Foundation Sri Lanka*, 42(2), 137–141.
26. Ramírez Garzon, Y. (2012). *Medición de la Exposición a la Radiación en Familiares de Pacientes Tratados con <sup>131</sup>I por Patología Tiroidea*. MÉXICO: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
27. Rodríguez Laguna, A. (2008). Diseño de un protocolo para la vigilancia de incorporaciones de material radiactivo en el personal ocupacionalmente expuesto de un departamento de medicina nuclear. Universidad Autónoma de México.
28. Rosenthal, S. (2009). *The Thyroid Source book* (Quinta ed.). Mc Graw Hill.
29. Sociedad Española de Física Médica. (2004). *Fundamentos de Física Médica* (Primera ed.). Madrid: Servicios Editoriales.
30. SPSS-Statistical Package for the Social Sciences. (2011). *Statistical Package for the Social Sciences 22*. IBM.
31. Tsuchimochi S, Nakajo M, Umanodan T, Fukushima N, Shigaki S, & Kiku T. (November de 2001). A study on the isolation period of patients with metastatic

thyroid cancer treated by <sup>131</sup>I according to a new guideline. *Kaku Igaku*, 38(6), 47-54.

32. Wartofsky, L., & Van Nostrand, D. (2007). *Thyroid Cancer: A Comprehensive Guide to Clinical Management* (Segunda ed.). Humana Press.

33. Zanzonico PB, Siegel JA, & St Germain J. (Jun de 2000). A generalized algorithm for determining the time of release and the duration of post-release radiation precautions following radionuclide therapy. *Health Phys*, 78(6), 648-59.

# ANEXOS

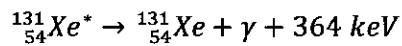
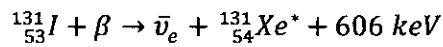
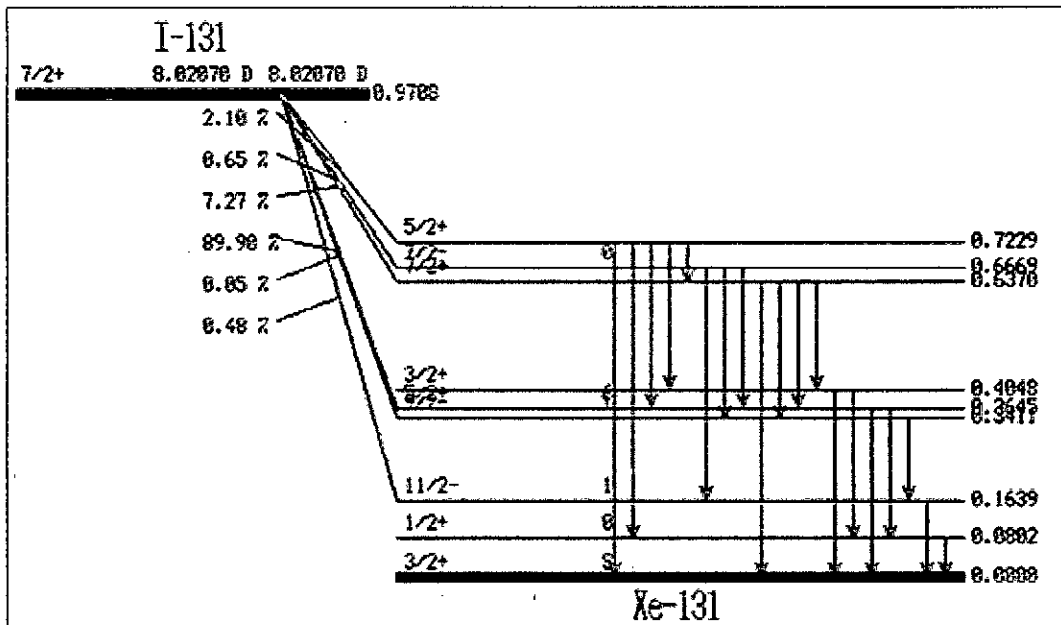
## Anexo A: Matriz de Consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS	VARIABLE	MUESTRA	TIPO DE INVESTIGACIÓN
<p>¿Es posible cuantificar la tasa de dosis según la distancia en pacientes tratados con actividades ablativas de <sup>131</sup>I?</p> <p>¿Estimar la constante de decaimiento (<math>\lambda</math>) para el cálculo del tiempo del alta del paciente en el Hospital Guillermo Almenara Irigoyen?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Determinar un tiempo prudente para la hospitalización de los pacientes con <sup>131</sup>I en salas aisladas del Hospital Nacional Guillermo Almenara.</p> <p><b>Objetivo Especifico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuantificar según la distancia la tasa de dosis efectiva del paciente cuando se ha administrado <sup>131</sup>I.</li> <li>• Cuantificar la tasa de dosis haciendo comparaciones entre los entornos anterior (delante), posterior (detrás), lateral derecho y lateral izquierdo respecto al paciente.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p>En el hospital Guillermo Almenara Irigoyen la cuantificación de la tasa de dosis según distancia en pacientes tratados con actividades ablativas de <sup>131</sup>I permitirá cuantificar el tiempo para el alta de pacientes optimizando la tasa de dosis a 30 uSv/h y permitirá encontrar la constante de decaimiento óptimo para su caracterización.</p>	<p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>Calculo del tiempo para el alta según tasa de dosis.</p> <p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Pacientes sometidos al tratamiento con <sup>131</sup>I.</p>	<p><b>Población:</b></p> <p>Estará constituida por todos los pacientes con cáncer diferenciado de tiroides que han sido sometidos a una tiroidectomía total, administrados con dosis ablativas de <sup>131</sup>I, con actividades de 1110 - 7400 MBq (30 - 200 mCi) sometidos a una, en los Servicios de Medicina Nuclear, que estén entre las edades de 15 a 85 años, de ambos sexos.</p>	<p>El presente trabajo de investigación es de tipo cuantitativo debido a que se cuantifica la tasa de dosis según la distancia y el tiempo, y el nivel de investigación es de tipo explicativa porque relaciona las variables.</p>

Anexo B: Esquema de decaimiento y propiedades del  $^{131}\text{I}$

El  $^{131}\text{I}$  tiene una vida media de 8.02 d y es un emisor de radiación beta y gamma, su esquema de decaimiento se muestra en la Figura B.1.

FIGURA N° B.1. Esquema del decaimiento del  $^{131}\text{I}$  (Interactive Chart of Nuclides, 2015).



La Tabla N° B.1 muestra las principales energías de emisión y sus abundancias. Otra cantidad importante es la constante gamma

$$\Gamma = 0.0528 \text{ mSv} \times \text{m}^2/\text{mCi} \times \text{d.}$$

**TABLA N° B.1. Energía y abundancia de las principales emisiones de  $^{131}\text{I}$**

<b>Emisión</b>	<b>Energía (keV)</b>	<b>Abundancia (%)</b>
Beta	606	89.3
	334	7.4
Gamma	364	81.2
	637	7.3
	284	6.2

Anexo C. Ficha Técnica para Recolección de Datos

FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS						
PACIENTE:				FECHA DE NAC		
SEXO:	EDAD:	CDT tipo:		Tamaño Tumoral:		
Actividad teorica:	Actividad post ad:		Total adm:			
FECHA/HORA INTER-ALTA	0	1	24	48	120	Observaciones
Fondo						
En contacto						
1m						
2m						
anterior						
posterior						
derecha						
izquierda						