



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Unidad Iztapalapa

División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Departamento de Física

INSTITUTO NACIONAL DE CANCEROLOGÍA

Departamento de Medicina Nuclear

ESPECIALIZACIÓN EN FÍSICA MÉDICA CLÍNICA

**Estudio de la viabilidad para el egreso a las 24 horas
de pacientes administrados con dosis terapéuticas
de ^{131}I con actividades de 100 a 250 mCi**

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

Especialista en física médica clínica

P R E S E N T A

Rocio Marlene Peruyero Rivas

Fís. Esteban Barrera García

Dr. en C. Juan Azorín Nieto

México, Febrero 2019

ÍNDICE	No. página
Resumen	4
Abreviaturas	5
Índice de figuras	7
Índice de tablas	9
1. Introducción	10
1.1. Antecedentes	11
1.2. Pregunta de investigación	16
1.3. Hipótesis	16
1.4. Objetivos	16
1.5. Justificación	17
2. Marco teórico	19
2.1. Tiroides	19
2.1.1. Glándula tiroides	19
2.1.1.1. Hormonas tiroideas	21
2.1.1.2. Metabolismo del yodo	23
2.1.2. Cáncer de tiroides	24
2.1.3. Cáncer diferenciado de tiroides	24
2.1.3.1. Tratamiento de CDT	24
2.2. Terapia con ¹³¹ I para CDT	25
2.3. Magnitudes dosimétricas	28
2.4. Detector Geiger-Muller	29
3. Metodología	31
3.1. Materiales y métodos	31
3.1.1. Infraestructura y apoyo técnico disponible	31
3.1.2. Tipo de estudio	31
3.1.3. Criterios de inclusión, exclusión y eliminación	31
3.1.4. Variables de estudio	31
3.1.5. Análisis estadístico	32
3.2. Procedimientos	32
3.2.1. Adquisición de datos	32

3.2.2. Cálculo de la dosis equivalente recibida por el cuidador	33
3.2.2.1. Modelos de cálculo	36
3.2.2.2. Suposiciones realizadas en los modelos	41
4. Resultados	43
5. Discusión y conclusiones	57
Anexo A. Magnitudes dosimétricas	59
Anexo B. Esquema de decaimiento del ¹³¹ I	70
Anexo C. Deducción de las ecuaciones	71
Anexo D. Tablas de datos	76
Referencias	132

Resumen

En el presente trabajo se recopiló y analizó información de 254 pacientes hospitalizados en el Instituto Nacional de Cancerología, durante el periodo junio 2017 - diciembre 2017, que recibieron terapia con ^{131}I para el tratamiento de cáncer diferenciado de tiroides. Lo anterior con la finalidad de determinar si el cumplimiento del Reglamento General de Seguridad Radiológica que rige en territorio mexicano se cumpliría bajo la hipótesis de que el egreso de los pacientes fuera realizado 24 horas posteriores a la administración del radionúclido.

Para determinar lo anterior se estimó, bajo distintos modelos teóricos, la dosis equivalente que un cuidador recibiría considerando distintos tiempos de proximidad. En específico, se consideraron 30 estimaciones por cuidador.

Los resultados obtenidos mostraron que no se tiene garantizado el cumplimiento de los límites establecidos en el Reglamento si el paciente es egresado indistintamente el día posterior a la administración del material radiactivo. Sin embargo, el cumplimiento de dichos límites se puede considerar si la actividad prescrita es 100 mCi y no existe mujer embarazada o persona menor a 16 años en el círculo de riesgo del paciente.

Abreviaturas

ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ATA	Asociación Americana de Tiroides
BSS	Estándares internacionales de seguridad básica para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de fuentes de radiación
BTA	Asociación Británica de Tiroides
CDT	Cáncer Diferenciado de Tiroides
CRT	Árboles de clasificación y regresión
CNSNS	Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias
DIT	Diyodotirosina
IAEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
ICRP	Comisión Internacional de Protección Radiológica
INCan	Instituto Nacional de Cancerología
MIT	Monoyodotirosina
NCCN	Red Nacional de Cáncer Integral
NOM-013-NUCL-2009	Norma Oficial Mexicana - "Requerimientos de seguridad radiológica para egresar a pacientes a quienes se les ha administrado material radiactivo"
NRC	Comisión Reguladora Nuclear de los EE.UU
POE	Personal Ocupacionalmente Expuesto
RGSR	Reglamento General de Seguridad Radiológica
Tg	Tiroglobulina

TGB	Globulina ligadora de hormonas tiroideas
TRH	Hormona liberadora de tirotropina
TSH	Hormona estimulante de la tiroides

Índice de figuras

No. página

Figura 1.	Representación de la glándula tiroides	19
Figura 2.	Visión dorsal de la glándula tiroides	19
Figura 3.	Representación de las arterias e inervación de la región tiroidea	20
Figura 4.	Representación del plexo tiroideo impar	20
Figura 5.	Visualización microscópica de la glándula tiroides	21
Figura 7A.	Caja de bigotes. Modelo A, suposición 1	43
Figura 7B.	Caja de bigotes. Modelo A, suposición 2	43
Figura 7C.	Caja de bigotes. Modelo A, suposición 3	43
Figura 7D.	Caja de bigotes. Modelo A, suposición 4	44
Figura 7E.	Caja de bigotes. Modelo A, suposición 5	44
Figura 7F.	Caja de bigotes. Modelo A, suposición 6	44
Figura 8A.	Caja de bigotes. Modelo B, suposición 1	45
Figura 8B.	Caja de bigotes. Modelo B, suposición 2	45
Figura 8C.	Caja de bigotes. Modelo B, suposición 3	45
Figura 8D.	Caja de bigotes. Modelo B, suposición 4	46
Figura 8E.	Caja de bigotes. Modelo B, suposición 5	46
Figura 8F.	Caja de bigotes. Modelo B, suposición 6	46
Figura 9A.	Caja de bigotes. Modelo C, suposición 1	47
Figura 9B.	Caja de bigotes. Modelo C, suposición 2	47
Figura 9C.	Caja de bigotes. Modelo C, suposición 3	47
Figura 9D.	Caja de bigotes. Modelo C, suposición 4	47
Figura 9E.	Caja de bigotes. Modelo C, suposición 5	47
Figura 9F.	Caja de bigotes. Modelo C, suposición 6	47
Figura 10A.	Caja de bigotes. Modelo D, suposición 1	48
Figura 10B.	Caja de bigotes. Modelo D, suposición 2	48
Figura 10C.	Caja de bigotes. Modelo D, suposición 3	48
Figura 10D.	Caja de bigotes. Modelo D, suposición 4	48

Figura 10E.	Caja de bigotes. Modelo D, suposición 5	48
Figura 10F.	Caja de bigotes. Modelo D, suposición 6	48
Figura 11A.	Caja de bigotes. Modelo E, suposición 1	49
Figura 11B.	Caja de bigotes. Modelo E, suposición 2	49
Figura 11C.	Caja de bigotes. Modelo E, suposición 3	49
Figura 11D.	Caja de bigotes. Modelo E, suposición 4	49
Figura 11E.	Caja de bigotes. Modelo E, suposición 5	49
Figura 11F.	Caja de bigotes. Modelo E, suposición 6	49
Figura 12.	Lamda de Wilks. Modelo D, suposición 5	51
Figura 13.	Lamda de Wilks. Modelo B, suposición 4	51
Figura 14A.	Correlaciones. Modelo B, suposición 4	51
Figura 14B.	Correlaciones. Modelo D, suposición 5	52
Figura 15A.	R utilizando actividad prescrita. Modelo B, suposición 4	52
Figura 15B.	R utilizando actividad prescrita. Modelo D, suposición 5	52
Figura 15C.	R utilizando actividad prescrita y edad. Modelo B, suposición 4	53
Figura 15D.	R utilizando actividad prescrita y edad. Modelo D, suposición 5	53
Figura 16A.	R utilizando actividad prescrita, sexo y edad. Modelo B, suposición 4	53
Figura 16B.	R utilizando actividad prescrita, sexo y edad. Modelo D, suposición 5	53
Figura 16C.	R utilizando actividad prescrita y sexo. Modelo B, suposición 4	54
Figura 16D.	R utilizando actividad prescrita y sexo. Modelo D, suposición 5	54
Figura 17A.	CRT. Modelo D, suposición 5	54
Figura 17B.	CRT. Modelo B, suposición 4	55
Figura 18.	Representación de esfera S	60

Índice de tablas

No. página

Tabla 1.	Número de pacientes incluidos por actividad prescrita y sexo	43
Tabla 2.	Porcentaje de casos con dosis equivalentes menores o iguales a 5 mSv	50
Tabla 3.	Porcentaje de casos con dosis equivalentes menores o iguales a 5 mSv, por actividad prescrita	50
Tabla 4.	Porcentaje de casos con dosis equivalentes menores o iguales a 5 mSv y actividad prescrita de 100 mCi, por edad	56
Tabla 5.	Datos de los 254 pacientes analizados	76
Tabla 6.	Dosis equivalentes estimadas con el modelo de cálculo A	85
Tabla 7.	Dosis equivalentes estimadas con el modelo de cálculo B	94
Tabla 8.	Dosis equivalentes estimadas con el modelo de cálculo C	103
Tabla 9.	Dosis equivalentes estimadas con el modelo de cálculo D	112
Tabla 10.	Dosis equivalentes estimadas con el modelo de cálculo E	121

1. Introducción

La terapia con yodo ^{131}I para pacientes diagnosticados con cáncer diferenciado de tiroides (**CDT**), consiste en la administración vía oral del radionúclido con el fin de obtener un beneficio terapéutico posteriormente a la tiroidectomía total.

La actividad administrada es prescrita por el Médico Nuclear, pudiendo variar desde 30mCi hasta 250 mCi^{1,2}, por lo que en ciertos casos, se requiere hospitalizar a los pacientes².

La Norma Oficial Mexicana, **NOM-013-NUCL-2009**³ “Requerimientos de seguridad radiológica para egresar a pacientes a quienes se les ha administrado material radiactivo” establece que un paciente debe ingresar en un área de hospitalización mientras produzca una rapidez de equivalente de dosis mayor o igual a 0.05 mSv/h a un metro de distancia o la actividad retenida en el paciente sea mayor o igual que 30 mCi.

El Instituto Nacional de Cancerología (**INCan**) ofrece la terapia con ^{131}I a pacientes diagnosticados con CDT, manejando actividades entre 100 y 250 mCi. Dichos pacientes se encuentran hospitalizados en un área diseñada y autorizada por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (**CNSNS**), un promedio de dos días hasta el cumplimiento de la NOM-013-NUCL-2009.

En el INCan, la terapia con ^{131}I se realiza posteriormente a la tiroidectomía, con el objetivo de la ablación del tejido tiroideo residual. El tiempo recomendado para recibir dicha terapia es entre cuatro y seis semanas posteriores a la tiroidectomía⁴, razón por la cual es importante el tiempo de espera que se maneja para recibir dicha terapia. Actualmente, este tiempo es de aproximadamente 4 meses, debido al tiempo promedio de hospitalización, el blindaje del área de hospitalización y la cantidad de pacientes tratados.

En caso de que los pacientes pudieran egresar 24 horas posteriores a la administración del material radiactivo, el tiempo de espera para recibir la terapia se reduciría aproximadamente a 2 meses, lo que conllevaría a una mejora terapéutica.

Por lo anterior, se analizó la viabilidad del egreso en dicho tiempo, para lo cual se consideró como viable siempre y cuando se garantice el cumplimiento de los límites de dosis establecidos en el Reglamento General de Seguridad Radiológica⁵ (RGSR), vigente en México.

Cabe mencionar que la finalidad de asegurar el cumplimiento del RGSR es servir como sustento clínico para una futura revisión de la NOM-013-NUCL-2009.

1.1. Antecedentes

La hospitalización de un paciente administrado con ¹³¹I tiene como objetivo reducir la dosis efectiva recibida por el público en general, así como evitar descargas de material radiactivo en alcantarillas mediante la colección de orina en el área de hospitalización^{1*,2}.

Actualmente, los criterios utilizados para la decisión de hospitalizar y/o egresar a un paciente administrado con yodo 131 pueden estar basados en²:

- límites y restricciones de dosis,
- la actividad residual en el paciente,
- la tasa de dosis a una distancia específica del paciente y/o,
- situaciones individuales

Este último punto considera alguna condición médica que requiera hospitalización, alguna condición mental que pudiera causar el no cumplimiento de indicaciones brindadas al paciente y circunstancias en el hogar.

Independientemente de los posibles criterios a utilizar, los hospitales que se encuentren en países con normativas establecidas deben asegurar su cumplimiento, pues estas son de carácter obligatorio. En México, se debe asegurar el cumplimiento de la NOM-013-NUCL-2009 “Requerimientos de seguridad radiológica para egresar a pacientes a quienes se les ha administrado material radiactivo” emitida por la Secretaría de Energía; en Estados Unidos, las

¹ *Con respecto a la colección de orina, la ICRP menciona que la orina no requiere ser almacenada^{9,31}.

recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y de la Comisión Reguladora Nuclear de los EE.UU (NRC)^{2,6}.

Entre los organismos internacionales que brindan recomendaciones se encuentran: el Organismo Internacional de Energía Atómica² (IAEA), la Comisión Internacional de Protección Radiológica^{2,7} (ICRP), los Estándares Internacionales de Seguridad Básica para la Protección contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de Fuentes de Radiación (BSS) y la Comisión Reguladora Nuclear de los EE.UU (NRC).

Por otro lado existen, otras entidades que se basan en las recomendaciones emitidas por los organismos previos, tal es el caso de la Asociación Americana de Tiroides (ATA), que se basa en las recomendaciones de la ICRP, las regulaciones de la NRC y el principio **ALARA** (tan bajo como sea razonablemente posible)⁸.

A continuación, se enuncian las principales recomendaciones emitidas por los organismos antes mencionados.

IAEA. Una vez egresado el paciente, el grupo de riesgo estará conformado por miembros de familia, niños, cuidadores, vecinos, visitantes a la casa, compañeros de trabajo, personas del transporte público, personas en proximidad al paciente en lugares públicos y público en general. Todo integrante de dicho grupo de riesgo, puede clasificarse como: público en general, mujer embarazada o cuidador. Serán considerados como cuidadores las personas mayores de edad que conozcan, acepten el riesgo de la interacción con el paciente y, ayuden en su cuidado por motivos no ocupacionales.

Para el público en general, se recomienda un límite de dosis efectiva de 1 mSv por año. En el caso de una mujer embarazada, el feto debe considerarse como un individuo aparte y, por tanto, ser considerado como público en general. Finalmente, los cuidadores no tendrán establecido ningún límite de dosis efectiva pero se debe procurar que no reciban más de 5mSv debido al paciente².

Independientemente de la clasificación que reciban las personas del grupo de riesgo, siempre se debe tener en consideración la justificación y optimización para cada paciente (debido a factores

sociales, económicos y psicológicos) ^{2,9}.

ICRP. Al igual que la IAEA recomienda basarse en límites o restricciones de dosis efectivas recibidas por el grupo de riesgo considerando la situación de cada paciente. La restricción de dosis efectiva para los cuidadores es de 5 mSv, siempre que los niños, mujeres embarazadas y cualquier individuo no involucrado en el cuidado del paciente no exceda 1mSv por año^{2,8,10}.

BSS. Un paciente debe mantenerse hospitalizado hasta que la actividad retenida sea menor a 30 mCi, siempre que la dosis efectiva que cualquier persona del grupo de riesgo reciba debido al contacto o proximidad al paciente egresado tenga pocas probabilidades de superar los 5mSv, exceptuando los niños y mujeres embarazadas, que deben recibir una dosis efectiva menor a 1 mSv².

NRC. Se basa en la restricción de dosis efectiva, indicando que la dosis efectiva que cualquier persona del grupo de riesgo reciba, debido al tratamiento del paciente, no debe superar los 5mSv^{2,8}.

Los organismos previos concuerdan en que no existe un criterio homogenizado para el egreso del paciente administrado con material radiactivo. Sin embargo, a excepción de la ICRP, todos indican explícitamente la hospitalización para un paciente que reciba la terapia con yodo 131 con actividades mayores a 30 mCi².

De los organismos anteriores, la IAEA y la ICRP, conforman el sistema actual de protección radiológica internacionalmente aceptado². Estos recomiendan basarse en límite de dosis o restricciones de dosis más que en la actividad residual o tasa de dosis efectiva a una distancia específica del paciente debido a que consideran que no son buenos indicativos para el control de la dosis recibida por el grupo de riesgo².

En recomendaciones previas, la IAEA y la ICRP, consideraban basar los criterios de egreso en la actividad residual y en la tasa de dosis efectiva a una cierta distancia del paciente. Tal es el caso de la publicación 26 de la ICRP en la que se basa la normativa actual que rige en territorio mexicano^{2,10}.

Otro organismo que se basaba en la actividad retenida es la NRC, indicando la hospitalización de un paciente mientras la actividad retenida en éste fuera mayor a 33 mCi⁸.

Independientemente del criterio de egreso utilizado, el paciente debe recibir indicaciones para minimizar la dosis efectiva que genera en cualquier persona debido a su egreso². En México, por normativa, estas indicaciones deben ser escritas³.

Respecto a la dosis efectiva que puede recibir cualquier individuo debido al paciente egresado, ésta puede deberse a irradiación externa (el paciente se considera la fuente de radiación), contaminación interna (por ejemplo, debido a excreción o inhalación) y/o al medio ambiente (descargas en agua, cremación del paciente).

Se tiene reportado que la dosis efectiva recibida por cualquier persona debido al medio ambiente es insignificante² en relación a la dosis efectiva total recibida, por lo que este medio de exposición no será considerado en este trabajo.

Para contaminación interna, el principal riesgo se debe al contacto con la orina² del paciente, debido a que el yodo se elimina principalmente por vía renal. Por lo anterior, se deben dar precauciones y recomendaciones tanto al paciente como a su cuidador para minimizar el riesgo de contaminación por orina.

La IAEA menciona que la contaminación interna contribuye a la dosis efectiva recibida por cualquier persona en menos del 10% que la irradiación externa, por lo que en este trabajo únicamente se considerará la irradiación externa. Sin embargo, se tiene reportado que existe mayor posibilidad de contaminación interna, 24 horas posteriores a la administración del radiofármaco y que este medio de exposición es insignificante si el paciente se hospitaliza un mínimo de tres días².

Ahora bien, si se considera únicamente la irradiación externa, la ICRP hace una recopilación de estimaciones reportadas de dosis efectivas recibidas por el público en general debido al paciente y menciona que si no se tienen las debidas precauciones, la dosis efectiva superará los 5mSv².

Sin embargo, existen aproximaciones teóricas que indican que si el paciente recibe un

tratamiento ambulatorio, es decir, no es hospitalizado y se restringe el tiempo máximo de proximidad al paciente respecto a cualquier persona a 6 horas al día con una distancia mínima de 1 metro, la dosis efectiva que la persona puede recibir debido al tratamiento será aproximadamente 1.7 mSv, esto si la actividad prescrita es 150 mCi¹¹.

En Bélgica, se realizó un estudio que muestra que si los niños no se encuentran en contacto o en proximidad al paciente los primeros ocho días posteriores a la administración, recibían una dosis efectiva de aproximadamente 0.08 mSv².

En 1994, la ICRP publicó guías en las que se sugieren tiempos en que el paciente no debe estar en contacto o en proximidad con ninguna persona para restringir a 1 mSv la dosis efectiva que el público en general reciba debido al paciente.

En 2011, se realizó un estudio en el Instituto Nacional de Cancerología que mostró la importancia de considerar la situación individual de cada paciente para restringir la dosis efectiva que cualquier persona recibirá debido al tratamiento. En este trabajo se indica que, si los pacientes reciben un tratamiento ambulatorio con actividades entre 100 y 200 mCi, la dosis efectiva recibida por los cuidadores será menor a 2 mSv en el 90% de los casos y que, si son hospitalizados durante dos días, dicha dosis efectiva se cumplirá para el 95% de los cuidadores. Independientemente de la modalidad de egreso, se reportó que la dosis efectiva recibida por cualquier persona es menor a 4 mSv¹⁰.

También se ha reportado para el caso de pacientes diagnosticados con CDT que se han realizado la tiroidectomía que la mayor cantidad del radionuclido administrado se elimina en la orina los primeros dos días posteriores a la administración².

En México, existen trabajos que reconocen y sustentan la necesidad de revisar la normativa vigente, considerando las nuevas recomendaciones emitidas por los organismos internacionales^{10,12}.

Se debe tener en consideración que la dosis efectiva que cualquier persona recibirá debido al paciente tratado con yodo radiactivo depende de la actividad retenida en el paciente, la distancia

que se mantiene con el paciente y la duración de la exposición. A su vez, la actividad retenida en el paciente depende de la actividad administrada, la masa y función del tejido tiroideo, la hidratación del paciente y su función renal⁸.

1.2. Pregunta de investigación

Si un paciente diagnosticado con cáncer diferenciado de tiroides que recibió terapia con ¹³¹I con una actividad prescrita igual o mayor a 100 mCi egresara a las 24 horas posteriores a la administración del material radiactivo, ¿la dosis equivalente que recibirían las personas del grupo de riesgo cumpliría con el Reglamento General de Seguridad Radiológica para público en general?

1.3. Hipótesis

El egreso de un paciente diagnosticado con CDT al que se le administro ¹³¹I con actividades iguales o mayores a 100 mCi no incumple con el RGSR si se realiza a las 24 horas de la administración.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Determinar bajo que condiciones de egreso se cumplen los límites de dosis establecidos en el RGSR si el paciente egresará hipotéticamente a las 24 horas posteriores a la administración del ¹³¹I.

Objetivos específicos

1. Estimar bajo distintos modelos de cálculo, las dosis equivalentes que hubieran recibido los cuidadores de los 254 pacientes tratados en el INCan durante el periodo junio 2017 – diciembre 2017, si éstos hubieran egresado 24 horas posteriores a la administración del ¹³¹I.

2. Determinar las variables que influyen de manera estadísticamente significativa en las dosis equivalentes estimadas. Dichas variables deben conocerse previo a la administración del yodo.
3. Predecir bajo que condiciones previas a la administración del material radiactivo se puede garantizar que las dosis equivalentes que recibirán los cuidadores a un metro de distancia debido a los pacientes será menor a la establecida en el RGSR.

1.5. Justificación

En México, por legislación, una vez egresado el paciente se considera a toda persona del grupo de riesgo como público. El RGSR establece un límite de equivalente de dosis efectivo anual de 5 mSv para público y también menciona que en caso de que una persona reciba un equivalente de dosis efectivo igual o cercano al límite anual durante períodos prolongados de tiempo, se tendrá un nuevo límite anual de 1 mSv que deberá cumplirse por el resto de su vida⁵. Dicho límite considera un nivel de equivalente de dosis efectivo que implique una baja probabilidad de efectos estocásticos y nula ocurrencia de efectos deterministas, por lo que se considera un nivel seguro.

Cabe mencionar, que la normativa mexicana referente al egreso del paciente, se basa en la publicación 26 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica^{10,13}. Dicha comisión, en la actualidad menciona que el egreso del paciente se puede realizar una vez se asegure que la persona al cuidado del paciente no recibirá más de 5 mSv debido al paciente, mientras que los niños, mujeres embarazadas y cualquier individuo no involucrado en su cuidado no exceda 1mSv por año ^{2,8}.

Por otro lado, en nuestro país existen trabajos que reconocen y sustentan la necesidad de revisar la normativa vigente, considerando las nuevas recomendaciones emitidas por los organismos internacionales^{10,12}.

Este trabajo tiene como finalidad verificar el cumplimiento del RGSR en el caso hipotético de que los pacientes egresen a las 24 horas de recibir la terapia, lo anterior para servir como apoyo bibliográfico en la futura revisión de la NOM-013-NUCL-2009 ante la CNSNS, lo cual permitiría bajo sustento clínico flexibilizar el egreso de ciertos pacientes a los cuales se les ha administrado

^{131}I de manera terapéutica, por lo que se podría optimizar el número de pacientes tratados, logrando reducir el tiempo de espera para recibir la terapia.

2. Marco teórico

2.1. Tiroides

2.1.1. Glándula tiroides

La glándula tiroides se localiza en la parte anterior de la tráquea a nivel del segundo y tercer anillo hasta aproximadamente el sexto anillo¹⁰, se encuentra a la altura de las vertebrae C5 y T1, durante el proceso de deglución se pierden dicha relación con las vertebrae¹⁴.

Esta formada por dos lóbulos unidos por una banda de tejido tiroideo llamado istmo; en la parte superior del istmo, se tiene un lóbulo llamado lóbulo piramidal. En la figura 1, se muestra una representación de la glándula tiroides.

En la parte posterior de la glándula tiroides se tienen de 4 a 12 glándulas conocidas como glándulas paratiroides¹⁵ como se muestra en la figura 2.

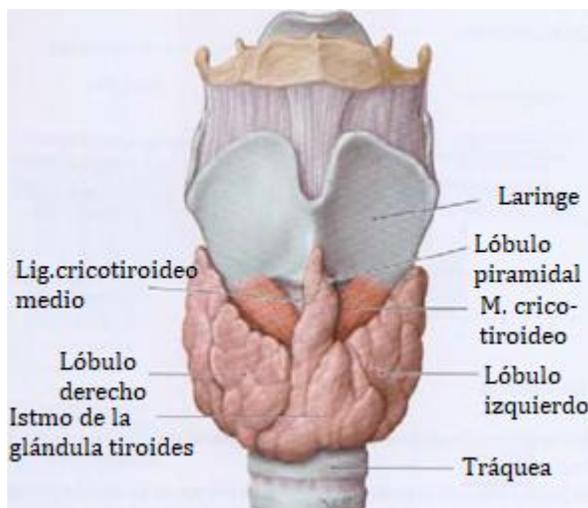


Figura 1. Representación de la glándula tiroides¹⁵

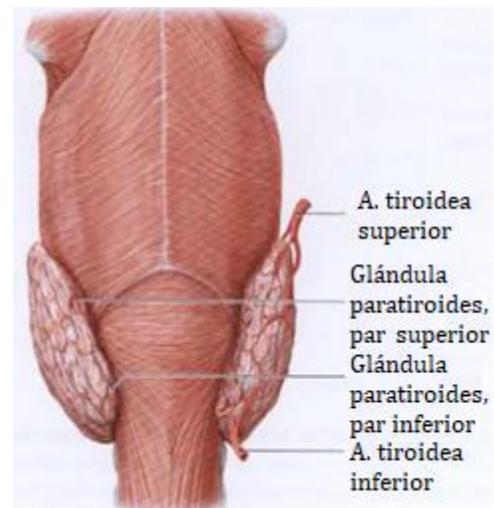


Figura 2. Visión dorsal de la glándula tiroides¹⁵

La dimensión de la glándula tiroides depende de la edad y sexo del individuo¹⁰. Como referencia, su peso promedio para los adultos se encuentra entre 10 y 20 gramos; cada lóbulo mide

aproximadamente de 3 a 4 cm de largo, 2 cm de ancho y menos de 1 cm de espesor; el istmo mide entre 12 y 15 mm de alto en la línea media.

Con el fin de conservar la posición de la glándula tiroidea, ésta se encuentra recubierta por una cápsula conocida como “cápsula de la glándula tiroidea”, dicha cápsula es una aponeurosis, por lo que tiene menor inervación e irrigación sanguínea que los tendones.

La glándula tiroidea tiene un alto índice de flujo sanguíneo por gramo de tejido. Esta glándula es irrigada principalmente por la arteria tiroidea superior, que es la primera rama de la arteria carótida externa, y se encuentra en la parte craneal-dorsal. También es irrigada por la arteria tiroidea inferior, que proviene del tronco tirocervical, y se encuentra en la parte caudal¹⁵.

La figura 3 muestra las arterias e inervación de la región tiroidea.

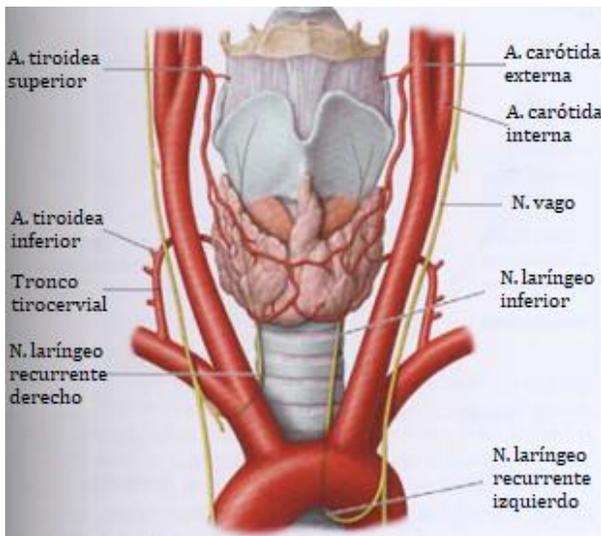


Figura 3. Representación de las arterias e inervación de la región tiroidea¹⁵

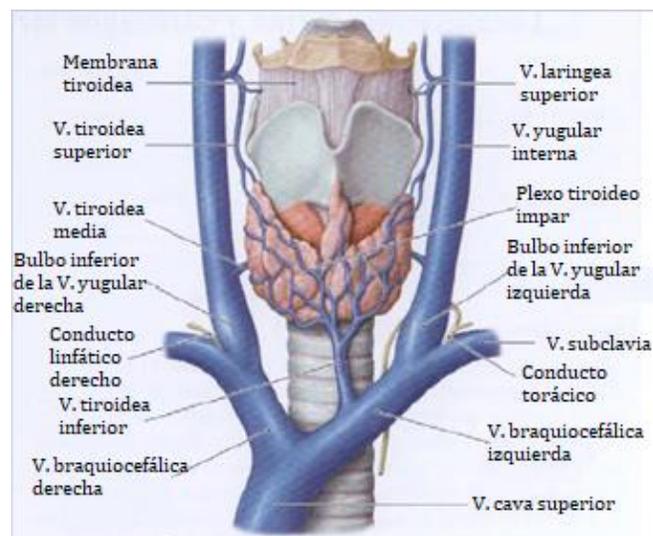


Figura 4. Representación del plexo tiroideo impar¹⁵

La tiroides se drena principalmente por la parte caudal – ventral mediante un plexo venoso denominado “plexo tiroideo impar” que se encuentra alrededor de la glándula. Este plexo se conforma principalmente por tres venas: la vena tiroidea superior, vena tiroidea media y vena tiroidea inferior. La vena tiroidea inferior drena hacia la vena braquiocefálica izquierda y las venas tiroideas superior y media drenan la vena yugular interna¹⁵.

En la figura 4 se visualiza el plexo tiroideo impar.

La unidad anatómica y funcional de la glándula tiroides es el folículo tiroideo. Un folículo está formado por células que cubren un núcleo no celular de material proteináceo denominado coloide. Los folículos están separados por tejido conectivo altamente vascularizado que contiene células foliculares y células C como se visualiza en la figura 5.

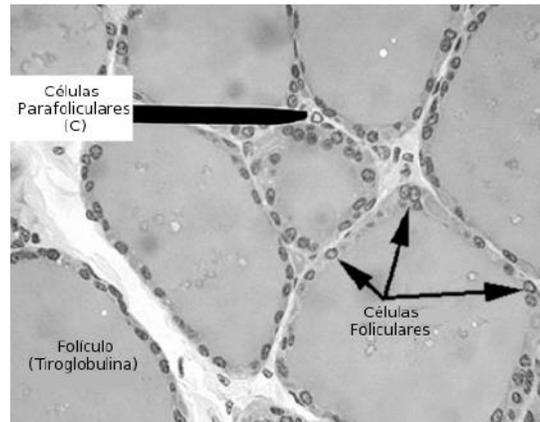


Figura 5. Visualización microscópica de la glándula tiroides¹⁰

El componente principal del coloide es una molécula llamada tiroglobulina (**Tg**), que es sintetizada por las células foliculares.

La producción de la tiroglobulina es estimulada por la activación de la hormona estimulante de la tiroides (**TSH**). La TSH es secretada por la adenohipófisis y ésta última es controlada por la hormona liberadora de tirotrópina (**TRH**), la cual es secretada por el hipotálamo^{10,14}.

2.1.1.1. Hormonas tiroideas

La glándula tiroides, al formar parte del sistema endocrino, es una glándula de secreción interna, es decir; produce, almacena y libera hormonas que se liberan en el torrente sanguíneo¹⁴.

Estas hormonas son la tetrayodotironina (conocida como T4 o tiroxina), la triyodotironina (conocida como T3 o triyodotironina) y la calcitonina. Las primeras dos hormonas son conocidas como hormonas tiroideas dado que se producen, almacenan y liberan en la glándula tiroides; mientras que la calcitonina se produce, almacena y libera exclusivamente en las glándulas paratiroides.

La calcitonina es sintetizada, almacenada y liberada debido a las células C. Las hormonas tiroideas debido a las células foliculares.

Las hormonas tiroideas son necesarias para la síntesis de proteínas, regulan el metabolismo basal, aumentan la termogenesis y el consumo de oxígeno, influyen en la frecuencia cardíaca, temperatura corporal, presión arterial, memoria y condiciones de la piel^{16,17}. La calcitonina ayuda en la homeostasis de calcio y fósforo.

A continuación se da una breve explicación de la síntesis, almacenamiento y liberación de las hormonas T4 y T3^{10,15,18}.

1. Las células foliculares fabrican enzimas y tiroglobulina
2. Dichas enzimas y tiroglobulina son secretadas al coloide
3. Dependiendo del nivel de TSH en sangre que presente la persona, cierta cantidad de yoduro será absorbido por la glándula tiroides y transportado a las células foliculares
4. El yoduro se convierte a moléculas de yodo mediante una oxidación
5. El yodo es transportado al coloide
6. Las enzimas producidas combinan el yodo con la tirosina en la molécula de tiroglobulina. Si un yodo se agrega a la tirosina se forma la monoyodotirosina (**MIT**), si se agrega otro átomo de yodo se forma la diyodotirosina (**DIT**)
7. Se dan reacciones de acoplamiento entre la MIT y la DIT. Si se combina una MIT y una DIT se forma la hormona T3, si se combinan dos DIT se forma la hormona T4
8. Dependiendo del nivel de TSH, las enzimas intracelulares liberan T3 y T4 de la Tg
9. Las hormonas T3 y T4 que son liberadas de la Tg se encuentran en el plasma y como son poco solubles en el plasma se unen a proteínas plasmáticas, principalmente a la llamada globulina ligadora de hormonas tiroideas (**TGB**)

Las hormonas tiroideas son liberadas al plasma, la T4 conforma aproximadamente el 80 % de las hormonas tiroideas liberadas y la T3 el 20%¹⁸. El nivel de TSH en sangre depende de la cantidad de hormonas T4 que se encuentran en el plasma; si hay pocas hormonas T4 en sangre entonces se libera TSH.

La función de la tiroxina (T4) y la triyodotironina (T3) es la misma. Sin embargo, la rapidez e intensidad de acción difieren, siendo la T3 biológicamente más activa que la T4. La T4 se convertirá en T3 al interactuar con el tejido (debido a la eliminación enzimática de un átomo de yodo en la T4) formando aproximadamente el 85% de la T3 activa. Por lo anterior, T4 es considerada una prohormona y T3 la hormona metabólicamente activa.

Una glándula tiroidea sana libera alrededor de 80 a 100 μgm de T4 y 10 μgm de T3, para lo que se recomienda una ingesta diaria mínima de 150 μgm de yoduro.

2.1.1.2. Metabolismo del yodo

A través de los alimentos se obtiene la mayor parte de yodo, éste es absorbido en el intestino delgado, posteriormente por circulación portal llega al hígado en donde por hidrólisis enzimática se libera yoduro. La mayor parte del yoduro es captado por la glándula tiroidea para la síntesis de las hormonas tiroideas, las cuales una vez liberadas en sangre son metabolizadas al hígado y músculos^{2,14}.

Cabe mencionar que la captación por la glándula tiroidea es mayor mientras más elevado sea el valor de TSH en sangre. Por lo que, en casos de hipotiroidismo el nivel de TSH es alto debido a que hay poca T4 en sangre mientras que es bajo en casos de hipertiroidismo.

El yodo se excreta principalmente vía renal, con una menor cantidad a través de la saliva, sudor, heces y una cantidad muy pequeña es exhalado².

Los pacientes que se han realizado tiroidectomía requieren el consumo de levotiroxina (T4)^{1,16} para mantener el nivel de T4 en sangre igual o un poco mayor al de una glándula tiroidea sana, esto conlleva a que los niveles de TSH se mantengan normales o un poco bajos. Sin embargo, para poder recibir la terapia con ¹³¹I, se desea que el nivel de TSH sea alto para que exista mayor captación del ¹³¹I en la glándula tiroidea, por lo que se debe suspender el consumo de la levotiroxina o inyectar TSH, así como seguir una dieta baja en yodo.

2.1.2. Cáncer de tiroides

El cáncer de tiroides se puede originar en las células parafoliculares (células C) o en las células foliculares. Si el cáncer tiene su origen en las primeras se denomina “cáncer medular” y si se origina en las células foliculares se puede subclasificar por su nivel de diferenciación como: “cáncer diferenciado de tiroides”, “cáncer de tiroides pobremente diferenciado” ó “cáncer de tiroides indiferenciado”^{10,14,17}.

2.1.3. Cáncer diferenciado de tiroides

En el CDT las células guardan ciertas características con las células foliculares normales, entre estas, la captación de yoduro.

Los principales tipos de cáncer diferenciado de tiroides son: cáncer papilar de tiroides y cáncer folicular de tiroides¹⁶.

De los dos tipos anteriores, el más común es el cáncer papilar de tiroides, el cual tiende a extenderse a los ganglios linfáticos y a tener una progresión lenta. Por el contrario, el cáncer folicular de tiroides no tiende a extenderse a los ganglios linfáticos pero si al pulmón y hueso ¹⁶.

2.1.3.1. Tratamiento para CDT

Para la elección del tratamiento a seguir, el Instituto Nacional de Cancerología se basa en las recomendaciones de la Asociación Americana de Tiroides (ATA), Asociación Británica de Tiroides (BTA) y la Red Nacional de Cáncer Integral (NCCN).

De manera general, una vez que se tiene el diagnóstico de cáncer diferenciado de tiroides, se procede a revisar el reporte de patología para identificar el grupo de riesgo al que pertenece al paciente y poder decidir el tipo de tratamiento que éste recibirá¹.

En el caso de cáncer papilar de tiroides existen tres grupos de riesgo: riesgo bajo, riesgo intermedio y riesgo alto. El cáncer folicular de tiroides solo tiene dos grupos de riesgo: bajo

riesgo y alto riesgo¹⁹.

Para la determinación del grupo de riesgo al que pertenece el paciente se consideran factores como: la edad, capacidad metastásica, tamaño del tumor y extensión extratiroidea^{10,4,20}.

La terapia con ¹³¹I sólo esta recomendada para los pacientes de riesgo intermedio y alto, con actividades de 100 mCi a 250 mCi, respectivamente, dependiendo si existe metástasis a distancia.

En los pacientes de bajo riesgo generalmente se realiza una lobectomía, a excepción de que se demuestre enfermedad multicéntrica en cuyo caso se realiza una tiroidectomía total.

En pacientes de riesgo intermedio la cirugía sigue siendo la primera opción, pero en este caso con una tiroidectomía total, seguida de ablación con yodo radiactivo para control locorregional.

En caso de pacientes con riesgo alto, se realiza una tiroidectomía total (incluyendo los ganglios regionales), seguida de ablación con yodo radiactivo para control locorregional y sobre las metástasis. En ciertos casos el médico tratante, considera conveniente recurrir a radioterapia o a agentes quimioterapéuticos¹⁶.

La ablación con ¹³¹I se debe realizar de 4 a 6 semanas después de la cirugía⁴. También se requiere un rastreo después de cinco a diez días de la ablación y otro rastreo diagnóstico seis meses después para evaluar si existe tejido residual y, en caso necesario, administrar una nueva dosis terapéutica.

2.2. Terapia con ¹³¹I para CDT

En forma general, una vez que el médico tratante ha determinado necesaria la terapia con ¹³¹I para un paciente diagnosticado con CDT, el procedimiento que se sigue en el INCan es el siguiente:

1. El médico nuclear revisa el reporte de patología para confirmar la necesidad de recibir la terapia y, en caso afirmativo poder decidir la actividad prescrita.

2. El médico nuclear se reúne con el paciente y la persona que estará a su cuidado para informarles en que consistirá el tratamiento, los objetivos que se buscan con éste, así como verificar su historial clínico para, en caso necesario, considerar y atender algún padecimiento adicional.
3. Se verifica que el paciente tenga un nivel de TSH en sangre superior a 30 uU/mL. Para tal propósito, se suspende la levotiroxina durante cuatro a seis semanas previas al tratamiento y se manda una dieta baja en yodo durante quince días¹. En casos especiales, y a consideración del médico nuclear, se puede indicar TSH inyectable, así como recetar T3.
4. Una vez confirmada la terapia con yodo 131, el paciente y su familiar reciben indicaciones verbales sobre las consideraciones de protección radiológica que deberán seguir durante el período de restricción (período durante el cual el paciente deberá hacer modificaciones en sus hábitos, entre éstos, cambios en sus interacciones sociales y cuidados para disminuir y en la medida de lo posible evitar contaminación), para asegurar que una vez egresado el paciente, éste pueda contar con las medidas necesarias.
5. El día de la terapia, el paciente y la persona que estará a su cuidado vuelven a ser informados sobre las precauciones que se deben seguir una vez egresado el paciente. Así como las indicaciones que deberán seguir durante su hospitalización.
6. Aproximadamente una hora antes de administrar el material radiactivo, el paciente es medicado para evitar posibles náuseas o reacción inflamatoria.
7. Una vez en el área de hospitalización, los pacientes reciben indicaciones acerca de la toma de yodo 131, en esta plática se comenta la importancia de beber agua. Para ejemplificar la administración del yodo se utiliza un contenedor y frasco sin material radiactivo similar al que se ocupará. El Físico Médico y el Médico Nuclear dan instrucciones al paciente. El primero será el encargado de informar la manera de realizar la toma considerando todas las medidas necesarias en materia de protección radiológica y el segundo para toda consideración médica.

8. El material radiactivo es llevado a la sala de hospitalización para ser administrado. En todo momento los personales ocupacionalmente expuestos **(POE's)** encargados de administrar el material radiactivo deben utilizar ropa de protección radiológica que consiste en mandil de plomo, doble guante de látex y/o nitrilo, protector de plomo para tiroides, cubreboca, bata y cubrezapatos.
9. El Médico Nuclear y el Físico Médico verifican la correcta administración del material. Para esto, ambos se encuentran fuera de la sala de hospitalización y detrás de una mampara indicando los pasos a seguir.
10. Una vez ingerido el material radiactivo, el paciente bebe agua para retirar el ^{131}I remanente en su boca.
11. El Físico Médico retira de la sala de hospitalización los contenedores en los que se encontraba el yodo. Para entrar a la sala, se deben tomar medidas de protección radiológica, entre estas, se pide a los pacientes que se pasen al fondo del cuarto.
12. Se realiza una medición a la altura de la glándula tiroides de la tasa de dosis equivalente que el paciente genera a un metro de distancia. El Físico Médico encargado de realizar esta medición debe encontrarse detrás de una mampara como medida de protección radiológica.
13. La medición anterior se realiza periódicamente durante la hospitalización del paciente para asegurar el cumplimiento de la norma NOM-013-NUCL-2009.
14. Una vez que el encargado de seguridad radiológica indique que el paciente puede egresar, se entregan indicaciones escritas al paciente y su cuidador sobre las medidas de protección radiológica a seguir (estas indicaciones deben encontrarse firmadas y emitidas por el encargado de seguridad radiológica), así como información por parte del médico sobre que se debe realizar en caso de que se presente alguna emergencia y sobre los rastreos posteriores.

15. Entre los 5 y 7 días posteriores a la toma del material radiactivo, el paciente debe regresar para realizarse un rastreo. No se realiza ningún rastreo previo a la terapia para obtener una mayor captación del yodo administrado y de esta manera evitar una reducción en la eficiencia terapéutica.

2.3. Magnitudes dosimétricas

Como se ha mencionado anteriormente, el criterio utilizado en el INCan para el egreso del paciente hospitalizado debido a la ingesta de material radiactivo, requiere realizar mediciones de la rapidez de equivalente de dosis que esté produce a un metro de distancia.

Para realizar tales mediciones, en este trabajo se utilizó un detector Geiger-Müller, que muestra los resultados en las unidades requeridas. Sin embargo, este tipo de detector, sólo mide el número de pares de iones que la radiación produce en éste. Por tal motivo, es necesario conocer las magnitudes y relaciones dosimétricas básicas, para entender cómo a partir de la información proporcionada por el detector se puede conocer la rapidez de equivalente de dosis. Ver el anexo A.

De manera general, el razonamiento es el siguiente: a partir de la información proporcionada por un detector Geiger- Müller se puede conocer el valor de la exposición, en caso de equilibrio de partícula cargada se puede relacionar la exposición con el kerma de colisión y ésta con la dosis absorbida. Una vez conocida la dosis absorbida, se puede conocer el equivalente de dosis.

Al utilizar un detector Geiger- Müller, no se puede sustentar la suposición de equilibrio de partícula cargada. Sin embargo, este problema se resuelve al calibrar el detector utilizando una fuente estándar con trazabilidad NIST. Dicha calibración permite obtener la rapidez de dosis equivalente.

Aunado a lo anterior, en el anexo A se mencionan los conceptos “dosis equivalente”, “equivalente de dosis”, “dosis efectiva” y “equivalente de dosis efectivo”. Comprender dichos conceptos es importante debido a que la normatividad actual está dada en término de rapidez de equivalente de dosis, sin embargo, las recomendaciones internacionales mencionan dosis efectiva, así como el

RGSR indica los límites de dosis en términos de equivalente de dosis efectivo.

2.4. Detector Geiger-Müller

El detector Geiger-Müller es un detector de gas, cuyo funcionamiento se basa en la ionización que la radiación causa en éste. De manera general el principio físico es el siguiente: los pares de iones que son creados se colectan mediante electrodos entre los que existe una diferencia de potencial para poder obtener una corriente, la cual es medida mediante circuitos eléctricos.

Existen distintos tipos de detectores de gas. Por ejemplo, cámaras de ionización, detectores proporcionales y detectores Geiger. Cada tipo de detector recibe su nombre en función de la región de voltaje en el que opera.

La región de operación del Geiger-Müller se caracteriza porque el número de iones colectados es independiente del número de iones primarios y sólo depende del voltaje aplicado debido a que cualquier ion primario produce una avalancha de iones secundarios.

Además, en esta región puede ocurrir recombinación de los iones positivos con los electrones de la capa K de los átomos de gas, liberando fotones que iniciarán una avalancha. Lo anterior conlleva a que el número de iones primarios no dependa de la energía de la radiación incidente.

La señal que mide el detector Geiger-Müller está formada por pulsos de la misma amplitud, variando la cantidad de pulsos generados, la cual es proporcional al número de eventos que la radiación causó en el gas.

La razón por la cual los pulsos son de la misma amplitud es que los electrones son colectados en el ánodo prácticamente de manera instantánea mientras que los iones positivos se encuentran viajando al cátodo, esto crea una disminución en el voltaje que vuelve a aumentar cuando los iones positivos llegan al cátodo²¹.

En un detector Geiger-Müller, generalmente, el electrodo positivo es un alambre muy pequeño pues de esta manera se asegura que el campo eléctrico cercano a este electrodo sea muy intenso y se utiliza una combinación de gases para el llenado del cilindro; la mayor parte del gas es un gas noble (He, Ar, Ne) y el resto es un gas orgánico o gas de un halógeno que sirve para evitar descargas en el tubo²¹.

La eficiencia de un detector Geiger-Müller para radiación gamma y rayos X es aproximadamente 1%. Para conocer de una manera más exacta la eficiencia se debe conocer la energía de la radiación, pues a menor energía la eficiencia mejora debido al poder de ionización. Las energías de las emisiones emitidas por ¹³¹I se mencionan en el anexo B.

3. Metodología

3.1. Materiales y métodos

3.1.1. Infraestructura y apoyo técnico disponible

- Detector Geiger- Müller. Marca Biodex Medical, Modelo 3A, Serie 60634
- Ropa de protección radiológica (mandil de plomo, protector de tiroides de plomo, guantes de látex y/o nitrilo, respirador estándar, cubrezapatos, cofia, bata)
- Software estadístico SPSS

3.1.2. Tipo de estudio

Estudio predictivo y retrospectivo con información obtenida a partir de 254 pacientes tratados en el Instituto Nacional de Cancerología en el periodo junio 2017 – diciembre 2017.

3.1.3. Criterios de inclusión, exclusión y eliminación

Criterios de inclusión. Pacientes diagnosticados con Cáncer Diferenciado de Tiroides que recibieron terapia con ^{131}I con actividades de 100 mCi, 150 mCi, 200 mCi ó 250 mCi en el periodo junio 2017 – diciembre 2017 en el INCan.

Criterios de exclusión. Pacientes sin tiroidectomía, con hemitiroidecomía, niveles inferiores a 30uUI de TSH, cáncer de tiroides pobremente diferenciado ó cáncer indiferenciado de tiroides.

Criterios de eliminación. Pacientes cuya medición de rapidez de dosis equivalente no fue realizada aproximadamente a las 24 horas posteriores a la administración del material radiactivo.

3.1.4. Variables de estudio

Variables independientes. Edad, sexo y actividad prescrita.

Variables dependientes: Tasa de dosis equivalente 24 horas posteriores a la toma del yodo, dosis equivalente recibida por el cuidador, actividad retenida 24 horas posteriores a la administración del radionúclido.

3.1.5. Análisis estadístico

- Estadística descriptiva de las dosis equivalentes recibidas por el cuidador estimadas teóricamente.
- Estadística inferencial a las dosis equivalentes calculadas para indicar que variables, conocidas previamente a la administración del material radiactivo, influyen de manera estadísticamente significativa en las estimaciones realizadas, así como para predecir bajo qué condiciones de egreso se cumplen los límites establecidos en el RGSR para público en general.

3.2. Procedimientos

3.2.1. Adquisición de datos

A cada paciente se le tomaron tres mediciones de la tasa de dosis equivalente que produce a un metro de distancia: la primera medición se realizó inmediatamente después de la administración del radionúclido, la segunda medición 24 horas posteriores a la toma del mismo y, la tercera medición el segundo día de hospitalización a las 9:00am. Adicionalmente, para cada paciente se tiene: número de expediente, actividad prescrita, sexo y edad.

Las mediciones fueron obtenidas con un detector Geiger-Müller mediante un barrido a la altura de la glándula tiroides a un metro de distancia. El barrido se realizó tres veces por paciente y la medición máxima fue la registrada y utilizada.

En éste trabajo se consideró que la medición obtenida a nivel de la glándula tiroides es la tasa de dosis equivalente que produce el paciente. Dicha suposición se justifica por el hecho de que, sino existe contaminación en el paciente, la mayor parte de la captación de yodo se encuentra en los remanentes de la glándula tiroides⁶, y prácticamente el resto es eliminado vía renal. Suposiciones similares han sido realizadas por otros autores¹⁰.

3.2.2. Cálculo de la dosis equivalente recibida por el cuidador

Para el cálculo de la dosis equivalente recibida en un cierto período de tiempo, por cualquier persona debido al paciente egresado, se consideró al paciente como la única fuente de radiación.

El ^{131}I es un emisor de partículas β^- que decae a $^{131\text{m}}\text{Xe}$, por lo que se emite radiación gamma para finalmente obtener ^{131}Xe , el cual es un núclido estable²².

En el caso de las partículas β^- , estas tienen una trayectoria en tejido del orden de milímetros por lo que este tipo de partículas no son capaces de interactuar con el cuidador. Sin embargo, las partículas β^- sufren interacciones de colisión durante su trayectoria, por lo que se puede generar radiación electromagnética, la cual contribuirá a la dosis equivalente que recibirá el cuidador. Esta contribución depende de la energía de las partículas β^- , en este caso el 89.6% de emisión tiene una energía promedio de 191.6 keV, la cual corresponde a una energía máxima de 606 keV²³.

Con respecto a la radiación gamma que es emitida, el 81.5% de la emisión tiene una energía promedio de 364.5 keV^{23,24}.

Para el cálculo de la dosis equivalente máxima que podrá recibir cualquier persona debido a la proximidad con el paciente, se supondrá que esta cercanía siempre fue de un metro, por lo que el detector utilizado fue suficiente para considerar toda la radiación que interactúa con el cuidador^{2*}.

² *En este trabajo se supondrá que el cuidador es la persona que mayor tiempo estará en proximidad al paciente, por lo que recibirá la mayor dosis equivalente.

Si suponemos que el paciente es una fuente puntual que únicamente emite radiación gamma y se desprecia toda radiación secundaria^{25,26} producida por las partículas β^- , la dosis equivalente expresada en mSv , H , que recibe un individuo debido a encontrarse a un metro del paciente durante un cierto período de tiempo, se puede calcular como

$$H = \frac{A_0 \times 0.0021186 \times T_{ef}}{\ln 2} (e^{-\lambda_{ef}t_1} - e^{-\lambda_{ef}t_2}) \quad (1)$$

Donde:

$[t_1, t_2]$ es el período de tiempo, expresado en horas,

A_0 es la actividad administrada al paciente, expresada en mCi . Si se considera $t_1 = 0$ entonces A_0 es la actividad retenida en el paciente al momento en que inicio la cercanía con el cuidador,

T_{ef} es el tiempo de vida media efectiva del ^{131}I , expresado en h y,

λ_{ef} es la constante de decaimiento que tiene un valor de $\frac{\ln 2}{T_{ef}}$, expresada en h^{-1}

Esta estimación conlleva una suposición importante: el paciente es una fuente puntual que emite radiación isotrópicamente. Dicha suposición se realizó en todos los modelos de cálculo.

Con respecto a esta suposición existen controversias, pues está reportado que esta suposición es válida a partir de dos o tres metros de distancia del paciente² debido a que se minimizan los efectos geométricos mientras que en otros trabajos se considera válida la suposición para un metro de distancia^{6,10}. En este caso se decidió utilizar una distancia de un metro pues los criterios de egreso mencionados en la normativa mexicana indican esta distancia, lo que implica que ésta será utilizada al realizar la medición de la tasa de dosis equivalente, aunado al hecho de que el cuidador generalmente se encontrará a esta distancia, o inclusive, a una distancia menor del paciente, especialmente en pacientes que requieran cuidados especiales. Se consideró que la fuente puntual estaba a la altura de la glándula tiroides del paciente pues es donde se capta la mayor parte de yodo aún en pacientes con tiroidectomía.

Bajo las mismas consideraciones realizadas para la ecuación (1), si el cuidador se encuentra a un metro del paciente durante todo el tiempo que éste emita radiación, la dosis equivalente que recibirá, expresada en mSv , está dada por

$$H = \frac{0.0021186 A_0}{\lambda_{ef}} \quad (2)$$

Donde:

A_0 es la actividad administrada al paciente y se encuentra expresada en mCi .

λ_{ef} es la constante de decaimiento que tiene un valor de $\frac{\ln 2}{T_{ef}}$ y se encuentra expresada en h^{-1}

En la ecuación (2), si A_0 es la actividad retenida en el paciente 24 horas posteriores a la administración del material radiactivo, entonces la ecuación estimará la dosis equivalente que recibirá una persona que se encuentra a un metro del paciente durante todo el tiempo. De igual manera, la ecuación (2) permite calcular la dosis máxima que recibirá cualquier persona si el paciente es egresado en ese momento.

La actividad retenida A_{24} en el paciente a las 24 horas posteriores a la administración del material radiactivo esta dada por

$$A_{24} = A_0 e^{-\lambda_{ef}} \quad (3)$$

Donde

A_0 es la actividad administrada al paciente

$$\lambda_{ef} = \frac{\ln 2}{T_{ef}}$$

$$T_{ef} = \frac{T_b \times T_f}{T_b + T_f}$$

T_b es el tiempo de vida media biológico, expresado en días

T_f es el tiempo de vida media físico y tiene un valor de 8.0207 días²⁷

T_b depende de factores como: la masa y función del tejido tiroideo, la hidratación del paciente y

su función renal⁸; por lo que no será el mismo para todos los pacientes, aun cuando estos hayan sido administrados con la misma actividad. Por lo que si se calcula la actividad retenida en el paciente a las 24 horas utilizando la ecuación (3) se deben hacer suposiciones con respecto a este valor o bien calcularlo para cada paciente.

Por lo anterior, la ecuación (3) da el valor exacto de la actividad retenida en el paciente a las 24 horas únicamente si se conoce el valor exacto del tiempo de vida media biológico y en otro caso es conveniente deducir la actividad retenida mediante la medición de tasa de dosis equivalente a las 24 horas posteriores a la administración del yodo con la siguiente ecuación.

$$A_{24}[mCi] = \dot{H}_{24} \times \frac{1}{0.0021186} \quad (4)$$

Donde

\dot{H}_{24} es la medición de tasa de dosis equivalente que genera el paciente a un metro de distancia 24 horas posteriores a la toma de ^{131}I , expresada en $\frac{mSv}{h}$.

La ecuación (4) considera la contribución debido a la radiación secundaria de las partículas β^- que interaccionan con el cuidador a un metro de distancia pero supone que estas son debido a la emisión de ^{131m}Xe .

Las deducciones de las ecuaciones mencionadas en este subtema se encuentran en el anexo C.

3.2.2.1. Modelos de cálculo

Utilizando cinco modelos de cálculo (modelo A, modelo B, modelo C, modelo D y modelo E) se estimó la dosis equivalente que recibiría el cuidador si el paciente egresará a las 24 horas de ser administrado el material radiactivo. La principal diferencia entre estos modelos es el nivel de restricción. En particular, los modelos A y B son más conservadores, lo que conlleva a que la dosis equivalente es sobreestimada pero garantiza que si se utiliza como referencia al momento de la decisión de egreso se cumplirán los límites de dosis establecidos en el RGSR; por otra parte, el modelo D considera factores no tomados en cuenta en los otros modelos por lo que el resultado final no estará sobreestimado, lo que brinda ventajas al hospital, en particular respecto el número de pacientes tratados, pues existirá mayor capacidad en las salas de hospitalización. Esto tiene que ser debidamente considerado si los resultados obtenidos en este trabajo se desean tomar como referencia para verificar el cumplimiento de los límites de dosis establecidos en el reglamento.

Como se mencionó anteriormente, bajo la suposición de que el paciente es una fuente puntual que sólo emite radiación gamma, se puede conocer la dosis equivalente recibida por cualquier individuo siempre que se conozca el tiempo de vida media efectivo y la actividad retenida en el paciente o el tiempo de vida media efectivo y la tasa de dosis equivalente que el paciente genera.

El tiempo de vida media efectivo depende del tiempo de vida media físico y el tiempo de vida media biológico. Existen tres posibilidades para estimar el tiempo de vida media efectivo:

1. Únicamente considerar el tiempo de vida media biológico y despreciar el tiempo de vida media físico
2. Solo considerar el tiempo de vida media físico
3. Considerar el tiempo de vida media físico y biológico

El caso 1 es válido para radionúclidos cuyo tiempo de vida media físico es muy grande en comparación con el tiempo de vida media biológico²². Esta reportado que la vida media biológica en adultos promedios es del orden de 80 días⁶ para pacientes diagnosticados con CDT, mientras que la vida media física es igual a 8.0207 días.

El caso 2 es válido para radionúclidos con tiempo de vida media biológico muy grande en comparación al físico. Los modelos A y B consideran este caso, por lo que el modelo es conservador.

El caso 3 es considerado en los modelos C y D, tomando la vida media biológica reportada para adultos diagnosticados con CDT⁶. Dicho valor puede llegar a variar significativamente para algunos pacientes.

- **Modelo A**

Se calculó la dosis equivalente que el cuidador recibiría mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{A_{24} \times 0.0021186 \times T_f}{\ln 2} (e^{-\lambda_f t_1} - e^{-\lambda_f t_2})$$

Donde

$$A_{24} [mCi] = \dot{H}_{24} \times \frac{1}{0.0021186},$$

$T_f = \frac{\ln 2}{\lambda_f}$, es el tiempo de vida media físico expresado en horas. Se consideró un valor de 8.0207 días²⁷,

λ_f es la constante de decaimiento,

\dot{H}_{24} es la medición de tasa de dosis equivalente que genera el paciente a un metro de distancia 24 horas posteriores a la toma de ¹³¹I, expresada en $\frac{mSv}{h}$ y,

$[t_1, t_2]$ es el período de tiempo, expresado en horas

Para los cálculos realizados en este modelo se consideró la hora a la que fue realizada la medición y se despreció la vida media biológica.

- **Modelo B**

La dosis equivalente fue estimada mediante la siguiente ecuación:

$$H = H_1 + H_2$$

Donde

H_1 es la dosis equivalente que el cuidador recibiría el primer día de egreso del paciente hospitalizado,

$$H_1 = \frac{A_{24} \times 0.0021186 \times T_f}{\ln 2} (e^{-\lambda_f t_1} - e^{-\lambda_f t_2})$$

Donde

$$A_{24} [mCi] = \dot{H}_{24} \times \frac{1}{0.0021186},$$

$T_f = \frac{\ln 2}{\lambda_f}$, es el tiempo de vida media físico expresado en horas. Se consideró un valor de 8.0207 días²⁷,

λ_f es la constante de decaimiento,

\dot{H}_{24} es la medición de tasa de dosis equivalente que genera el paciente a un metro de distancia 24 horas posteriores a la toma de ¹³¹I, expresada en $\frac{mSv}{h}$ y,

$[t_1, t_2]$ es el período de tiempo, expresado en horas

H_2 es la dosis equivalente que el cuidador recibiría a partir del segundo día de egreso del paciente hospitalizado,

$$H_2 = \frac{A_{48} \times 0.0021186 \times T_f}{\ln 2} (e^{-\lambda_f t_1} - e^{-\lambda_f t_2})$$

Donde

$$A_{48} [mCi] = \dot{H}_{48} \times \frac{1}{0.0021186},$$

$T_f = \frac{\ln 2}{\lambda_f}$, es el tiempo de vida media físico expresado en horas. Se consideró un valor de 8.0207 días²⁷,

λ_f es la constante de decaimiento,

\dot{H}_{48} es la medición de tasa de dosis equivalente que genera el paciente a un metro de distancia 48 horas posteriores a la toma de ¹³¹I, expresada en $\frac{mSv}{h}$ y,

$[t_1, t_2]$ es el período de tiempo, expresado en horas

La diferencia con el modelo A es que fue considerada la tasa de dosis equivalente medida que el paciente generaba el segundo día de hospitalización. Es decir, para el cálculo de la dosis equivalente que recibiría el cuidador el día del egreso se consideró la medición realizada a las 24 horas y para el cálculo de la dosis equivalente que recibiría a partir del segundo día de egreso se consideró la medición obtenida el segundo día de hospitalización.

- **Modelo C**

Se calculó la dosis equivalente que el cuidador recibiría mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{A_{24} \times 0.0021186 \times T_{ef}}{\ln 2} (e^{-\lambda_{ef}t_1} - e^{-\lambda_{ef}t_2})$$

Donde:

$[t_1, t_2]$ es el período de tiempo, expresado en horas,

T_{ef} es el tiempo de vida media efectiva del ¹³¹I expresado en h ,

λ_{ef} es la constante de decaimiento que tiene un valor de $\frac{\ln 2}{T_{ef}}$, expresada en h^{-1} ,

$A_{24}[mCi] = \dot{H}_{24} \times \frac{1}{0.0021186}$ y,

\dot{H}_{24} es la medición de tasa de dosis equivalente que genera el paciente a un metro de distancia 24 horas posteriores a la toma de ¹³¹I, expresada en $\frac{mSv}{h}$

En el modelo C, se consideró la hora a la que fue realizada la medición y se consideró la vida media biológica. Se supuso que el tiempo de vida media efectivo es igual a 7.3 días⁶.

- **Modelo D**

La dosis equivalente que el cuidador recibiría, fue estimada mediante la siguiente ecuación:

$$H = H_1 + H_2$$

Donde

H_1 es la dosis equivalente que el cuidador recibiría el primer día de egreso del paciente hospitalizado,

$$H_1 = \frac{A_{24} \times 0.0021186 \times T_{ef}}{\ln 2} (e^{-\lambda_{ef}t_1} - e^{-\lambda_{ef}t_2})$$

Donde

$$A_{24} [mCi] = \dot{H}_{24} \times \frac{1}{0.0021186}$$

$$T_{ef} = \frac{\ln 2}{\lambda_{ef}}$$

T_{ef} es el tiempo de vida media efectiva del ^{131}I expresado en h ,

λ_{ef} es la constante de decaimiento que tiene un valor de $\frac{\ln 2}{T_{ef}}$, expresada en h^{-1}

\dot{H}_{24} es la medición de tasa de dosis equivalente que genera el paciente a un metro de distancia 24 horas posteriores a la toma de ^{131}I , expresada en $\frac{mSv}{h}$

$[t_1, t_2]$ es el período de tiempo, expresado en horas,

H_2 es la dosis equivalente que el cuidador recibiría a partir del segundo día de egreso del paciente hospitalizado,

$$H_2 = \frac{A_{48} \times 0.0021186 \times T_{ef}}{\ln 2} (e^{-\lambda_{ef}t_1} - e^{-\lambda_{ef}t_2})$$

Donde:

$$A_{48}[mCi] = \dot{H}_{48} \times \frac{1}{0.0021186},$$

$[t_1, t_2]$ es el período de tiempo, expresado en horas,

T_{ef} es el tiempo de vida media efectiva del ^{131}I expresado en h y,

λ_{ef} es la constante de decaimiento que tiene un valor de $\frac{\ln 2}{T_{ef}}$, expresada en h^{-1} y,

\dot{H}_{48} es la medición de tasa de dosis equivalente que genera el paciente a un metro de distancia 48 horas posteriores a la toma de ^{131}I , expresada en $\frac{mSv}{h}$

En este modelo, la dosis equivalente fue estimada utilizando la medición realizada a las 24 horas y para el cálculo de la dosis equivalente que recibiría a partir del segundo día de egreso se consideró la medición obtenida el segundo día de hospitalización. Considera una vida media efectiva de 7.3 días⁶.

- **Modelo E**

Modelo basado en el modelo de tres componentes descrito por la NRC en su guía 8.39⁶. Supone que una parte del yodo administrado es absorbido por el paciente y el resto eliminado, principalmente vía renal. La mayor parte del yodo absorbido es acumulado en la glándula tiroides.

En este modelo se consideran dos períodos de tiempo:

1. El tiempo en el que aún no se ha captado totalmente el yodo en la glándula tiroides (el ^{131}I se encuentra en el estómago y está siendo liberado a la sangre), ni hay eliminación significativa del material radiactivo mediante la orina (el yodo aún se encuentra en el hígado).

2. El tiempo en el que el yodo administrado ha sido totalmente absorbido en dos grandes partes: la glándula tiroides y fuera de ésta.

En el primer periodo de tiempo se considera una aproximación conservadora suponer que la actividad retenida en el paciente va disminuyendo igual que si se considerará únicamente el 80% de la actividad administrada despreciando toda eliminación biológica. La duración de dicho período es de 8 horas a partir del momento en que se administró el material radiactivo⁶.

En el segundo período de tiempo ya es considerable la eliminación biológica, por lo que la disminución de la actividad retenida en el paciente se debe al decaimiento físico y al decaimiento biológico.

En este trabajo se consideró que un 5% del yodo administrado es absorbido por la glándula tiroides con una vida media efectiva de 7.3 días y el 95% restante es absorbida fuera de dicha glándula (parte extratiroidal) con un tiempo de vida medio efectivo de 0.32 días^{3*}. Estos valores son los recomendados por la NRC⁶.

Para el cálculo de la dosis equivalente que una persona puede recibir debido a encontrarse a un metro del paciente, si este es egresado a las 24 horas posteriores a la administración del ¹³¹I, únicamente se considera el segundo período de tiempo debido a que ha transcurrido el tiempo necesario para la captación del yodo administrado.

Bajo este modelo de cálculo, la dosis equivalente H , en mSv , que recibirá una persona por encontrarse a un metro del paciente durante todo el tiempo que éste emita radiación a partir del momento en que es egresado se puede estimar como:

$$H \approx 0.049075A_{24} \quad (5)$$

^{3*} Los valores de tiempos de vidas medias efectivas de 0.32 y 7.3 días para la parte de yodo captado fuera de la glándula tiroides y en la glándula tiroides, respectivamente, se basan en las recomendaciones de la ICRP en su publicación 53³². Cabe mencionar que el primer valor esta basado en sujetos promedios no diagnosticados con CDT. El porcentaje de 5% para la fracción del yodo administrado que es captado por la glándula tiroides se considera un límite superior para pacientes diagnosticados con CDT que recibieron tiroidectomía.

Donde

A_{24} es la actividad retenida en el paciente 24 horas posteriores a la administración del yodo, expresada en mCi

Si únicamente se considera un cierto período de tiempo entonces, la dosis equivalente H , en mSv , que recibirá estará dada por

$$H = \frac{0.0021186A_{24}}{\ln 2} \left\{ 8.76 \left(e^{-\frac{\ln 2}{7.3}t_1} - e^{-\frac{\ln 2}{7.3}t_2} \right) + 7.296 \left(e^{-\frac{\ln 2}{0.32}t_1} - e^{-\frac{\ln 2}{0.32}t_2} \right) \right\} \quad (6)$$

Donde

$[t_1, t_2]$ es el período de tiempo considerado, expresado en días

A_{24} es la actividad retenida en el paciente 24 horas posteriores a la administración del radionúclido, expresada en mCi

$$A_{24}[mCi] = \dot{H}_{24} \times \frac{1}{0.0021186}$$

\dot{H}_{24} es la medición de tasa de dosis equivalente que genera el paciente a un metro de distancia 24 horas posteriores a la toma de ^{131}I , expresada en $\frac{mSv}{h}$.

Las deducciones de las ecuaciones mostradas en este subtema se encuentran en el anexo C.

3.2.2.2. Suposiciones realizadas en los modelos

Se debe tener en consideración que la dosis equivalente que cualquier persona recibirá debido al paciente tratado con yodo 131 depende de: la actividad retenida en el paciente, la distancia que se mantiene con el paciente y la duración de la exposición⁸.

La actividad retenida en el paciente se ve influenciada por la vida media efectiva. Para cada modelo de cálculo utilizado en este trabajo supondremos que la distancia y tiempo de vida media efectiva son fijos. Sin embargo, se harán distintas suposiciones con respecto a la duración de la

exposición. Se realizarán las suposiciones 1-6 para cada modelo de cálculo.

- **Suposición 1**

El cuidador se encuentra todo el tiempo a un metro de distancia del paciente. Esta suposición tiene como objetivo conocer la dosis máxima que el cuidador puede llegar a recibir.

- **Suposición 2**

El cuidador se encuentra desde las 9:00am hasta las 12:00am con el paciente durante las primeras dos semanas y posterior a esto ya no habrá proximidad entre ellos que contribuya significativamente a la dosis equivalente que recibirá el cuidador.

- **Suposición 3**

El cuidador se encontrará siempre quince horas al día con el paciente. En los modelos de cálculo se utilizará un factor de ocupación de 0.625.

- **Suposición 4**

El cuidador se encontrará siempre diez horas al día con el paciente. En los modelos de cálculo se utilizará un factor de ocupación de 0.417.

- **Suposición 5**

El cuidador se encontrará 6 horas al día con el paciente durante todo el tiempo. Esta suposición es el tiempo recomendado por la NRC⁶.

Dicha recomendación se considera conservadora para los pacientes que no requieren cuidados especiales y que han recibido instrucciones al momento de su egreso, tales como mantener una distancia prudente con otra persona durante al menos dos días, dormir solo, tener un baño propio mínimo los primeros dos días y tomar bastante líquidos los primeros dos días.

En los modelos de cálculo se utilizará un factor de ocupación de 0.25.

- **Suposición 6**

El cuidador se encontrará 3 horas al día con el paciente durante todo el tiempo. Esta suposición es el tiempo recomendado por la NRC si el paciente no tiene interacción alguna con ninguna persona durante al menos los dos primeros días posteriores a su egreso, tiempo durante el cual toma suficientes líquidos⁶.

En los modelos de cálculo se ocupará un factor de ocupación de 0.125.

4. Resultados

En este trabajo se incluyeron 254 pacientes. La tabla 1 muestra el número de pacientes incluidos por actividad prescrita y sexo.

No. pacientes	Sexo Femenino	Sexo Masculino	Total
100 mCi	36	2	38
150 mCi	116	23	139
200 mCi	55	20	75
250 mCi	1	1	2
Total	208	46	254

Tabla 1. Número de pacientes incluidos por actividad prescrita y sexo

En el anexo D se encuentran las mediciones obtenidas para cada paciente, así como su edad, sexo y actividad prescrita. También se encuentran las dosis equivalentes estimadas con todos los modelos de cálculo y suposiciones.

4.1. Modelo A

Las figuras 7A-7F muestran las cajas de bigotes de las dosis equivalentes obtenidas utilizando el modelo A bajo las distintas suposiciones.

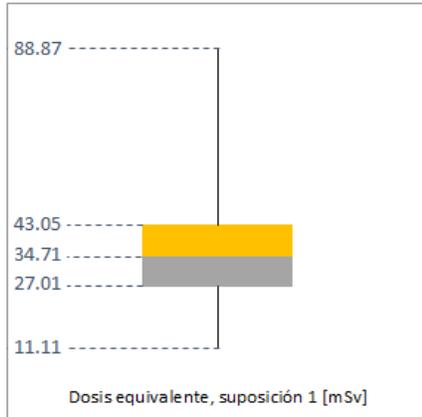


Figura 7A. Caja de bigotes. Modelo A, suposición 1

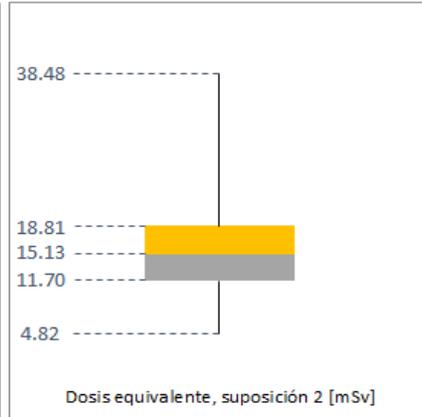


Figura 7B. Caja de bigotes. Modelo A, suposición 2

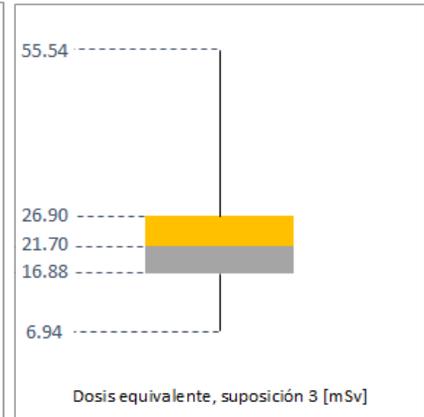


Figura 7C. Caja de bigotes. Modelo A, suposición 3

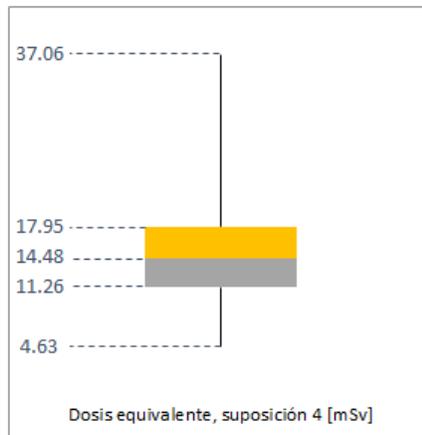


Figura 7D. Caja de bigotes. Modelo A, suposición 4

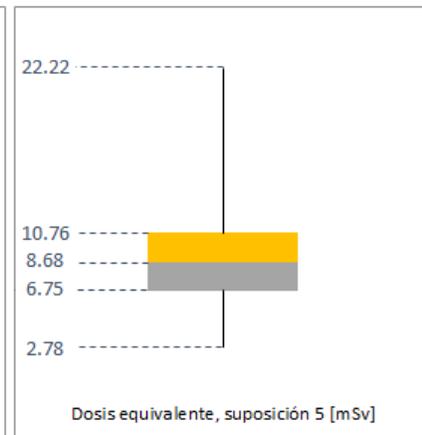


Figura 7E. Caja de bigotes. Modelo A, suposición 5

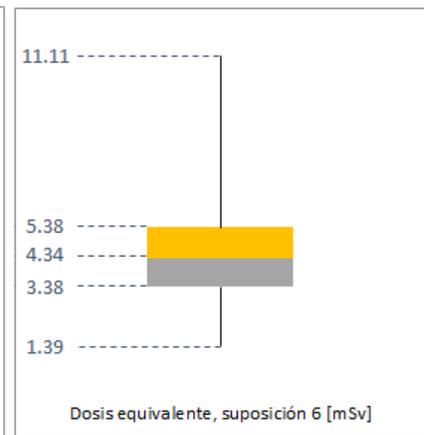


Figura 7F. Caja de bigotes. Modelo A, suposición 6

Como se puede observar, los valores más altos para la dosis equivalente que recibirán los cuidadores se obtienen cuando se utiliza la suposición 1, esto era de esperarse dado que es el caso donde se considera que el cuidador estará todo el tiempo en proximidad al paciente una vez que éste sea egresado.

Los valores más bajos se obtuvieron con la suposición 6, lo que se esperaba debido a que es la suposición que considera menor tiempo de interacción entre el familiar y el paciente.

También se puede notar que, las dosis equivalentes calculadas con la suposición 3 da valores significativamente mayores a la suposición 2. Estas suposiciones consideraron el mismo tiempo de interacción entre el cuidador y el paciente, sin embargo, la suposición 2 únicamente considera que el cuidador estará cerca del paciente las primeras dos semanas posteriores al egreso y en la suposición 3 se considera que la cercanía siempre existirá.

Los resultados obtenidos con las suposiciones 2 y 4 fueron similares; aunque ligeramente menores con la suposición 4. Esto se puede deber a qué, aunque es cierto que en la suposición 4 se consideró menor tiempo diario de interacción con el paciente, también se consideró que esta interacción es indefinida mientras que en la suposición 2 se considera que la interacción únicamente duro dos semanas.

Con las suposiciones 5 y 6 existen cuidadores que recibirían menos de 5 mSv. Sin embargo, con la suposición 5 esto se cumple en menos del 10% de los datos analizados, mientras que con la suposición 6, aproximadamente el 65% de las dosis equivalentes estimadas son iguales o menores a 5mSv.

Nótese que con la suposición 6, las dosis equivalentes calculadas que recibiría un cuidador son mayores a 5 mSv únicamente si la actividad administrada al paciente es mayor a 100 mCi.

Lo anterior indica que si se considerará el modelo A para la estimación de la dosis equivalente que una persona recibiría debido a un paciente administrado con ^{131}I , no es conveniente el egreso de dicho paciente a las 24 horas de la toma del material radiactivo. Se debe tener en consideración que el modelo A es bastante conservador.

4.2. Modelo B

Las figuras 8A-8F muestran las cajas de bigotes de las dosis equivalentes obtenidas utilizando el modelo B bajo las distintas suposiciones.

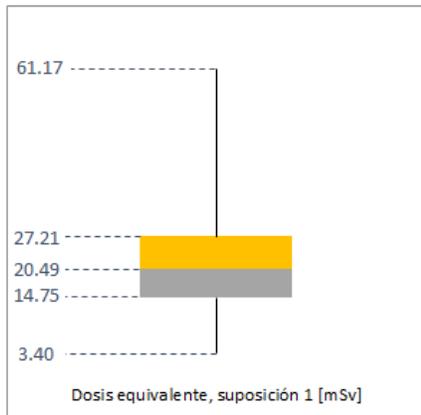


Figura 8A. Caja de bigotes. Modelo B, suposición 1

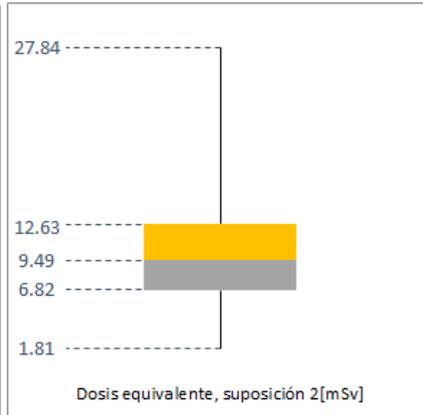


Figura 8B. Caja de bigotes. Modelo B, suposición 2

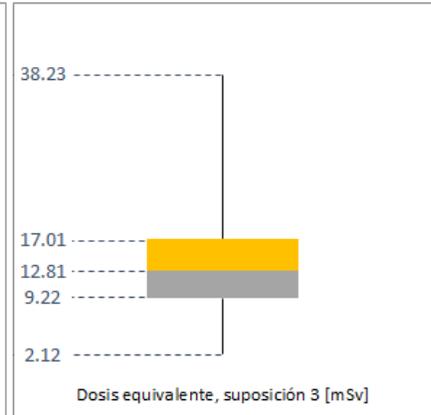


Figura 8C. Caja de bigotes. Modelo B, suposición 3

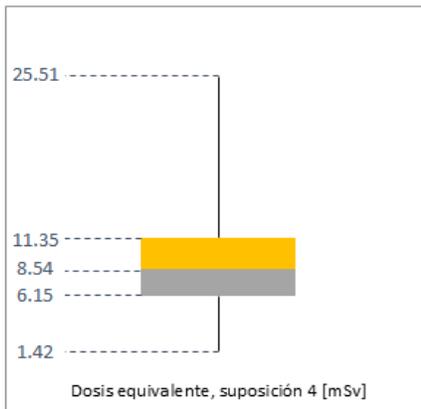


Figura 8D. Caja de bigotes. Modelo B, suposición 4

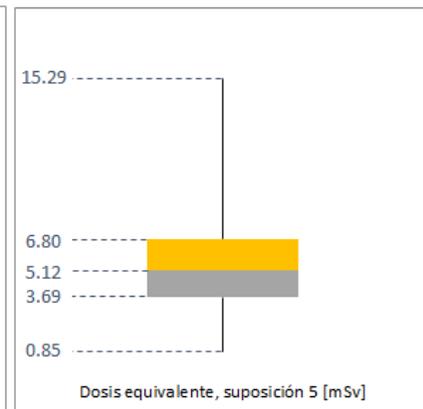


Figura 8E. Caja de bigotes. Modelo B, suposición 5

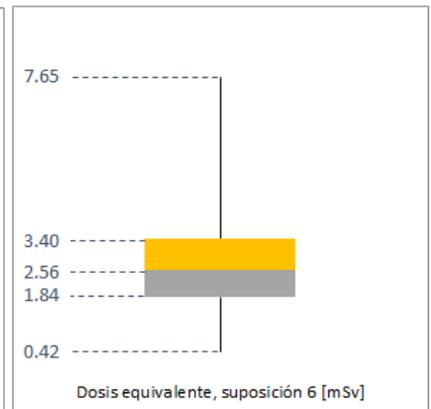


Figura 8F. Caja de bigotes. Modelo B, suposición 6

Los resultados mostraron la misma tendencia a los obtenidas con el modelo A. Sin embargo, en este caso, con la suposición 5 se obtuvieron dosis equivalentes menores o iguales a 5 mSv en casi la mitad de los datos analizados y casi el 93% con la suposición 6. Con la suposición 6 todos los pacientes con actividades prescritas de 100 mCi generaban dosis equivalentes en los cuidadores iguales o menores a 5 mSv, mientras que esto ocurrió en el 97% de los casos para la suposición 5.

Es decir, bajo este modelo de cálculo es conveniente considerar el egreso de los pacientes a las 24 horas de administración del ^{131}I solo si el tiempo de interacción diaria del paciente con su cuidador es relativamente bajo.

Se debe tener en cuenta que el modelo B considera las mediciones de las tasas de dosis equivalentes que los pacientes generaron el segundo día de hospitalización, lo cual es más realista, aunque una vez que un paciente es egresado no existe manera de saber si seguirá las indicaciones dadas, especialmente la toma de agua.

4.3. Modelo C

Las figuras 9A-9F muestran las cajas de bigotes de las dosis equivalentes obtenidas utilizando el modelo C bajo las distintas suposiciones.

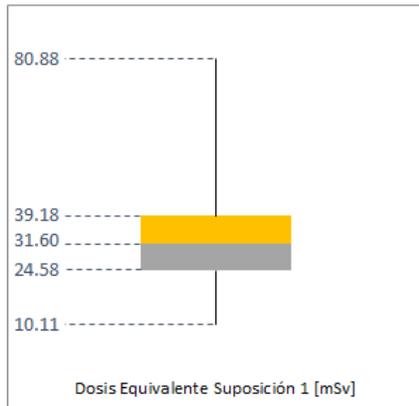


Figura 9A. Caja de bigotes. Modelo C, suposición 1

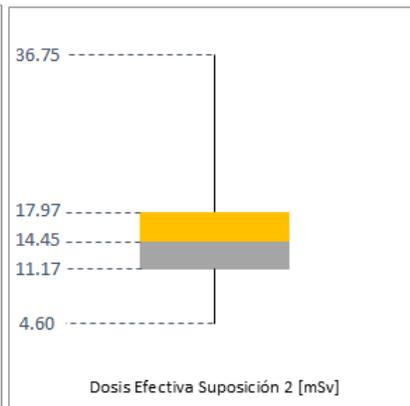


Figura 9B. Caja de bigotes. Modelo C, suposición 2

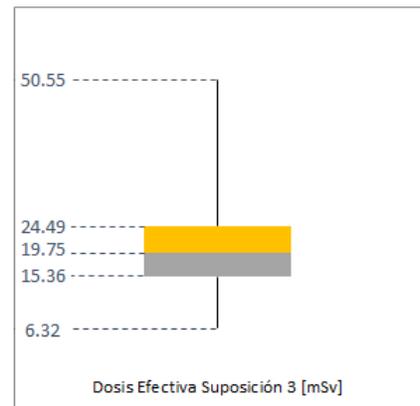


Figura 9C. Caja de bigotes. Modelo C, suposición 3

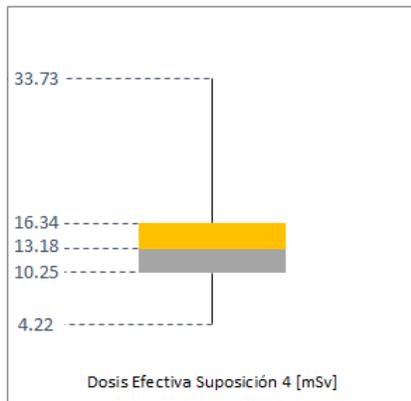


Figura 9D. Caja de bigotes. Modelo C, suposición 4

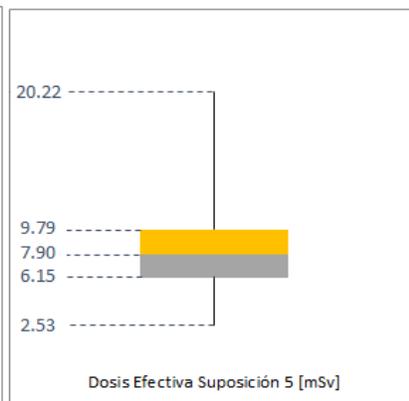


Figura 9E. Caja de bigotes. Modelo C, suposición 5

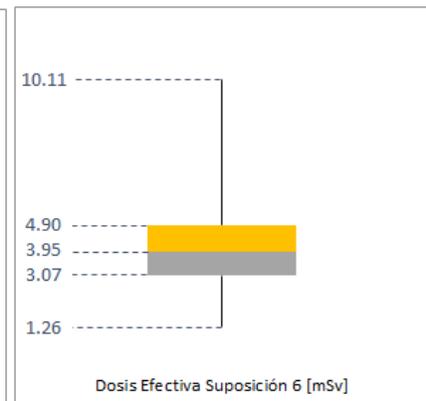


Figura 9F. Caja de bigotes. Modelo C, suposición 6

El comportamiento de las dosis equivalentes estimadas con el modelo C, considerando las distintas suposiciones es igual que los obtenidos al utilizar los modelos de cálculo A y B.

Con la suposición 6 más del 75% de las dosis equivalentes estimadas fueron menores o iguales a 5 mSv. Con esta suposición, en todos los casos con actividades prescritas de 100 mCi se obtuvieron dosis equivalentes menores a 5 mSv.

4.4. Modelo D

Las figuras 10A-10F muestran las cajas de bigotes de las dosis equivalentes obtenidas utilizando el modelo D bajo las distintas suposiciones.

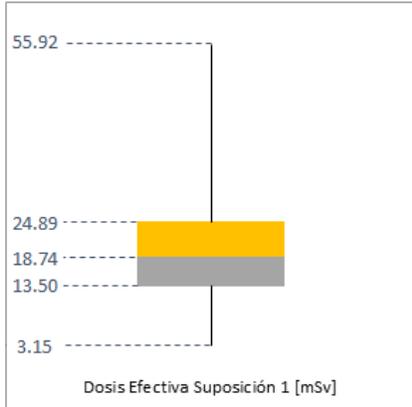


Figura 10A. Caja de bigotes. Modelo D, suposición 1

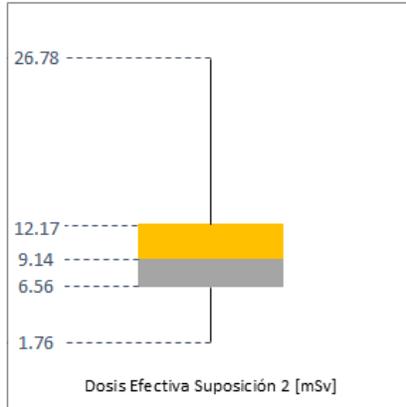


Figura 10B. Caja de bigotes. Modelo D, suposición 2

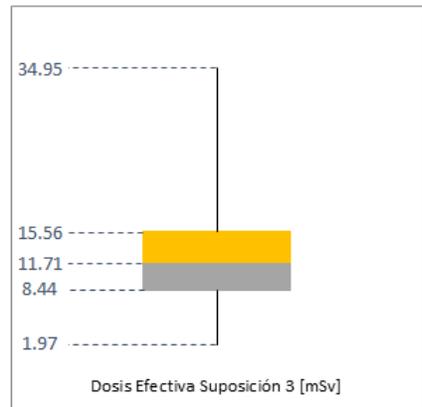


Figura 10C. Caja de bigotes. Modelo D, suposición 3

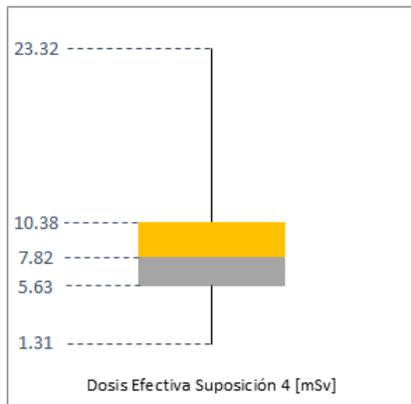


Figura 10D. Caja de bigotes. Modelo D, suposición 4

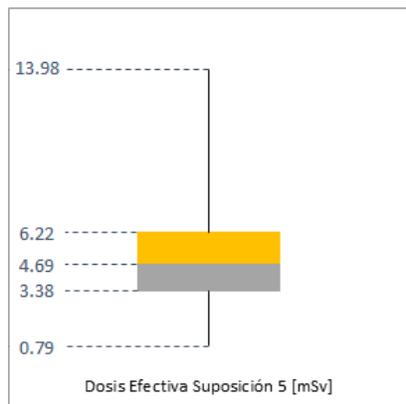


Figura 10E. Caja de bigotes. Modelo D, suposición 5

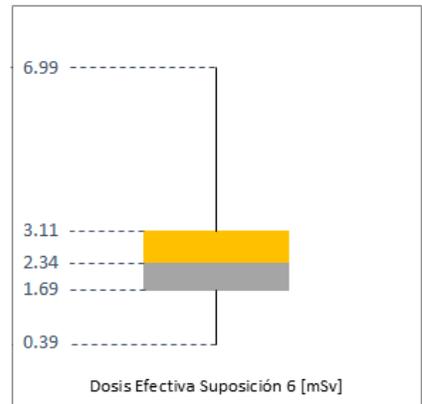


Figura 10F. Caja de bigotes. Modelo D, suposición 6

En el caso de la suposición 6, más del 95% de las dosis equivalentes estimadas son menores a 5mSv. Con la suposición 5 y actividad prescrita de 100 mCi, más del 96% de las dosis equivalentes estimadas son menores a 5mSv.

Por lo anterior, si se considera la vida media biológica la dosis equivalente se reduce significativamente; no así, considerando únicamente la vida media física. Con este modelo de cálculo es conveniente considerar el egreso del paciente siempre que la actividad prescrita sea 100 mCi y el tiempo de interacción diario entre un paciente y su cuidador sea menor a 6 horas

diarias o que el tiempo de interacción diario sea mínimo.

4.5. Modelo E

Las figuras 11A-11F muestran las cajas de bigotes de las dosis equivalentes obtenidas utilizando el modelo E bajo las distintas suposiciones.

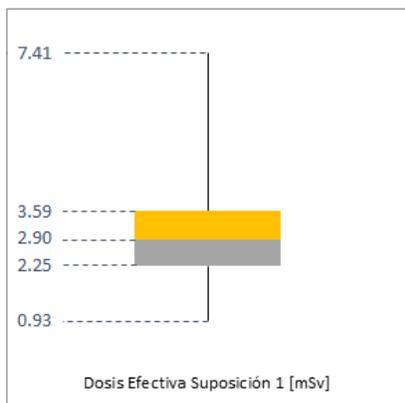


Figura 11A. Caja de bigotes. Modelo E, suposición 1

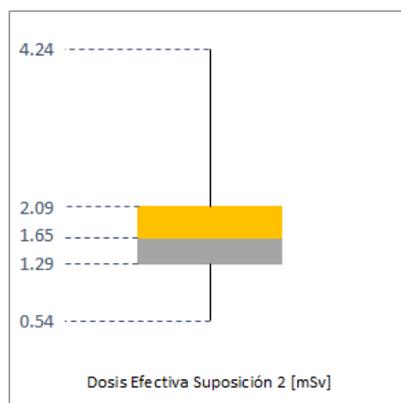


Figura 11B. Caja de bigotes. Modelo E, suposición 2

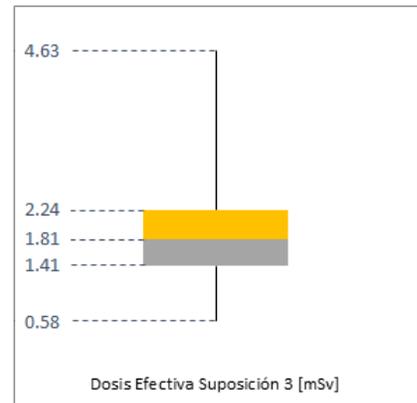


Figura 11C. Caja de bigotes. Modelo E, suposición 3

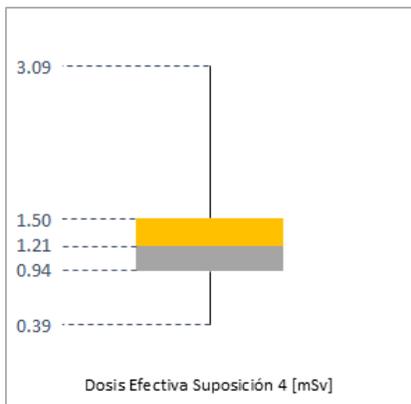


Figura 11D. Caja de bigotes. Modelo E, suposición 4

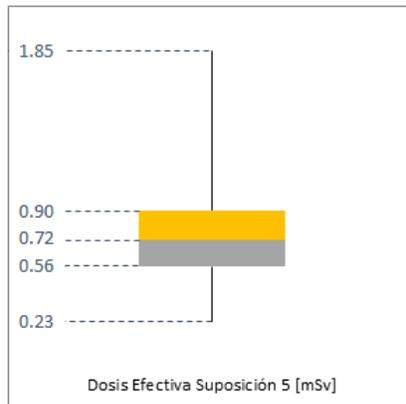


Figura 11E. Caja de bigotes. Modelo E, suposición 5

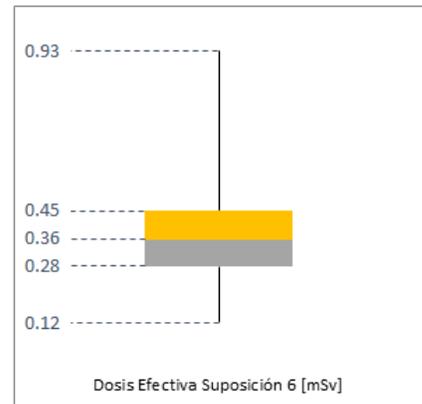


Figura 11F. Caja de bigotes. Modelo E, suposición 6

Si se utiliza el modelo de cálculo E, en todos los casos y con todas las suposiciones, las dosis equivalentes estimadas son menores a 5 mSv, excepto cuando se considera la suposición 1 que considera que todo el tiempo el cuidador esta con el paciente. Sin embargo, aún con la suposición 1, el 93% de las dosis equivalentes estimadas son menores a 5mSv.

Por lo anterior, con el modelo de cálculo E, es conveniente considerar el egreso de los pacientes administrados terapéuticamente con ^{131}I a las 24 horas posteriores a la administración del material radiactivo, independientemente de la actividad prescrita (menor o igual a 250 mCi).

4.6. Análisis comparativo entre modelos

En la tabla 2 se muestra el porcentaje de dosis equivalentes estimadas menores o iguales a 5 mSv para cada modelo de cálculo utilizado.

	Suposición 1	Suposición 2	Suposición 3	Suposición 4	Suposición 5	Suposición 6
Modelo A	0.00%	0.39%	0.00%	0.39%	9.45%	65.35%
Modelo B	0.41%	10.25%	2.05%	16.80%	47.54%	92.21%
Modelo C	0.00%	0.39%	0.00%	1.18%	11.42%	76.77%
Modelo D	0.41%	11.07%	3.28%	20.90%	55.33%	95.49%
Modelo E	92.91%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Tabla 2. Porcentaje de casos con dosis equivalentes estimadas menores o iguales a 5 mSv

Los porcentajes de las dosis equivalentes estimadas menores o iguales a 5 mSv para las distintas actividades prescritas se muestran en la tabla 3. Esta tabla únicamente considera los modelos de cálculo B, D y E; así como las suposiciones 4, 5 y 6 debido a que los demás casos tienen un porcentaje muy bajo.

	Suposición 4				Suposición 5				Suposición 6			
	100 mCi	150 mCi	200 mCi	250 mCi	100 mCi	150 mCi	200 mCi	250 mCi	100 mCi	150 mCi	200 mCi	250 mCi
Modelo B	43.24	10.61	15.07	0.00	78.37	46.21	35.62	0.00	100	94.70	82.19	100
Modelo D	45.95	15.15	19.18	0.00	78.37	55.30	45.21	0.00	100	96.97	90.41	100
Modelo E	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 3. Porcentaje de casos con dosis equivalentes estimadas menores o iguales a 5 mSv, por actividad prescrita

Al comparar los resultados mostrados en la tabla 3 se observa que la dosis equivalente disminuye de manera significativa al considerar la vida media biológica.

De los modelos B, D y E, el modelo B es el más conservador. Por tanto, si se garantiza que la dosis equivalente que recibirá cualquier cuidador es menor o igual a 5 mSv utilizando el modelo de cálculo B, esto se cumplirá para los modelos de cálculo D y E.

Con la finalidad de predecir bajo qué condiciones, conocidas previas a la hospitalización del paciente, se garantiza el cumplimiento del RGSR si el paciente es egresado a las 24 horas posteriores a la administración del yodo, se verificó si las variables “edad, sexo y actividad prescrita” tienen poder discriminante al determinar si la dosis equivalente será mayor o no a 5 mSv. Se concluyó que únicamente la variable “actividad prescrita” lo tiene. Las figuras 12 y 13 muestran los resultados obtenidos mediante el software SPSS que respaldan lo mencionado antes.

Pruebas de igualdad de las medias de los grupos

	Lambda de Wilks	F	gl1	gl2	Sig.
Edad	1.000	.000	1	242	.994
Actividad prescrita	.951	12.446	1	242	.001
Sexo	1.000	.022	1	242	.883

Figura 12. Lambda de Wilks. Modelo D, suposición 5

Pruebas de igualdad de las medias de los grupos

	Lambda de Wilks	F	gl1	gl2	Sig.
Edad	.994	1.464	1	242	.227
Actividad prescrita	.964	9.074	1	242	.003
Sexo	.996	.984	1	242	.322

Figura 13. Lambda de Wilks. Modelo B, suposición 4

Las figuras 14A y 14B muestran que existe correlación entre la actividad prescrita y la dosis equivalente estimada para los modelos B y D con las suposiciones 4 y 5, respectivamente.

Correlaciones

		Dosis equivalente	Edad	Actividad prescrita	Sexo
Dosis equivalente	Correlación de Pearson	1	-.019	.280**	.060
	Sig. (bilateral)		.774	.000	.349
	N	244	244	244	244
Edad	Correlación de Pearson	-.019	1	.112	.016
	Sig. (bilateral)	.774		.082	.799
	N	244	244	244	244
Actividad prescrita	Correlación de Pearson	.280**	.112	1	.193**
	Sig. (bilateral)	.000	.082		.002
	N	244	244	244	244
Sexo	Correlación de Pearson	.060	.016	.193**	1
	Sig. (bilateral)	.349	.799	.002	
	N	244	244	244	244

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Figura 14A. Correlaciones. Modelo B, suposición 4

Correlaciones

		Dosis equivalente	Edad	Actividad prescrita	Sexo
Dosis equivalente	Correlación de Pearson	1	-.018	.280**	.060
	Sig. (bilateral)		.776	.000	.350
	N	244	244	244	244
Edad	Correlación de Pearson	-.018	1	.112	.016
	Sig. (bilateral)	.776		.082	.799
	N	244	244	244	244
Actividad prescrita	Correlación de Pearson	.280**	.112	1	.193**
	Sig. (bilateral)	.000	.082		.002
	N	244	244	244	244
Sexo	Correlación de Pearson	.060	.016	.193**	1
	Sig. (bilateral)	.350	.799	.002	
	N	244	244	244	244

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Figura 14B. Correlaciones. Modelo D, suposición 5

De las correlaciones mostradas anteriormente se observa que, en ambos casos, éstas son similares y que la actividad prescrita tiene una ligera correlación con el sexo.

Por lo anterior, se realizó una regresión lineal para predecir la dosis equivalente que recibirá un cuidador si el egreso del paciente se realiza el día posterior a su ingreso. Sin embargo, como se muestra en las figuras 15A-15D, el utilizar solamente la actividad prescrita o la actividad prescrita y la edad no es suficiente para predecir adecuadamente la dosis equivalente utilizando la regresión.

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.280 ^a	.078	.074	4.25475

a. Variables predictoras: (Constante), Actividad prescrita

Figura 15A. R utilizando actividad prescrita. Modelo B, suposición 4

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.280 ^a	.079	.075	2.32767

a. Variables predictoras: (Constante), Actividad prescrita

Figura 15B. R utilizando actividad prescrita. Modelo D, suposición 5

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.284 ^a	.081	.073	4.25777

a. Variables predictoras: (Constante), Edad, Actividad prescrita

Figura 15C. R utilizando actividad prescrita y edad. Modelo B, suposición 4

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.285 ^a	.081	.073	2.329

a. Variables predictoras: (Constante), Actividad prescrita, Edad

Figura 15D. R utilizando actividad prescrita y edad. Modelo D, suposición 5

Debido a lo anterior, y a pesar de la correlación que existe entre el sexo y la actividad prescrita, se decidió realizar una regresión lineal considerando el sexo del paciente. Como muestran las figuras 16A-16D el utilizar la actividad prescrita, la edad y el sexo del paciente no son suficientes para predecir adecuadamente la dosis equivalente mediante una regresión lineal.

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.285 ^a	.081	.070	2.33415

a. Variables predictoras: (Constante), Sexo, Edad, Actividad prescrita

Figura 16A. R utilizando actividad prescrita, sexo y edad. Modelo D, suposición 5

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.284 ^a	.081	.069	4.26655

a. Variables predictoras: (Constante), Edad, Sexo, Actividad prescrita

Figura 16B. R utilizando actividad prescrita, sexo y edad. Modelo B, suposición 4

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.280 ^a	.078	.071	4.26348

a. Variables predictoras: (Constante), Sexo, Actividad prescrita

Figura 16C. R utilizando actividad prescrita y sexo. Modelo B, suposición 4

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.280 ^a	.079	.071	2.33245

a. Variables predictoras: (Constante), Sexo, Actividad prescrita

Figura 16C. R utilizando actividad prescrita y sexo. Modelo D, suposición 5

Se procedió a realizar árboles de clasificación y regresión (CRT) para las dosis equivalentes estimadas con los modelos B y D, suposición 4 y 5, respectivamente. Las figuras 17A-17B muestran que los resultados adquiridos en ambos casos respaldan lo obtenido anteriormente. Es decir, la actividad prescrita es la principal variable para determinar si el paciente puede egresar 24 horas posteriores a la administración del ¹³¹I.

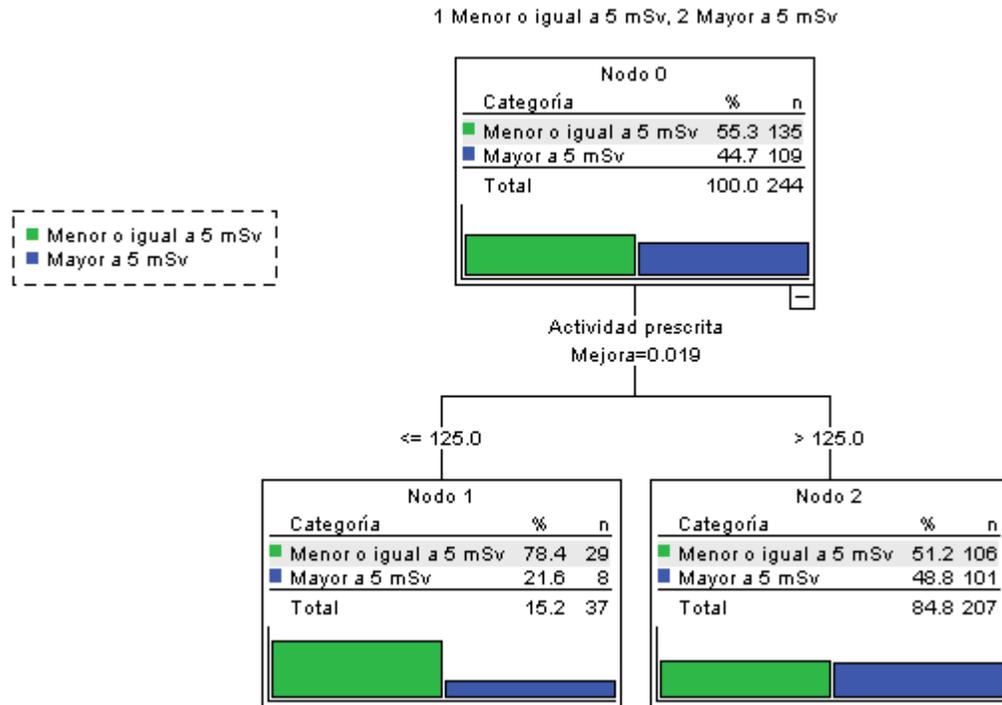


Figura 17A. CRT. Modelo D, suposición 5

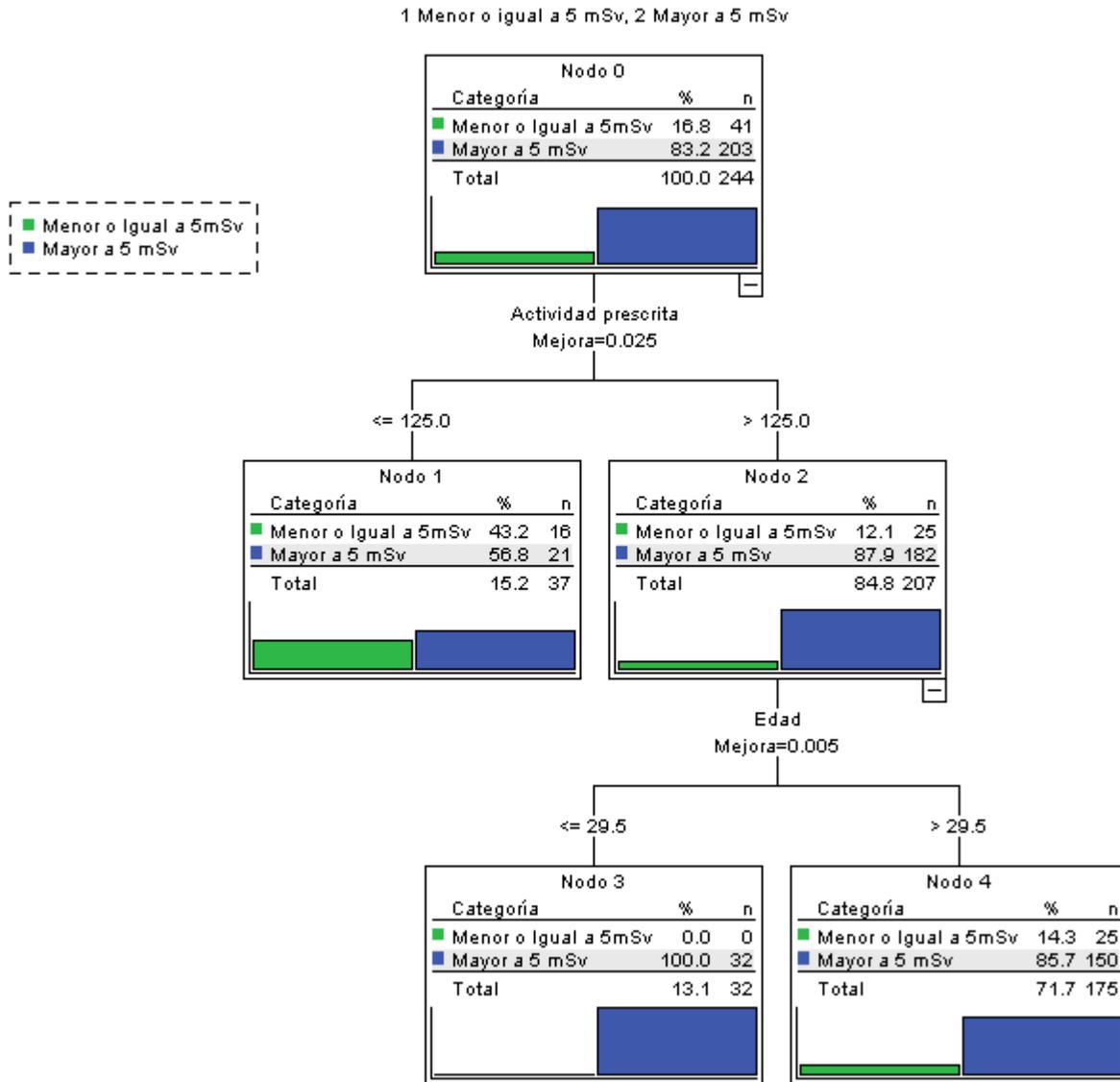


Figura 17B. CRT. Modelo B, suposición 4

Aunque en ambos casos se utilizó el mismo criterio para abrir los nodos, nótese que con el modelo B suposición 4, las variables independientes son la actividad prescrita y la edad; mientras que con el modelo D suposición 5, únicamente lo es la actividad prescrita.

También se observa que, en el caso del modelo B suposición 4, si la actividad prescrita es mayor a 100 mCi y la edad mayor a 30 años entonces son mayores las probabilidades de que la dosis equivalente que reciba el cuidador del paciente supere los 5 mSv.

La tabla 4 muestra el porcentaje de dosis equivalentes estimadas menores o iguales a 5 mSv con actividades prescritas de 100 mCi, clasificadas por edad.

	Suposición 4				Suposición 5				Suposición 6			
	Edad [16 - 35)	Edad [35 - 48)	Edad [48 - 60)	Edad [60 - 86)	Edad [16 - 35)	Edad [35 - 48)	Edad [48 - 60)	Edad [60 - 86)	Edad [16 - 35)	Edad [35 - 48)	Edad [48 - 60)	Edad [60 - 86)
Modelo B	71.43	81.82	100	63.64	28.57	45.45	50.00	45.45	100	100	100	100
Modelo D	42.86	45.45	50.00	45.45	71.43	81.82	100	63.64	100	100	100	100
Modelo E	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 4. Porcentaje de casos con dosis equivalentes menores o iguales a 5 mSv y actividad prescrita de 100 mCi, por edad

5. Discusión y conclusiones

En este trabajo sólo se consideró irradiación externa por lo que es sumamente importante tener precauciones para evitar contaminación interna, así como tener en cuenta que ésta no se encuentra contemplada en los cálculos. Las dosis equivalentes reportadas en este trabajo suponen que la única fuente de radiación que contribuiría a la dosis del cuidador es el paciente.

Como se mostró anteriormente es de suma importancia el modelo de cálculo utilizado para estimar la dosis equivalente que cualquier persona recibirá debido a la interacción con el paciente egresado, por lo que es recomendable entrevistar al paciente y a su cuidador previamente a la aplicación de la terapia, para determinar qué modelo y suposición se aplica mejor.

También se debe contemplar que todas las estimaciones realizadas en este trabajo consideraron una distancia de un metro entre el paciente egresado y su cuidador, por lo que estos resultados no son aplicables para estimar la dosis equivalente que puede recibir un bebé o cualquier persona que se encuentre en contacto directo con el paciente.

Los resultados obtenidos garantizan que el egreso de un paciente que recibió la terapia con ^{131}I con actividad prescrita menor o igual a 250 mCi, a las 24 horas de administrado el material radiactivo, implica una dosis equivalente menor o igual a 5 mSv en cualquier persona siempre que la interacción diaria que exista entre dicha persona y el paciente no sea mayor a 15 horas y se considere un modelo de cálculo compartimental. Dicho modelo utiliza valores promedios reportados en la literatura que son considerados conservadores para la mayoría de los casos; sin embargo, en algunos casos podría subestimar la dosis equivalente.

También se mostró que, si se utiliza un modelo más conservador, la dosis equivalente que un paciente egresado generó en su cuidador es poco probable que supere los 5 mSv, siempre que la actividad prescrita para el paciente sea 100 mCi y que el cuidador no se encuentre con el paciente más de seis horas al día.

Aunado a lo anterior, se mostró que la dosis equivalente que recibirá el cuidador se reduce significativamente si este se encuentra en proximidad al paciente sólo unos días. Por ejemplo, las primeras dos semanas.

Aunque no fue posible predecir con valores conocidos previos a la administración del yodo, la dosis equivalente que recibirá un individuo debido a la interacción con un paciente egresado a las 24 horas, si se concluye que la actividad prescrita influye significativamente en la dosis equivalente que recibirá el cuidador. Sin embargo, en casos especiales en los que el cuidador se encuentre en proximidad al paciente egresado menos de tres horas diarias, la dosis equivalente será menor o igual a 5 mSv independientemente de la actividad prescrita al paciente.

Finalmente, se debe tener en consideración que los límites establecidos en el Reglamento General de Seguridad Radiológica son anuales y que dicho reglamento limita aún más la dosis equivalente para personas que reciban los 5 mSv, o aproximadamente esta, en un solo evento.

Se propone el egreso del paciente a las 24 horas de la administración del material radiactivo si:

1. El paciente es considerado autosuficiente y puede limitarse la cercanía a cualquier persona a máximo tres horas diarias las primeras dos semanas a una distancia no menor a un metro, siempre y cuando el paciente cuente con baño propio durante el tiempo mencionado.
2. El paciente tiene una actividad prescrita de 100 mCi, siempre y cuando el paciente cuente con baño propio durante al menos 15 días.

Anexo A. Magnitudes dosimétricas

Radiación directamente ionizante

Partículas cargadas rápidas que entregan su energía directamente a la materia, mediante interacciones de fuerza coulombiana a lo largo de su trayectoria²⁸. Ejemplos de radiación directamente ionizante son: partículas α , β^+ , β^- y electrones rápidos.

El ^{131}I emite partículas β^- , por lo que emite radiación directamente ionizante²³.

Radiación indirectamente ionizante

Partículas sin carga, las cuales transfieren su energía a partículas cargadas de la materia. Las partículas cargadas rápidas a las que le transfieren su energía son las que entregan la energía a la materia²⁸. Ejemplos de radiación indirectamente ionizante son rayos X, rayos gamma y neutrones.

El yodo 131 decae a $^{131}\text{Xe}^*$, el cual emite rayos gamma para decaer a ^{131}Xe , por lo que se tiene radiación indirectamente ionizante²³.

Perdidas radiactivas

Es la conversión de la energía cinética de partículas cargadas a energía de fotones, ya sea mediante producción de bremsstrahlung o por aniquilación en vuelo, en el último caso únicamente la energía que tenía el positrón al instante de la aniquilación se considera pérdida radiactiva²⁸.

Fluencia de energía

Consideremos una esfera S , de volumen infinitesimal dV , con un área transversal da , masa dm , centrada en un punto P . Supongamos que dicha esfera se encuentra en un campo de radiación ionizante como se visualiza en la figura 18.

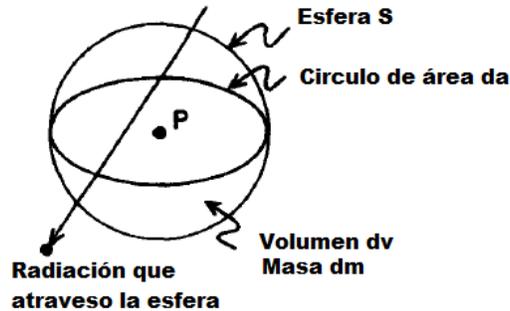


Figura 18. Representación de esfera S . Imagen modificada de ²⁸

Sea N_e el valor esperado del número de rayos (fotones o partículas) que golpean la esfera en un intervalo de tiempo dado (es decir, el valor esperado del número de rayos detectados por medición).

Sea R el valor esperado de la energía total (exclusivamente energía en reposo) llevada por los N_e rayos. La fluencia de energía ψ se define como²⁸

$$\psi = \frac{dR}{da}$$

Generalmente, la fluencia de energía se expresa en $J m^{-2}$.

Exposición

Esta magnitud dosimétrica se define únicamente para fotones (excluyendo los generados por pérdidas radiactivas) cuando el medio de interacción es aire.

Consideremos la esfera S descrita anteriormente. Dicha esfera se encuentra en un campo de radiación ionizante donde el medio es aire.

Sea dQ el valor absoluto de la carga total de todos los iones de un signo producidos en aire cuando los electrones liberados por los fotones son completamente parados en la esfera.

La exposición X se define como²⁸

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Su unidad es el Roentgen (R)

$$1 R = 2.580 \times 10^{-4} C/kg$$

Kerma

Esta magnitud dosimétrica se define para radiación indirectamente ionizante o para una fuente de radiación ionizante distribuida dentro de un medio absorbente.

La energía transferida ϵ_{tr} en un volumen V se define como:

$$\epsilon_{tr} = (R_{in})_u - (R_{out})_u^{nonr} + \sum Q$$

donde:

$(R_{in})_u$ es la energía radiante (energía proveniente de partículas que es emitida, transferida o recibida) proveniente de partículas sin carga (fotones y neutrones) que entran en V .

$(R_{out})_u^{nonr}$ es la energía radiante proveniente de las partículas sin carga que dejan V , excepto, las partículas originadas debido a pérdidas radiactivas, si estas pérdidas se originaron en V .

$\sum Q$ es la energía neta derivada de la masa en reposo que se encuentra en V ($m \rightarrow E$ positiva y $E \rightarrow m$ negativa).

Por lo anterior, podemos notar que la energía transferida es la energía cinética que reciben las partículas cargadas en el volumen V debido a partículas sin carga y a pérdidas radiactivas. Es decir, no se considera la energía cinética pasada de una partícula cargada a otra.

Consideremos la esfera S mostrada en la figura 12, el kerma K en el punto P se define como:

$$K = \frac{d(\epsilon_{tr})_e}{dm} \equiv \frac{d \epsilon_{tr}}{dm}$$

donde:

$(\epsilon_{tr})_e$ es el valor esperado de la energía transferida.

La unidad del kerma es el Gy

$$1 Gy = 1 J/kg$$

Ahora, el kerma es el valor esperado de la energía transferida a las partículas cargadas por unidad de masa en un punto de interés. Esta energía se puede gastar de dos formas: mediante interacciones de colisión o mediante interacciones radiactivas.

Las interacciones de colisión son las que tienen lugar con los electrones atómicos del material absorbente, por lo que generan ionización y excitación. En este caso, la energía que se transfirió a las partículas cargadas se queda cerca o en la trayectoria de estas.

Las interacciones radiactivas son las que tienen lugar en el campo de fuerza del núcleo atómico, por lo que dichas interacciones pueden generar radiación bremsstrahlung o, debido a la energía cinética de un positrón al instante de una aniquilación en vuelo. En este caso, la energía que se transfirió a las partículas cargadas se lleva lejos de la trayectoria de estas.

El kerma está constituido por dos componentes: kerma de colisión K_c y kerma radiactivo K_r . La primera componente es la energía transferida por unidad de masa que es gastada en interacciones de colisión y la segunda componente es la energía transferida que es gastada en interacciones radiactivas.

La energía transferida neta ϵ_{tr}^n en un volumen V se define como:

$$\epsilon_{tr}^n = (R_{in})_u - (R_{out})_u^{nonr} - R_u^r + \sum Q = \epsilon_{tr} - R_u^r$$

donde:

R_u^r es la energía radiante emitida como pérdida radiativa por partículas cargadas originadas en V .

El kerma de colisión se define como²⁸:

$$K_c = \frac{d \epsilon_{tr}^n}{dm}$$

Relación entre kerma y fluencia de energía

Para fotones monoenergéticos, se cumple la siguiente igualdad:

$$K_c = \psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Z}$$

donde $\left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Z}$ es el coeficiente de absorción másico y ψ es la fluencia de energía.

También se cumple:

$$K = \psi \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_{E,Z}$$

donde $\left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_{E,Z}$ es el coeficiente de transferencia másico.

Energía media gastada en un gas por par de ión formado

Consideremos la esfera S descrita anteriormente y supongamos que se encuentra en un gas con un medio de radiación ionizante debido a rayos X o rayos gamma. Esta radiación transferirá su energía a electrones por lo que se crearán electrones rápidos.

La energía media gastada en un gas por par de ión formado, \bar{W} , se define como la energía cinética total gastada por todos los electrones en interacciones de colisión entre el número de pares de iones generados por todos los electrones debido a interacciones de colisión.

\bar{W} no considera pérdidas radiactivas. Sin embargo, la exposición tampoco lo considera.

Generalmente \bar{W} se expresa en unidades de eV por par ión (eV/pi). El valor de este factor para aire seco es 33.97 eV/pi²⁸.

Relación de exposición con kerma

La exposición en un punto debido a una fluencia de energía ψ de fotones monoenergéticos de energía E está dada por²⁸

$$X = \psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,aire} \left(\frac{e}{\bar{W}} \right)$$

Ahora,

$$\frac{e}{\bar{W}_{aire}} = \frac{1.602 \times 10^{-19} \text{ C/electron}}{33.97 \text{ eV/pi (o electron)}} \times \frac{eV}{1.602 \times 10^{-19} \text{ J}} = \frac{C}{33.97 \text{ J}}$$

y

$$K_c = \psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Z}$$

Por lo que,

$$X = \psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,aire} \left(\frac{e}{\bar{W}_{aire}} \right) = (K_c)_{aire} \left(\frac{e}{\bar{W}_{aire}} \right) = \frac{(K_c)_{aire}}{33.97 \text{ J/C}}$$

donde

ψ esta expresado en J/m^2 , $\left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,aire}$ en m^2/kg y $(K_c)_{aire}$ en J/kg .

Dosis absorbida

La energía impartida ϵ por la radiación ionizante a la materia de masa m en un volumen V se define como

$$\epsilon = (R_{in})_u - (R_{out})_u + (R_{in})_c - (R_{out})_c + \sum Q$$

donde:

$(R_{in})_u$ es la energía radiante de las partículas sin carga que entran en V

$(R_{in})_c$ es la energía radiante de las partículas cargadas que entran en V

$(R_{out})_u$ es la energía radiante de todas las partículas sin carga que dejan V

$(R_{out})_c$ es la energía radiante de las partículas cargadas que dejan V

Consideremos la esfera S , la dosis absorbida D en cualquier punto P en S se define como

$$D = \frac{d\epsilon}{dm}$$

donde ϵ es el valor esperado de la energía impartida en S durante algún intervalo de tiempo²⁸.

La unidad de dosis absorbida es el Gy .

Equilibrio de partícula cargada

Se dice que existe equilibrio de partícula cargada para un volumen v si cada partícula cargada de un cierto tipo y energía que deja el volumen es reemplazada por una partícula idéntica, en términos de valor esperado²⁸.

Relación entre dosis absorbida y exposición

En caso de equilibrio de partícula cargada se cumple la siguiente igualdad para rayos X y gamma:

$$D_{aire} = (K_c)_{aire}$$

como

$$(K_c)_{aire} = X \left(\frac{\bar{W}}{e} \right)_{aire}$$

Entonces se cumple que, en caso de equilibrio de partícula cargada, la dosis absorbida y la exposición están relacionadas mediante²⁸:

$$D_{aire} = X \left(\frac{\bar{W}}{e} \right)_{aire}$$

Ahora bien, si lo que nos interesa es estimar la dosis absorbida en tejido a partir de la medición de la exposición, se utiliza que

$$K_c = \psi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{E,Z}$$

Por lo que:

$$\frac{(K_c)_{tejido}}{(K_c)_{aire}} = \frac{\psi\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{tejido}}{\psi\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{aire}} = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{tejido}}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{aire}}$$

Y como suponemos equilibrio de partícula cargada, se cumple:

$$D_{tejido} = (K_c)_{tejido}$$

Entonces:

$$\frac{D_{tejido}}{(K_c)_{aire}} = \frac{(K_c)_{tejido}}{(K_c)_{aire}} = \frac{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{tejido}}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{aire}}$$

Finalmente²⁸,

$$D_{tejido} = \frac{(K_c)_{aire} \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{tejido}}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{aire}}$$

$$D_{tejido} = \frac{X \left(\frac{\bar{W}}{e}\right)_{aire} \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{tejido}}{\left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_{aire}}$$

Equivalente de dosis

El equivalente de dosis en un punto se define como^{7,13}:

$$H \equiv DQ$$

donde:

D es la dosis absorbida

Q es el factor de calidad para la radiación existente en el punto de interés²⁹

La unidad del equivalente de dosis es Sv .

$$1 Sv = 1 J/kg$$

Dosis equivalente

La dosis equivalente, H , en un órgano se define como^{7,28,30}

$$H \equiv \sum_R D_{T,R} Q_R N_R$$

donde :

$D_{T,R}$ es la dosis absorbida media en el órgano T de interés debido al tipo de radiación R

Q_R es el factor de calidad debido al tipo de radiación R . En caso de fotones tiene un valor de 1.

N es el producto de otros factores (actualmente tiene un valor de 1)

La unidad de la dosis equivalente es el Sv .

Actualmente, se utiliza la magnitud dosis equivalente en lugar de la magnitud equivalente de dosis⁷. Para fines de éste trabajo, se supuso que los valores eran numéricamente iguales.

Equivalente de dosis efectivo

Se define como⁵:

$$H_E = \sum_T W_T H_T$$

donde

W_T es un factor de ponderación para considerar el daño biológico del órgano T ²⁹ y,

H_T es el equivalente de dosis en el órgano T

La unidad de la dosis efectiva es el Sv .

Dosis efectiva

Se define como²⁸:

$$E = \sum_T W_T H_T$$

donde

W_T es un factor de ponderación para considerar el daño biológico del órgano T y,

H_T es la dosis equivalente en el órgano T

La unidad de la dosis efectiva es el Sv .

Para fines de éste trabajo, se supuso que los valores de las magnitudes “dosis efectiva” y “equivalente de dosis efectivo” eran numéricamente iguales.

Anexo B. Esquema de decaimiento del ^{131}I

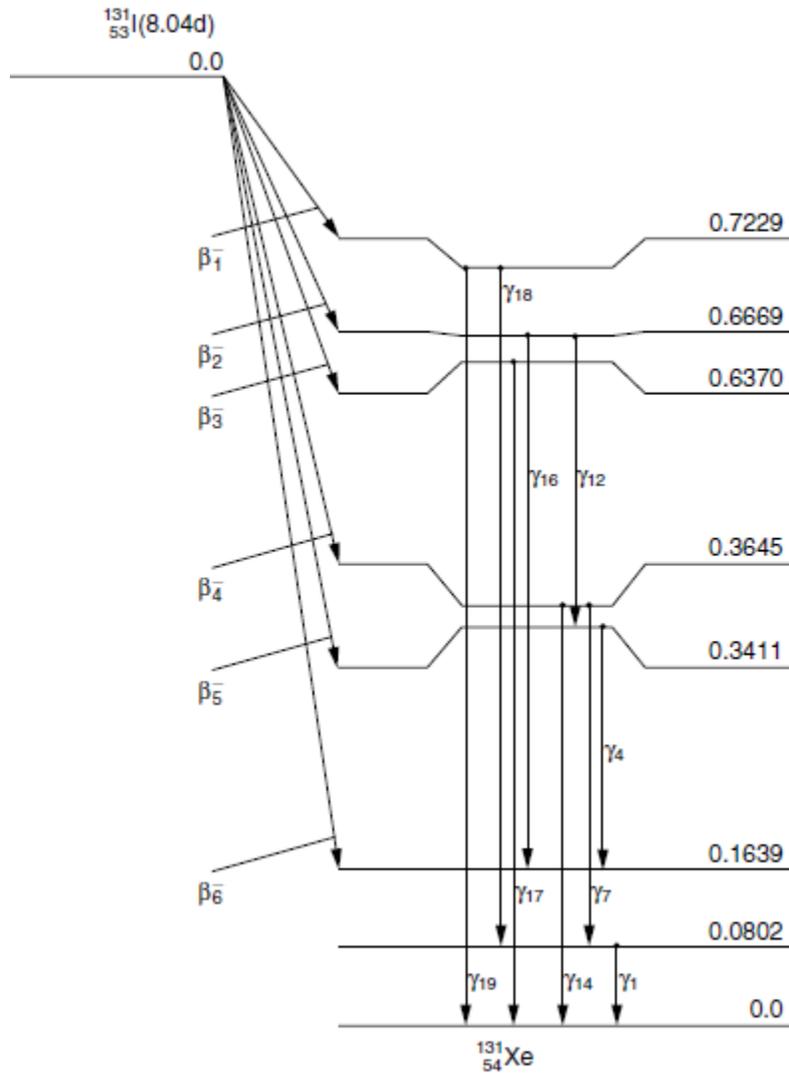


Figura 14. Esquema de decaimiento del ^{131}I . Imagen modificada de²².

Anexo C. Deducción de las ecuaciones

Ecuación (1)

Consideremos una fuente puntual con una actividad conocida, A , que solo emite radiación gamma. La tasa de exposición producida a una unidad de distancia esta dada mediante

$$\dot{X} = \frac{\Gamma A}{d^2}$$

donde

\dot{X} es la tasa de exposición que produce dicha fuente a una unidad de distancia,

Γ es la constante específica gamma, la cual es única para cada radionúclido,

A es la actividad de la fuente y,

d es la distancia a la cual la tasa de exposición es calculada

Ahora bien, a partir de la tasa de exposición se puede determinar la tasa de dosis absorbida en tejido mediante la siguiente consideración

$$\dot{X} \times f = \dot{D}$$

El factor f depende del radionúclido y se encuentra publicado²⁵, para obtener este valor se calcula la relación de poderes de frenado tejido – aire considerando la energía promedio.

$$\dot{D} = \frac{\Gamma A f}{d^2}$$

En el caso del ^{131}I , el valor de Γ^{25} es $2.2 \frac{\text{R cm}^2}{\text{mCi h}}$.

Por lo que se tiene:

$$2.2 \frac{R \text{ cm}^2}{\text{mCi h}} = 2.2 \frac{R \text{ cm}^2}{\text{mCi h}} \times \frac{\text{mCi}}{37 \text{ MBq}} \times \frac{10^{-4} \text{ m}^2}{\text{cm}^2} \times \frac{0.963 \text{ cGy}}{R} \times \frac{10^{-2} \text{ Gy}}{\text{cGy}}$$

$$= 5.72595 \times 10^{-5} \frac{\text{mGy m}^2}{\text{MBq h}}$$

La fuente isotrópica emite radiación gamma, entonces la dosis absorbida es numéricamente igual a la dosis equivalente.

Es decir,

$$\dot{H} = \frac{A \times 5.72595 \times 10^{-5} \frac{\text{mSv m}^2}{\text{MBq h}}}{d^2}$$

Si deseamos expresar la actividad en *mCi* y consideramos $d = 1 \text{ m}$ obtenemos

$$\dot{H} = A \times 0.0021186 \frac{\text{mSv}}{\text{mCi h}}$$

La actividad es una función del tiempo por lo que si consideramos un período de tiempo $[t_1, t_2]$, la actividad acumulada en ese tiempo es

$$A_0 \int_{t_1}^{t_2} e^{-\lambda_{ef} t} dt = A_0 \left(\frac{e^{-\lambda_{ef} t_1}}{\lambda_{ef}} - \frac{e^{-\lambda_{ef} t_2}}{\lambda_{ef}} \right)$$

donde

A_0 es la actividad inicial de la fuente

Por lo que, la dosis absorbida que recibiría una persona a un metro de la fuente en el intervalo de tiempo $[t_1, t_2]$ está dada por:

$$H = \frac{A_0 \times 0.0021186 \times T_{ef}}{\ln 2} (e^{-\lambda_{ef}t_1} - e^{-\lambda_{ef}t_2})$$

donde

A_0 es la actividad inicial de la fuente

T_{ef} es el tiempo de vida media efectiva, expresado en h y,

λ_{ef} es la constante de decaimiento que tiene un valor de $\frac{\ln 2}{T_{ef}}$, expresada en hr^{-1}

Ecuación (2)

La actividad acumulada \tilde{A} en el paciente se define como

$$\tilde{A} = A_0 \int_0^{\infty} e^{-\lambda_{ef}t} dt = \frac{A_0}{\lambda_{ef}}$$

Si consideramos una fuente puntual que emite radiación gamma con una actividad inicial, A_0 , entonces la dosis equivalente que genera dicha fuente a un metro de distancia en una persona durante todo el tiempo está dada por

$$H = \frac{\Gamma A_0}{d^2 \lambda_{ef}}$$

En el caso del ^{131}I tenemos

$$H = \frac{5.72595 \times 10^{-5} A_0}{\lambda_{ef}} \frac{mSv}{MBq h} = \frac{0.0021186 A_0}{\lambda_{ef}} \frac{mSv}{mCi h}$$

Ecuación (4)

Dado que, si tenemos una fuente puntual de yodo 131 con actividad, A , la tasa de dosis equivalente a un metro está dada por

$$\dot{H} = A \times 0.0021186 \frac{mSv}{mCi h}$$

Entonces

$$A = \frac{\dot{H}}{0.0021186} \frac{mCi h}{mSv}$$

Si consideramos la medición de la tasa de dosis equivalente que genera el paciente a un metro de distancia 24 horas posteriores a la administración del radionuclido, entonces la actividad retenida en el paciente a las 24 horas esta dada por

$$A_{24}[mCi] = \dot{H}_{24} \times \frac{1}{0.0021186}$$

donde

\dot{H}_{24} es la medición de tasa de dosis equivalente realizada 24 horas posteriores a la toma del yodo a un metro del paciente, expresada en $\frac{mSv}{h}$

Ecuación (5)

Si consideramos las suposiciones realizadas en el modelo de cálculo E, la dosis equivalente H , en mSv , que generará una fuente puntual de ^{131}I en una persona que se encuentra a un metro de distancia se puede determinar como

$$H = \frac{0.0021186A_0}{\ln 2} \left\{ 192.4968(0.8) \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{192.4968}(8)} \right) + F_t T_{ef1} e^{-\lambda_{ef1}(8)} + F_e T_{ef2} e^{-\lambda_{ef2}(8)} \right\}$$

donde

F_t denota la fracción tiroidea,

T_{ef1} es el tiempo de vida media efectivo que se encuentra en la fracción tiroidea

F_e es la fracción extratiroidea,

T_{ef2} es el tiempo de vida media efectivo que se encuentra en la fracción extratiroidea y,

A_0 es la actividad inicial de la fuente, expresada en mCi

Entonces se tiene

$$H = \frac{0.0021186A_0}{\ln 2} \left\{ 153.99744(1 - e^{-0.2881}) + 0.05(175.2)e^{-\frac{\ln 2}{175.2}(8)} + 0.95(7.68)e^{-\frac{\ln 2}{7.68}(8)} \right\}$$

$$H \approx \frac{0.0021186A_0}{\ln 2} \{0.05(175.2) + 0.95(7.68)\}$$

$$H \approx \frac{0.0021186A_0}{\ln 2} \{8.76 + 7.296\}$$

$$H \approx \frac{0.0021186A_0}{\ln 2} \{16.056\}$$

$$H \approx 0.049075A_0$$

Anexo D. Tablas de datos

La tabla 5 muestra los datos de los pacientes incluidos en éste trabajo. La medición de la tasa de dosis equivalente realizada 24 horas posteriores a la administración se denominará $\left(\frac{mSv}{hr}\right)_1$ y la medición realizada el segundo día de hospitalización a las 9:00am $\left(\frac{mSv}{hr}\right)_2$.

Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
1	150	F	29	0.14	0.08
2	150	F	25	0.12	0.05
3	150	M	44	0.1	0.07
4	150	F	49	0.1	0.05
5	150	F	27	0.096	0.05
6	150	F	53	0.013	0.08
7	150	F	36	0.098	0.06
8	150	F	64	0.17	0.08
9	150	F	36	0.14	0.1
10	150	F	81	0.15	0.14
11	150	F	29	0.092	---
12	150	F	61	0.123	---
13	150	F	36	0.182	---
14	100	F	27	0.072	0.04
15	100	F	72	0.093	0.05
16	200	F	74	0.178	0.1
17	150	F	44	0.09	0.039
18	200	F	56	0.24	0.145
19	100	F	54	0.08	0.04
20	100	F	35	0.15	0.135
21	100	F	29	0.1	0.053

Continuación de Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
22	150	M	63	0.17	0.05
23	100	F	52	0.06	0.02
24	200	F	46	0.14	0.07
25	150	F	49	0.13	0.08
26	200	M	26	0.1	0.04
27	150	M	40	0.19	0.13
28	150	F	34	0.12	0.05
29	150	F	22	0.22	0.17
30	200	F	86	0.16	0.12
31	150	F	31	0.119	0.08
32	200	F	23	0.128	0.07
33	100	F	35	0.102	0.03
34	150	F	51	0.063	0.03
35	200	F	72	0.109	0.05
36	200	F	62	0.091	0.04
37	200	F	39	0.156	0.06
38	100	F	62	0.1	0.06
39	150	F	58	0.073	0.02
40	200	M	58	0.158	0.07
41	100	F	58	0.109	0.06
42	150	F	21	0.132	0.06
43	200	F	25	0.142	0.09
44	150	F	55	0.114	0.05
45	150	F	50	0.104	0.05
46	150	M	27	0.158	0.07
47	150	F	68	0.173	0.12
48	200	F	65	0.26	0.15
49	150	F	24	0.106	0.06
50	150	F	38	0.153	0.07

Continuación de Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
51	150	F	48	0.104	0.04
52	200	F	66	0.153	0.09
53	150	M	42	0.075	0.04
54	150	F	62	0.141	0.07
55	150	F	69	0.096	0.07
56	200	F	48	0.17	0.1
57	200	F	47	0.15	0.08
58	200	M	60	0.25	0.17
59	150	F	58	0.11	0.04
60	100	F	32	0.11	0.08
61	100	F	70	0.089	0.04
62	150	F	61	0.16	0.09
63	150	F	38	0.084	0.03
64	200	F	32	0.084	0.04
65	200	F	55	0.23	0.11
66	150	F	27	0.192	0.1
67	150	F	29	0.13	0.05
68	100	F	63	0.112	0.08
69	200	F	86	0.2054	0.09
70	150	M	20	0.23	0.12
71	150	M	31	0.13	0.05
72	200	F	65	0.12	0.06
73	150	F	62	0.127	0.08
74	150	F	21	0.153	0.08
75	150	F	41	0.12	0.05
76	150	M	47	0.09	0.03
77	250	M	16	0.13	0.08
78	200	F	42	0.09	0.03
79	150	F	52	0.12	0.04

Continuación de Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
80	100	F	31	0.108	0.04
81	150	F	68	0.13	0.05
82	150	F	51	0.208	0.1
83	150	F	46	0.146	0.04
84	150	F	57	0.083	0.03
85	150	F	43	0.161	0.09
86	200	F	48	0.221	0.13
87	200	F	44	0.155	0.08
88	150	F	26	0.105	0.07
89	200	F	55	0.26	0.19
90	150	F	33	0.25	0.19
91	150	F	58	0.142	0.06
92	200	F	29	0.223	0.12
93	150	F	75	0.136	0.05
94	100	F	45	0.144	0.05
95	100	F	48	0.141	0.06
96	100	F	60	0.07	0.03
97	150	F	51	0.154	0.05
98	200	F	34	0.147	0.06
99	100	F	54	0.09	0.04
100	200	F	66	0.24	0.15
101	150	F	24	0.18	0.06
102	100	F	30	0.1	0.05
103	200	F	73	0.21	0.06
104	150	F	23	0.213	0.1
105	150	F	18	0.31	0.21
106	100	F	56	0.106	0.05
107	200	F	67	0.094	0.03
108	100	F	54	0.11	0.06

Continuación de Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
109	150	F	49	0.11	0.06
110	150	F	60	0.11	0.05
111	150	M	36	0.19	0.16
112	200	F	62	0.17	0.11
113	100	F	68	0.13	0.11
114	150	F	63	0.32	0.06
115	100	F	41	0.044	0.02
116	200	F	34	0.235	0.16
117	150	F	25	0.171	0.13
118	150	F	72	0.17	0.09
119	150	F	32	0.149	0.09
120	100	F	42	0.11	0.08
121	100	F	35	0.06	0.03
122	150	M	51	0.177	0.13
123	100	F	62	0.119	0.08
124	200	F	54	0.061	0.03
125	200	F	38	0.143	0.084
126	200	M	47	0.128	0.07
127	100	F	47	0.065	0.027
128	150	F	31	0.096	0.046
129	200	M	62	0.171	0.1
130	150	F	26	0.114	0.074
131	200	M	60	0.075	0.034
132	150	M	37	0.103	0.062
133	150	F	29	0.158	0.098
134	150	F	43	0.098	0.065
135	150	F	48	0.091	0.046
136	200	M	55	0.059	0.028
137	250	F	68	0.152	0.078

Continuación de Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
138	200	F	57	0.103	0.56
139	150	M	50	0.08	0.06
140	200	F	74	0.15	0.12
141	150	M	49	0.1	0.08
142	150	M	56	0.12	0.09
143	200	F	49	0.13	0.08
144	150	M	68	0.15	0.07
145	150	M	56	0.1	0.04
146	200	M	65	0.114	0.04
147	200	F	66	0.113	0.05
148	150	F	42	0.133	0.1
149	150	F	42	0.101	0.05
150	150	F	37	0.148	0.07
151	150	F	19	0.133	0.07
152	150	F	32	0.098	0.04
153	100	F	27	0.04	---
154	150	F	21	0.08	---
155	150	F	51	0.09	---
156	150	F	51	0.07	---
157	150	F	55	0.12	---
158	200	F	60	0.14	---
159	200	F	69	0.22	---
160	100	F	37	0.047	0.02
161	150	F	48	0.13	0.108
162	150	F	66	0.18	0.12
163	150	F	57	0.11	0.05
164	200	M	45	0.21	0.1
165	100	F	40	0.09	0.06
166	150	F	42	0.143	0.08

Continuación de Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
167	150	F	28	0.182	0.09
168	150	F	22	0.115	0.06
169	150	F	42	0.189	0.12
170	200	F	35	0.164	0.087
171	150	F	31	0.106	0.058
172	150	M	45	0.18	0.105
173	150	F	49	0.17	0.1
174	150	M	67	0.1	0.039
175	200	M	54	0.078	0.038
176	200	M	43	0.159	0.085
177	150	F	34	0.139	0.09
178	150	F	69	0.097	0.05
179	150	F	35	0.109	0.05
180	100	F	68	0.06	0.03
181	150	F	69	0.16	0.14
182	200	M	28	0.111	0.097
183	150	M	45	0.187	0.112
184	100	M	33	0.067	0.041
185	150	F	37	0.135	0.118
186	100	F	46	0.092	0.06
187	200	M	51	0.22	0.15
188	150	F	48	0.07	0.031
189	200	F	65	0.09	0.046
190	150	F	62	0.09	0.035
191	150	F	47	0.08	0.06
192	150	M	56	0.08	0.05
193	150	M	32	0.143	0.099
194	200	M	19	0.198	0.172
195	150	F	75	0.12	0.061

Continuación de Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
196	200	F	59	0.065	0.028
197	100	F	46	0.101	0.064
198	150	F	26	0.126	0.077
199	200	F	81	0.23	0.12
200	150	F	45	0.15	0.08
201	150	F	30	0.13	0.04
202	150	F	35	0.15	0.08
203	200	F	44	0.148	0.093
204	200	M	78	0.133	0.073
205	200	F	34	0.107	0.054
206	150	F	62	0.066	0.041
207	150	F	39	0.141	0.078
208	200	M	65	0.21	0.144
209	150	F	68	0.148	0.12
210	200	F	51	0.124	0.1
211	200	F	66	0.142	0.06
212	150	M	57	0.155	0.09
213	200	F	67	0.145	0.07
214	150	F	19	0.08	0.05
215	150	F	37	0.17	0.13
216	150	F	41	0.07	0.07
217	100	F	76	0.09	0.09
218	200	F	46	0.06	0.06
219	200	M	63	0.135	0.061
220	100	M	75	0.067	0.041
221	200	M	30	0.072	0.036
222	100	F	62	0.052	0.033
223	200	F	67	0.195	0.12
224	150	F	63	0.15	0.083

Continuación de Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
225	200	M	57	0.12	0.078
226	150	F	41	0.13	0.08
227	150	F	39	0.1	0.046
228	150	F	51	0.15	0.087
229	200	M	67	0.23	0.144
230	200	F	32	0.07	0.01
231	150	F	59	0.121	0.08
232	150	F	52	0.077	0.04
233	150	F	50	0.094	0.07
234	150	F	38	0.145	0.09
235	150	F	37	0.081	0.06
236	200	F	59	0.194	0.16
237	100	F	51	0.064	0.04
238	200	F	50	0.12	0.08
239	150	F	30	0.15	0.04
240	200	F	19	0.173	0.14
241	150	F	72	0.12	0.1
242	200	F	72	0.12	0.03
243	150	M	51	0.08	0.05
244	150	F	39	0.12	0.08
245	200	F	23	0.11	0.07
246	150	F	59	0.108	0.08
247	150	F	46	0.09	0.07
248	200	F	53	0.16	0.15
249	150	F	41	0.17	0.14
250	100	F	19	0.08	0.08
251	150	F	58	0.09	0.047
252	150	F	47	0.14	0.104
253	150	F	42	0.13	0.13

Continuación de Tabla 5. Datos de los 254 pacientes analizados

Paciente	Actividad Administrada	Sexo	Edad	[mSv/hr] ₁	[mSv/hr] ₂
254	200	F	56	0.2	0.134

La tabla 6 muestra las dosis equivalentes que recibirían los cuidadores por encontrarse a un metro del paciente egresado 24 horas posteriores a la administración del ¹³¹I estimadas con el modelo de calculo A.

Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
1	38.88	16.94	24.30	16.21	9.72	4.86
2	33.33	14.52	20.83	13.90	8.33	4.17
3	27.77	12.10	17.36	11.58	6.94	3.47
4	27.77	12.06	17.36	11.58	6.94	3.47
5	26.66	11.58	16.66	11.12	6.67	3.33
6	36.10	15.68	22.56	15.05	9.03	4.51
7	27.22	11.82	17.01	11.35	6.80	3.40
8	47.21	20.50	29.51	19.69	11.80	5.90
9	38.88	16.78	24.30	16.21	9.72	4.86
10	41.66	17.98	26.04	17.37	10.41	5.21
11	25.55	11.06	15.97	10.65	6.39	3.19
12	34.16	14.79	21.35	14.24	8.54	4.27
13	50.54	21.88	31.59	21.08	12.64	6.32
14	20.00	8.70	12.50	8.34	5.00	2.50
15	25.83	11.23	16.14	10.77	6.46	3.23
16	49.43	21.50	30.90	20.61	12.36	6.18
17	24.99	10.85	15.62	10.42	6.25	3.12
18	66.65	28.93	41.66	27.79	16.66	8.33
19	22.22	9.64	13.89	9.26	5.55	2.78
20	41.66	18.08	26.04	17.37	10.41	5.21

Continuación de Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
21	27.77	12.05	17.36	11.58	6.94	3.47
22	47.21	20.58	29.51	19.69	11.80	5.90
23	16.66	7.26	10.41	6.95	4.17	2.08
24	38.88	16.95	24.30	16.21	9.72	4.86
25	36.10	15.74	22.56	15.05	9.03	4.51
26	27.77	12.11	17.36	11.58	6.94	3.47
27	52.77	22.88	32.98	22.00	13.19	6.60
28	33.33	14.45	20.83	13.90	8.33	4.17
29	61.10	26.49	38.19	25.48	15.27	7.64
30	44.43	19.27	27.77	18.53	11.11	5.55
31	33.05	14.43	20.65	13.78	8.26	4.13
32	35.55	15.53	22.22	14.82	8.89	4.44
33	28.33	12.37	17.70	11.81	7.08	3.54
34	17.50	7.64	10.93	7.30	4.37	2.19
35	30.27	13.22	18.92	12.62	7.57	3.78
36	25.27	11.02	15.79	10.54	6.32	3.16
37	43.32	18.89	27.08	18.07	10.83	5.42
38	27.77	12.12	17.36	11.58	6.94	3.47
39	20.27	8.84	12.67	8.45	5.07	2.53
40	43.88	19.14	27.42	18.30	10.97	5.48
41	30.27	13.12	18.92	12.62	7.57	3.78
42	36.66	15.88	22.91	15.29	9.16	4.58
43	39.44	17.09	24.65	16.44	9.86	4.93
44	31.66	13.71	19.79	13.20	7.91	3.96
45	28.88	12.51	18.05	12.04	7.22	3.61
46	43.88	19.01	27.42	18.30	10.97	5.48
47	48.04	20.80	30.03	20.03	12.01	6.01
48	72.21	31.26	45.13	30.11	18.05	9.03

Continuación de Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
49	29.44	12.74	18.40	12.28	7.36	3.68
50	42.49	18.39	26.56	17.72	10.62	5.31
51	28.88	12.60	18.05	12.04	7.22	3.61
52	42.49	18.53	26.56	17.72	10.62	5.31
53	20.83	9.08	13.02	8.69	5.21	2.60
54	39.16	17.08	24.47	16.33	9.79	4.89
55	26.66	11.63	16.66	11.12	6.67	3.33
56	47.21	20.48	29.51	19.69	11.80	5.90
57	41.66	18.07	26.04	17.37	10.41	5.21
58	69.43	30.11	43.39	28.95	17.36	8.68
59	30.55	13.25	19.09	12.74	7.64	3.82
60	30.55	13.25	19.09	12.74	7.64	3.82
61	24.72	10.74	15.45	10.31	6.18	3.09
62	44.43	19.31	27.77	18.53	11.11	5.55
63	23.33	10.14	14.58	9.73	5.83	2.92
64	23.33	10.14	14.58	9.73	5.83	2.92
65	63.87	27.75	39.92	26.64	15.97	7.98
66	53.32	23.16	33.33	22.23	13.33	6.67
67	36.10	15.68	22.56	15.05	9.03	4.51
68	31.10	13.51	19.44	12.97	7.78	3.89
69	57.04	24.78	35.65	23.79	14.26	7.13
70	63.87	27.74	39.92	26.64	15.97	7.98
71	36.10	15.68	22.56	15.05	9.03	4.51
72	33.33	14.47	20.83	13.90	8.33	4.17
73	35.27	15.31	22.04	14.71	8.82	4.41
74	42.49	18.45	26.56	17.72	10.62	5.31
75	33.33	14.46	20.83	13.90	8.33	4.17
76	24.99	10.85	15.62	10.42	6.25	3.12

Continuación de Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
77	36.10	15.67	22.56	15.05	9.03	4.51
78	24.99	10.84	15.62	10.42	6.25	3.12
79	33.33	14.46	20.83	13.90	8.33	4.17
80	29.99	13.06	18.75	12.51	7.50	3.75
81	36.10	15.72	22.56	15.05	9.03	4.51
82	57.76	25.15	36.10	24.09	14.44	7.22
83	40.55	17.66	25.34	16.91	10.14	5.07
84	23.05	9.95	14.41	9.61	5.76	2.88
85	44.71	19.29	27.94	18.64	11.18	5.59
86	61.37	26.48	38.36	25.59	15.34	7.67
87	43.05	18.57	26.90	17.95	10.76	5.38
88	29.16	12.59	18.22	12.16	7.29	3.64
89	72.21	31.17	45.13	30.11	18.05	9.03
90	69.43	29.97	43.39	28.95	17.36	8.68
91	39.44	17.02	24.65	16.44	9.86	4.93
92	61.93	26.74	38.71	25.82	15.48	7.74
93	37.77	16.32	23.61	15.75	9.44	4.72
94	39.99	17.28	24.99	16.68	10.00	5.00
95	39.16	16.92	24.47	16.33	9.79	4.89
96	19.44	8.40	12.15	8.11	4.86	2.43
97	42.77	18.47	26.73	17.83	10.69	5.35
98	40.82	17.63	25.51	17.02	10.21	5.10
99	24.99	10.85	15.62	10.42	6.25	3.12
100	66.65	28.93	41.66	27.79	16.66	8.33
101	49.99	21.70	31.24	20.85	12.50	6.25
102	27.77	12.06	17.36	11.58	6.94	3.47
103	58.32	25.32	36.45	24.32	14.58	7.29
104	59.15	25.69	36.97	24.67	14.79	7.39

Continuación de Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
105	86.09	37.39	53.81	35.90	21.52	10.76
106	29.44	12.78	18.40	12.28	7.36	3.68
107	26.11	11.34	16.32	10.89	6.53	3.26
108	30.55	13.26	19.09	12.74	7.64	3.82
109	30.55	13.21	19.09	12.74	7.64	3.82
110	30.55	13.21	19.09	12.74	7.64	3.82
111	52.77	22.82	32.98	22.00	13.19	6.60
112	47.21	20.42	29.51	19.69	11.80	5.90
113	36.10	15.62	22.56	15.05	9.03	4.51
114	88.87	38.48	55.54	37.06	22.22	11.11
115	12.22	5.29	7.64	5.10	3.05	1.53
116	65.26	28.26	40.79	27.21	16.32	8.16
117	47.49	20.56	29.68	19.80	11.87	5.94
118	47.21	20.44	29.51	19.69	11.80	5.90
119	41.38	17.89	25.86	17.26	10.34	5.17
120	30.55	13.21	19.09	12.74	7.64	3.82
121	16.66	7.21	10.41	6.95	4.17	2.08
122	49.16	21.26	30.72	20.50	12.29	6.14
123	33.05	14.30	20.65	13.78	8.26	4.13
124	16.94	7.33	10.59	7.06	4.24	2.12
125	39.71	17.30	24.82	16.56	9.93	4.96
126	35.55	15.50	22.22	14.82	8.89	4.44
127	18.05	7.86	11.28	7.53	4.51	2.26
128	26.66	11.61	16.66	11.12	6.67	3.33
129	47.49	20.70	29.68	19.80	11.87	5.94
130	31.66	13.79	19.79	13.20	7.91	3.96
131	20.83	9.08	13.02	8.69	5.21	2.60
132	28.60	12.35	17.88	11.93	7.15	3.58

Continuación de Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
133	43.88	18.95	27.42	18.30	10.97	5.48
134	27.22	11.75	17.01	11.35	6.80	3.40
135	25.27	10.91	15.79	10.54	6.32	3.16
136	16.39	7.07	10.24	6.83	4.10	2.05
137	42.21	18.22	26.38	17.60	10.55	5.28
138	28.60	12.35	17.88	11.93	7.15	3.58
139	22.22	9.60	13.89	9.26	5.55	2.78
140	41.66	18.01	26.04	17.37	10.41	5.21
141	27.77	12.01	17.36	11.58	6.94	3.47
142	33.33	14.41	20.83	13.90	8.33	4.17
143	36.10	15.61	22.56	15.05	9.03	4.51
144	41.66	18.01	26.04	17.37	10.41	5.21
145	27.77	12.01	17.36	11.58	6.94	3.47
146	31.66	13.69	19.79	13.20	7.91	3.96
147	31.38	13.57	19.61	13.09	7.85	3.92
148	36.94	15.97	23.08	15.40	9.23	4.62
149	28.05	12.13	17.53	11.70	7.01	3.51
150	41.10	17.77	25.69	17.14	10.28	5.14
151	36.94	15.97	23.08	15.40	9.23	4.62
152	27.22	11.77	17.01	11.35	6.80	3.40
153	11.11	4.82	6.94	4.63	2.78	1.39
154	22.22	9.64	13.89	9.26	5.55	2.78
155	24.99	10.85	15.62	10.42	6.25	3.12
156	19.44	8.44	12.15	8.11	4.86	2.43
157	33.33	14.46	20.83	13.90	8.33	4.17
158	38.88	16.87	24.30	16.21	9.72	4.86
159	61.10	26.51	38.19	25.48	15.27	7.64
160	13.05	5.66	8.16	5.44	3.26	1.63

Continuación de Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
161	36.10	15.58	22.56	15.05	9.03	4.51
162	49.99	21.57	31.24	20.85	12.50	6.25
163	30.55	13.18	19.09	12.74	7.64	3.82
164	58.32	25.17	36.45	24.32	14.58	7.29
165	24.99	10.79	15.62	10.42	6.25	3.12
166	39.71	17.24	24.82	16.56	9.93	4.96
167	50.54	21.94	31.59	21.08	12.64	6.32
168	31.94	13.86	19.96	13.32	7.98	3.99
169	52.49	22.78	32.80	21.89	13.12	6.56
170	45.55	19.67	28.47	18.99	11.39	5.69
171	29.44	12.71	18.40	12.28	7.36	3.68
172	49.99	21.59	31.24	20.85	12.50	6.25
173	47.21	20.39	29.51	19.69	11.80	5.90
174	27.77	11.99	17.36	11.58	6.94	3.47
175	21.66	9.36	13.54	9.03	5.42	2.71
176	44.16	19.07	27.60	18.41	11.04	5.52
177	38.60	16.73	24.13	16.10	9.65	4.83
178	26.94	11.68	16.84	11.23	6.73	3.37
179	30.27	13.12	18.92	12.62	7.57	3.78
180	16.66	7.22	10.41	6.95	4.17	2.08
181	44.43	19.26	27.77	18.53	11.11	5.55
182	30.83	13.37	19.27	12.85	7.71	3.85
183	51.93	22.38	32.46	21.66	12.98	6.49
184	18.61	8.02	11.63	7.76	4.65	2.33
185	37.49	16.16	23.43	15.63	9.37	4.69
186	25.55	11.01	15.97	10.65	6.39	3.19
187	61.10	26.43	38.19	25.48	15.27	7.64
188	19.44	8.41	12.15	8.11	4.86	2.43

Continuación de Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
189	24.99	10.81	15.62	10.42	6.25	3.12
190	24.99	10.81	15.62	10.42	6.25	3.12
191	22.22	9.61	13.89	9.26	5.55	2.78
192	22.22	9.61	13.89	9.26	5.55	2.78
193	39.71	17.10	24.82	16.56	9.93	4.96
194	54.99	23.67	34.37	22.93	13.75	6.87
195	33.33	14.35	20.83	13.90	8.33	4.17
196	18.05	7.77	11.28	7.53	4.51	2.26
197	28.05	12.07	17.53	11.70	7.01	3.51
198	34.99	15.06	21.87	14.59	8.75	4.37
199	63.87	27.44	39.92	26.64	15.97	7.98
200	41.66	17.90	26.04	17.37	10.41	5.21
201	36.10	15.51	22.56	15.05	9.03	4.51
202	41.66	17.89	26.04	17.37	10.41	5.21
203	41.10	17.73	25.69	17.14	10.28	5.14
204	36.94	15.93	23.08	15.40	9.23	4.62
205	29.72	12.81	18.57	12.39	7.43	3.71
206	18.33	7.90	11.46	7.64	4.58	2.29
207	39.16	16.89	24.47	16.33	9.79	4.89
208	58.32	25.15	36.45	24.32	14.58	7.29
209	41.10	18.14	25.69	17.14	10.28	5.14
210	34.44	15.20	21.52	14.36	8.61	4.30
211	39.44	17.41	24.65	16.44	9.86	4.93
212	43.05	19.00	26.90	17.95	10.76	5.38
213	40.27	17.77	25.17	16.79	10.07	5.03
214	22.22	9.54	13.89	9.26	5.55	2.78
215	47.21	20.28	29.51	19.69	11.80	5.90
216	19.44	8.35	12.15	8.11	4.86	2.43

Continuación de Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
217	24.99	10.73	15.62	10.42	6.25	3.12
218	16.66	7.16	10.41	6.95	4.17	2.08
219	37.49	16.15	23.43	15.63	9.37	4.69
220	18.61	8.01	11.63	7.76	4.65	2.33
221	20.00	8.61	12.50	8.34	5.00	2.50
222	14.44	6.22	9.03	6.02	3.61	1.81
223	54.15	23.32	33.85	22.58	13.54	6.77
224	41.66	17.93	26.04	17.37	10.41	5.21
225	33.33	14.45	20.83	13.90	8.33	4.17
226	36.10	15.65	22.56	15.05	9.03	4.51
227	27.77	12.04	17.36	11.58	6.94	3.47
228	41.66	18.06	26.04	17.37	10.41	5.21
229	63.87	27.69	39.92	26.64	15.97	7.98
230	19.44	8.43	12.15	8.11	4.86	2.43
231	33.60	14.58	21.00	14.01	8.40	4.20
232	21.38	9.28	13.36	8.92	5.35	2.67
233	26.11	11.33	16.32	10.89	6.53	3.26
234	40.27	17.47	25.17	16.79	10.07	5.03
235	22.49	9.76	14.06	9.38	5.62	2.81
236	53.88	23.09	33.67	22.47	13.47	6.73
237	17.77	7.62	11.11	7.41	4.44	2.22
238	33.33	14.28	20.83	13.90	8.33	4.17
239	41.66	17.85	26.04	17.37	10.41	5.21
240	48.04	20.59	30.03	20.03	12.01	6.01
241	33.33	14.47	20.83	13.90	8.33	4.17
242	33.33	14.47	20.83	13.90	8.33	4.17
243	22.22	9.64	13.89	9.26	5.55	2.78
244	33.33	14.47	20.83	13.90	8.33	4.17

Continuación de Tabla 6. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo A

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
245	30.55	13.26	19.09	12.74	7.64	3.82
246	29.99	13.07	18.75	12.51	7.50	3.75
247	24.99	10.89	15.62	10.42	6.25	3.12
248	44.43	19.36	27.77	18.53	11.11	5.55
249	47.21	20.57	29.51	19.69	11.80	5.90
250	22.22	9.68	13.89	9.26	5.55	2.78
251	24.99	10.84	15.62	10.42	6.25	3.12
252	38.88	16.86	24.30	16.21	9.72	4.86
253	36.10	15.65	22.56	15.05	9.03	4.51
254	55.54	24.08	34.71	23.16	13.89	6.94

La tabla 7 muestra las dosis equivalentes que recibirían los cuidadores por encontrarse a un metro del paciente egresado 24 horas posteriores a la administración del ¹³¹I estimadas con el modelo de calculo B.

Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
1	23.59	10.90	14.75	9.84	5.90	2.95
2	15.06	7.13	9.42	6.28	3.77	1.88
3	20.42	9.31	12.76	8.52	5.11	2.55
4	14.80	6.87	9.25	6.17	3.70	1.85
5	14.76	6.83	9.23	6.16	3.69	1.85
6	23.41	10.71	14.63	9.76	5.85	2.93
7	17.56	8.04	10.98	7.32	4.39	2.20
8	23.78	11.08	14.86	9.92	5.94	2.97
9	28.88	13.01	18.05	12.04	7.22	3.61
10	40.06	17.85	25.04	16.71	10.02	5.01

Continuación de Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
14	11.79	5.45	7.37	4.92	2.95	1.47
15	14.77	6.83	9.23	6.16	3.69	1.85
16	29.46	13.59	18.41	12.29	7.37	3.68
17	11.65	5.46	7.28	4.86	2.91	1.46
18	42.45	19.44	26.53	17.70	10.61	5.31
19	11.84	5.49	7.40	4.94	2.96	1.48
20	38.85	17.43	24.28	16.20	9.71	4.86
21	15.62	7.21	9.76	6.52	3.91	1.95
22	15.59	7.65	9.74	6.50	3.90	1.95
23	6.15	2.98	3.85	2.57	1.54	0.77
24	20.84	9.73	13.02	8.69	5.21	2.60
25	23.52	10.82	14.70	9.81	5.88	2.94
26	12.11	5.76	7.57	5.05	3.03	1.51
27	37.79	17.16	23.62	15.76	9.45	4.72
28	14.95	7.01	9.34	6.23	3.74	1.87
29	49.16	22.18	30.72	20.50	12.29	6.14
30	34.74	15.70	21.71	14.49	8.69	4.34
31	23.45	10.76	14.66	9.78	5.86	2.93
32	20.77	9.66	12.98	8.66	5.19	2.60
33	9.39	4.63	5.87	3.92	2.35	1.17
34	8.98	4.22	5.62	3.75	2.25	1.12
35	15.02	7.08	9.38	6.26	3.75	1.88
36	12.02	5.68	7.52	5.01	3.01	1.50
37	18.23	8.71	11.40	7.60	4.56	2.28
38	17.68	8.16	11.05	7.37	4.42	2.21
39	6.29	3.12	3.93	2.62	1.57	0.79
40	21.03	9.92	13.14	8.77	5.26	2.63
41	17.62	8.09	11.01	7.35	4.40	2.20

Continuación de Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
42	17.81	8.29	11.13	7.43	4.45	2.23
43	26.23	11.95	16.40	10.94	6.56	3.28
44	14.88	6.94	9.30	6.20	3.72	1.86
45	14.79	6.85	9.24	6.17	3.70	1.85
46	20.81	9.70	13.01	8.68	5.20	2.60
47	34.80	15.76	21.75	14.51	8.70	4.35
48	43.88	20.07	27.42	18.30	10.97	5.48
49	17.57	8.05	10.98	7.33	4.39	2.20
50	20.75	9.64	12.97	8.65	5.19	2.59
51	12.16	5.81	7.60	5.07	3.04	1.52
52	26.53	12.25	16.58	11.06	6.63	3.32
53	11.86	5.52	7.41	4.95	2.97	1.48
54	20.86	9.75	13.04	8.70	5.21	2.61
55	20.41	9.30	12.75	8.51	5.10	2.55
56	29.29	13.42	18.31	12.21	7.32	3.66
57	23.56	10.86	14.72	9.82	5.89	2.94
58	49.44	22.46	30.90	20.62	12.36	6.18
59	12.09	5.74	7.56	5.04	3.02	1.51
60	23.20	10.50	14.50	9.67	5.80	2.90
61	11.94	5.59	7.46	4.98	2.98	1.49
62	26.49	12.21	16.56	11.05	6.62	3.31
63	9.12	4.36	5.70	3.80	2.28	1.14
64	11.89	5.55	7.43	4.96	2.97	1.49
65	32.68	15.23	20.43	13.63	8.17	4.09
66	29.55	13.68	18.47	12.32	7.39	3.69
67	15.09	7.15	9.43	6.29	3.77	1.89
68	23.26	10.56	14.53	9.70	5.81	2.91
69	26.90	12.62	16.81	11.22	6.72	3.36

Continuación de Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
70	35.44	16.40	22.15	14.78	8.86	4.43
71	15.08	7.15	9.43	6.29	3.77	1.89
72	17.76	8.24	11.10	7.41	4.44	2.22
73	23.38	10.68	14.61	9.75	5.84	2.92
74	23.62	10.92	14.76	9.85	5.90	2.95
75	14.96	7.03	9.35	6.24	3.74	1.87
76	9.15	4.39	5.72	3.81	2.29	1.14
77	23.39	10.70	14.62	9.76	5.85	2.92
78	9.14	4.38	5.71	3.81	2.29	1.14
79	12.19	5.84	7.62	5.08	3.05	1.52
80	12.16	5.81	7.60	5.07	3.04	1.52
81	15.15	7.22	9.47	6.32	3.79	1.89
82	29.80	13.93	18.62	12.43	7.45	3.72
83	12.53	6.18	7.83	5.23	3.13	1.57
84	8.98	4.22	5.61	3.75	2.25	1.12
85	26.26	11.97	16.41	10.95	6.56	3.28
86	37.83	17.21	23.65	15.78	9.46	4.73
87	23.43	10.74	14.64	9.77	5.86	2.93
88	20.28	9.17	12.67	8.46	5.07	2.53
89	54.84	24.69	34.28	22.87	13.71	6.86
90	54.76	24.61	34.22	22.83	13.69	6.84
91	17.79	8.27	11.12	7.42	4.45	2.22
92	35.10	16.06	21.94	14.64	8.78	4.39
93	14.99	7.06	9.37	6.25	3.75	1.87
94	15.06	7.12	9.41	6.28	3.76	1.88
95	17.81	8.29	11.13	7.43	4.45	2.23
96	8.90	4.14	5.56	3.71	2.23	1.11
97	15.13	7.19	9.45	6.31	3.78	1.89

Continuación de Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
98	17.85	8.33	11.16	7.44	4.46	2.23
99	11.93	5.58	7.45	4.97	2.98	1.49
100	43.84	20.04	27.40	18.28	10.96	5.48
101	18.30	8.78	11.44	7.63	4.58	2.29
102	14.80	6.86	9.25	6.17	3.70	1.85
103	18.57	9.05	11.61	7.75	4.64	2.32
104	29.73	13.86	18.58	12.40	7.43	3.72
105	61.17	27.84	38.23	25.51	15.29	7.65
106	14.86	6.92	9.29	6.20	3.71	1.86
107	9.19	4.43	5.75	3.83	2.30	1.15
108	17.67	8.14	11.04	7.37	4.42	2.21
109	17.58	8.06	10.99	7.33	4.40	2.20
110	14.81	6.87	9.25	6.17	3.70	1.85
111	46.02	20.63	28.77	19.19	11.51	5.75
112	31.97	14.52	19.98	13.33	7.99	4.00
113	31.64	14.18	19.77	13.19	7.91	3.95
114	19.40	9.88	12.13	8.09	4.85	2.43
115	5.93	2.76	3.71	2.47	1.48	0.74
116	46.45	21.06	29.03	19.37	11.61	5.81
117	37.57	16.94	23.48	15.67	9.39	4.70
118	26.45	12.17	16.53	11.03	6.61	3.31
119	26.23	11.95	16.39	10.94	6.56	3.28
120	23.13	10.44	14.46	9.65	5.78	2.89
121	8.83	4.07	5.52	3.68	2.21	1.10
122	37.57	16.94	23.48	15.67	9.39	4.70
123	23.21	10.52	14.51	9.68	5.80	2.90
124	8.84	4.08	5.53	3.69	2.21	1.11
125	24.73	11.40	15.46	10.31	6.18	3.09

Continuación de Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
126	20.72	9.61	12.95	8.64	5.18	2.59
127	8.14	3.85	5.09	3.39	2.03	1.02
128	13.72	6.42	8.57	5.72	3.43	1.71
129	29.48	13.61	18.42	12.29	7.37	3.68
130	21.67	9.93	13.54	9.04	5.42	2.71
131	10.19	4.80	6.37	4.25	2.55	1.27
132	18.05	8.21	11.28	7.53	4.51	2.26
133	28.49	12.94	17.80	11.88	7.12	3.56
134	18.84	8.53	11.78	7.86	4.71	2.36
135	13.51	6.21	8.44	5.63	3.38	1.69
136	8.25	3.80	5.15	3.44	2.06	1.03
137	22.87	10.49	14.30	9.54	5.72	2.86
138	16.37	7.49	10.23	6.83	4.09	2.05
139	17.32	7.80	10.83	7.22	4.33	2.17
140	34.56	15.52	21.60	14.41	8.64	4.32
141	23.04	10.35	14.40	9.61	5.76	2.88
142	25.99	11.70	16.24	10.84	6.50	3.25
143	23.29	10.60	14.56	9.71	5.82	2.91
144	20.68	9.57	12.92	8.62	5.17	2.58
145	11.93	5.59	7.46	4.98	2.98	1.49
146	12.05	5.71	7.53	5.03	3.01	1.51
147	14.82	6.89	9.26	6.18	3.71	1.85
148	28.87	13.01	18.05	12.04	7.22	3.61
149	14.72	6.79	9.20	6.14	3.68	1.84
150	20.66	9.55	12.91	8.62	5.17	2.58
151	20.54	9.43	12.84	8.56	5.13	2.57
152	11.92	5.57	7.45	4.97	2.98	1.49
160	5.98	2.81	3.74	2.49	1.49	0.75

Continuación de Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
161	31.02	13.88	19.39	12.93	7.75	3.88
162	34.75	15.70	21.72	14.49	8.69	4.34
163	14.75	6.82	9.22	6.15	3.69	1.84
164	29.43	13.56	18.39	12.27	7.36	3.68
165	17.37	7.85	10.86	7.24	4.34	2.17
166	23.52	10.82	14.70	9.81	5.88	2.94
167	26.65	12.37	16.66	11.11	6.66	3.33
168	17.70	8.18	11.06	7.38	4.43	2.21
169	35.04	16.00	21.90	14.61	8.76	4.38
170	25.48	11.67	15.92	10.62	6.37	3.18
171	16.96	7.75	10.60	7.07	4.24	2.12
172	30.60	13.94	19.13	12.76	7.65	3.83
173	29.13	13.27	18.21	12.15	7.28	3.64
174	11.64	5.45	7.27	4.85	2.91	1.45
175	11.18	5.15	6.99	4.66	2.80	1.40
176	24.89	11.40	15.56	10.38	6.22	3.11
177	26.22	11.94	16.39	10.93	6.55	3.28
178	14.74	6.81	9.21	6.15	3.69	1.84
179	14.85	6.91	9.28	6.19	3.71	1.86
180	8.86	4.10	5.54	3.69	2.22	1.11
181	40.29	18.08	25.18	16.80	10.07	5.04
182	27.93	12.54	17.46	11.65	6.98	3.49
183	32.52	14.74	20.32	13.56	8.13	4.06
184	11.89	5.39	7.43	4.96	2.97	1.49
185	33.80	15.07	21.12	14.09	8.45	4.22
186	17.36	7.84	10.85	7.24	4.34	2.17
187	43.50	19.69	27.18	18.14	10.87	5.44
188	9.20	4.28	5.75	3.83	2.30	1.15

Continuación de Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
189	13.53	6.23	8.46	5.64	3.38	1.69
190	10.47	4.92	6.55	4.37	2.62	1.31
191	17.34	7.81	10.83	7.23	4.33	2.17
192	14.55	6.62	9.10	6.07	3.64	1.82
193	28.55	12.84	17.84	11.91	7.14	3.57
194	49.23	21.93	30.77	20.53	12.31	6.15
195	17.83	8.15	11.14	7.43	4.46	2.23
196	8.26	3.81	5.16	3.44	2.06	1.03
197	18.52	8.36	11.57	7.72	4.63	2.31
198	22.31	10.10	13.95	9.31	5.58	2.79
199	34.93	15.89	21.83	14.57	8.73	4.37
200	23.26	10.57	14.54	9.70	5.82	2.91
201	12.01	5.66	7.51	5.01	3.00	1.50
202	23.26	10.56	14.54	9.70	5.81	2.91
203	26.98	12.22	16.86	11.25	6.74	3.37
204	21.31	9.72	13.32	8.88	5.33	2.66
205	15.82	7.26	9.89	6.60	3.96	1.98
206	11.90	5.39	7.44	4.96	2.97	1.49
207	22.76	10.38	14.22	9.49	5.69	2.84
208	41.62	18.77	26.01	17.36	10.41	5.20
209	35.18	16.14	21.99	14.67	8.80	4.40
210	29.33	13.46	18.33	12.23	7.33	3.67
211	18.45	8.92	11.53	7.69	4.61	2.31
212	26.94	12.66	16.84	11.23	6.74	3.37
213	21.26	10.15	13.29	8.87	5.32	2.66
214	14.44	6.50	9.02	6.02	3.61	1.80
215	37.28	16.65	23.30	15.54	9.32	4.66
216	19.92	8.81	12.45	8.31	4.98	2.49

Continuación de Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
217	25.61	11.33	16.01	10.68	6.40	3.20
218	17.08	7.55	10.67	7.12	4.27	2.13
219	17.95	8.27	11.22	7.49	4.49	2.24
220	11.89	5.38	7.43	4.96	2.97	1.49
221	10.53	4.82	6.58	4.39	2.63	1.32
222	9.55	4.32	5.97	3.98	2.39	1.19
223	34.77	15.73	21.73	14.50	8.69	4.35
224	24.16	10.99	15.10	10.07	6.04	3.02
225	22.72	10.35	14.20	9.48	5.68	2.84
226	23.37	10.67	14.61	9.74	5.84	2.92
227	13.66	6.36	8.54	5.70	3.42	1.71
228	25.49	11.68	15.93	10.63	6.37	3.19
229	42.03	19.18	26.27	17.53	10.51	5.25
230	3.40	1.81	2.12	1.42	0.85	0.42
231	23.31	10.62	14.57	9.72	5.83	2.91
232	11.81	5.46	7.38	4.92	2.95	1.48
233	20.29	9.18	12.68	8.46	5.07	2.54
234	26.30	12.02	16.44	10.97	6.57	3.29
235	17.39	7.87	10.87	7.25	4.35	2.17
236	45.68	20.29	28.55	19.05	11.42	5.71
237	11.52	5.17	7.20	4.80	2.88	1.44
238	22.99	10.29	14.37	9.59	5.75	2.87
239	12.08	5.73	7.55	5.04	3.02	1.51
240	40.00	17.79	25.00	16.68	10.00	5.00
241	28.86	12.99	18.04	12.04	7.22	3.61
242	9.42	4.66	5.89	3.93	2.36	1.18
243	14.61	6.68	9.13	6.09	3.65	1.83
244	23.31	10.61	14.57	9.72	5.83	2.91

Continuación de Tabla 7. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo B

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
245	20.44	9.33	12.78	8.52	5.11	2.56
246	23.28	10.58	14.55	9.71	5.82	2.91
247	20.32	9.22	12.70	8.48	5.08	2.54
248	43.23	19.43	27.02	18.03	10.81	5.40
249	40.55	18.33	25.34	16.91	10.14	5.07
250	23.00	10.31	14.38	9.59	5.75	2.88
251	13.85	6.39	8.66	5.78	3.46	1.73
252	30.12	13.62	18.83	12.56	7.53	3.77
253	37.25	16.62	23.28	15.53	9.31	4.66
254	38.98	17.72	24.37	16.26	9.75	4.87

La tabla 8 muestra las dosis equivalentes que recibirían los cuidadores por encontrarse a un metro del paciente egresado 24 horas posteriores a la administración del ¹³¹I estimadas con el modelo de calculo C.

Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
1	35.39	16.18	22.12	14.76	8.85	4.42
2	30.33	13.86	18.96	12.65	7.58	3.79
3	25.28	11.55	15.80	10.54	6.32	3.16
4	25.28	11.52	15.80	10.54	6.32	3.16
5	24.26	11.06	15.17	10.12	6.07	3.03
6	32.86	14.97	20.54	13.70	8.21	4.11
7	24.77	11.29	15.48	10.33	6.19	3.10
8	42.97	19.58	26.86	17.92	10.74	5.37
9	35.39	16.02	22.12	14.76	8.85	4.42
10	37.91	17.17	23.70	15.81	9.48	4.74
11	23.25	10.56	14.53	9.70	5.81	2.91
12	31.09	14.12	19.43	12.96	7.77	3.89
13	46.00	20.90	28.75	19.18	11.50	5.75
14	18.20	8.31	11.37	7.59	4.55	2.27

Continuación de Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
15	23.51	10.73	14.69	9.80	5.88	2.94
16	44.99	20.53	28.12	18.76	11.25	5.62
17	22.75	10.36	14.22	9.49	5.69	2.84
18	60.66	27.63	37.91	25.30	15.17	7.58
19	20.22	9.21	12.64	8.43	5.06	2.53
20	37.91	17.27	23.70	15.81	9.48	4.74
21	25.28	11.51	15.80	10.54	6.32	3.16
22	42.97	19.66	26.86	17.92	10.74	5.37
23	15.17	6.94	9.48	6.32	3.79	1.90
24	35.39	16.19	22.12	14.76	8.85	4.42
25	32.86	15.03	20.54	13.70	8.21	4.11
26	25.28	11.56	15.80	10.54	6.32	3.16
27	48.02	21.85	30.02	20.03	12.01	6.00
28	30.33	13.80	18.96	12.65	7.58	3.79
29	55.61	25.30	34.75	23.19	13.90	6.95
30	40.44	18.40	25.28	16.86	10.11	5.06
31	30.08	13.79	18.80	12.54	7.52	3.76
32	32.35	14.83	20.22	13.49	8.09	4.04
33	25.78	11.82	16.11	10.75	6.45	3.22
34	15.92	7.30	9.95	6.64	3.98	1.99
35	27.55	12.63	17.22	11.49	6.89	3.44
36	23.00	10.53	14.38	9.59	5.75	2.88
37	39.43	18.05	24.64	16.44	9.86	4.93
38	25.28	11.57	15.80	10.54	6.32	3.16
39	18.45	8.44	11.53	7.69	4.61	2.31
40	39.94	18.28	24.96	16.65	9.98	4.99
41	27.55	12.53	17.22	11.49	6.89	3.44
42	33.36	15.17	20.85	13.91	8.34	4.17

Continuación de Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
43	35.89	16.32	22.43	14.97	8.97	4.49
44	28.81	13.10	18.01	12.02	7.20	3.60
45	26.29	11.95	16.43	10.96	6.57	3.29
46	39.94	18.15	24.96	16.65	9.98	4.99
47	43.73	19.86	27.33	18.23	10.93	5.47
48	65.72	29.85	41.07	27.40	16.43	8.21
49	26.79	12.17	16.75	11.17	6.70	3.35
50	38.67	17.57	24.17	16.13	9.67	4.83
51	26.29	12.03	16.43	10.96	6.57	3.29
52	38.67	17.70	24.17	16.13	9.67	4.83
53	18.96	8.68	11.85	7.91	4.74	2.37
54	35.64	16.31	22.27	14.86	8.91	4.45
55	24.26	11.10	15.17	10.12	6.07	3.03
56	42.97	19.56	26.86	17.92	10.74	5.37
57	37.91	17.26	23.70	15.81	9.48	4.74
58	63.19	28.76	39.49	26.35	15.80	7.90
59	27.80	12.65	17.38	11.59	6.95	3.48
60	27.80	12.65	17.38	11.59	6.95	3.48
61	22.50	10.26	14.06	9.38	5.62	2.81
62	40.44	18.44	25.28	16.86	10.11	5.06
63	21.23	9.68	13.27	8.85	5.31	2.65
64	21.23	9.68	13.27	8.85	5.31	2.65
65	58.13	26.50	36.33	24.24	14.53	7.27
66	48.53	22.12	30.33	20.24	12.13	6.07
67	32.86	14.98	20.54	13.70	8.21	4.11
68	28.31	12.91	17.69	11.80	7.08	3.54
69	51.92	23.67	32.45	21.65	12.98	6.49
70	58.13	26.49	36.33	24.24	14.53	7.27

Continuación de Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
71	32.86	14.98	20.54	13.70	8.21	4.11
72	30.33	13.82	18.96	12.65	7.58	3.79
73	32.10	14.62	20.06	13.39	8.03	4.01
74	38.67	17.62	24.17	16.13	9.67	4.83
75	30.33	13.81	18.96	12.65	7.58	3.79
76	22.75	10.36	14.22	9.49	5.69	2.84
77	32.86	14.96	20.54	13.70	8.21	4.11
78	22.75	10.36	14.22	9.49	5.69	2.84
79	30.33	13.81	18.96	12.65	7.58	3.79
80	27.30	12.47	17.06	11.38	6.82	3.41
81	32.86	15.01	20.54	13.70	8.21	4.11
82	52.57	24.02	32.86	21.92	13.14	6.57
83	36.90	16.86	23.06	15.39	9.23	4.61
84	20.98	9.50	13.11	8.75	5.24	2.62
85	40.69	18.42	25.43	16.97	10.17	5.09
86	55.86	25.29	34.91	23.29	13.96	6.98
87	39.18	17.74	24.49	16.34	9.79	4.90
88	26.54	12.02	16.59	11.07	6.63	3.32
89	65.72	29.77	41.07	27.40	16.43	8.21
90	63.19	28.62	39.49	26.35	15.80	7.90
91	35.89	16.26	22.43	14.97	8.97	4.49
92	56.37	25.53	35.23	23.50	14.09	7.05
93	34.38	15.58	21.48	14.33	8.59	4.30
94	36.40	16.50	22.75	15.18	9.10	4.55
95	35.64	16.16	22.27	14.86	8.91	4.45
96	17.69	8.02	11.06	7.38	4.42	2.21
97	38.93	17.64	24.33	16.23	9.73	4.87
98	37.16	16.84	23.22	15.49	9.29	4.64

Continuación de Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
99	22.75	10.36	14.22	9.49	5.69	2.84
100	60.66	27.63	37.91	25.30	15.17	7.58
101	45.50	20.72	28.44	18.97	11.37	5.69
102	25.28	11.51	15.80	10.54	6.32	3.16
103	53.08	24.18	33.17	22.13	13.27	6.63
104	53.84	24.53	33.65	22.45	13.46	6.73
105	78.36	35.70	48.97	32.67	19.59	9.79
106	26.79	12.21	16.75	11.17	6.70	3.35
107	23.76	10.83	14.85	9.91	5.94	2.97
108	27.80	12.67	17.38	11.59	6.95	3.48
109	27.80	12.62	17.38	11.59	6.95	3.48
110	27.80	12.62	17.38	11.59	6.95	3.48
111	48.02	21.80	30.02	20.03	12.01	6.00
112	42.97	19.50	26.86	17.92	10.74	5.37
113	32.86	14.91	20.54	13.70	8.21	4.11
114	80.88	36.75	50.55	33.73	20.22	10.11
115	11.12	5.05	6.95	4.64	2.78	1.39
116	59.40	26.99	37.12	24.77	14.85	7.42
117	43.22	19.64	27.01	18.02	10.81	5.40
118	42.97	19.52	26.86	17.92	10.74	5.37
119	37.66	17.09	23.54	15.70	9.42	4.71
120	27.80	12.62	17.38	11.59	6.95	3.48
121	15.17	6.88	9.48	6.32	3.79	1.90
122	44.74	20.30	27.96	18.66	11.18	5.59
123	30.08	13.65	18.80	12.54	7.52	3.76
124	15.42	7.00	9.64	6.43	3.85	1.93
125	36.14	16.52	22.59	15.07	9.04	4.52
126	32.35	14.80	20.22	13.49	8.09	4.04

Continuación de Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
127	16.43	7.51	10.27	6.85	4.11	2.05
128	24.26	11.09	15.17	10.12	6.07	3.03
129	43.22	19.77	27.01	18.02	10.81	5.40
130	28.81	13.17	18.01	12.02	7.20	3.60
131	18.96	8.67	11.85	7.91	4.74	2.37
132	26.03	11.80	16.27	10.86	6.51	3.25
133	39.94	18.10	24.96	16.65	9.98	4.99
134	24.77	11.22	15.48	10.33	6.19	3.10
135	23.00	10.42	14.38	9.59	5.75	2.88
136	14.91	6.76	9.32	6.22	3.73	1.86
137	38.42	17.40	24.01	16.02	9.60	4.80
138	26.03	11.79	16.27	10.86	6.51	3.25
139	20.22	9.17	12.64	8.43	5.06	2.53
140	37.91	17.20	23.70	15.81	9.48	4.74
141	25.28	11.47	15.80	10.54	6.32	3.16
142	30.33	13.76	18.96	12.65	7.58	3.79
143	32.86	14.91	20.54	13.70	8.21	4.11
144	37.91	17.20	23.70	15.81	9.48	4.74
145	25.28	11.47	15.80	10.54	6.32	3.16
146	28.81	13.07	18.01	12.02	7.20	3.60
147	28.56	12.96	17.85	11.91	7.14	3.57
148	33.62	15.25	21.01	14.02	8.40	4.20
149	25.53	11.58	15.96	10.65	6.38	3.19
150	37.41	16.97	23.38	15.60	9.35	4.68
151	33.62	15.25	21.01	14.02	8.40	4.20
152	24.77	11.24	15.48	10.33	6.19	3.10
153	10.11	4.60	6.32	4.22	2.53	1.26
154	20.22	9.21	12.64	8.43	5.06	2.53

Continuación de Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
155	22.75	10.36	14.22	9.49	5.69	2.84
156	17.69	8.06	11.06	7.38	4.42	2.21
157	30.33	13.81	18.96	12.65	7.58	3.79
158	35.39	16.11	22.12	14.76	8.85	4.42
159	55.61	25.32	34.75	23.19	13.90	6.95
160	11.88	5.41	7.42	4.95	2.97	1.48
161	32.86	14.88	20.54	13.70	8.21	4.11
162	45.50	20.60	28.44	18.97	11.37	5.69
163	27.80	12.59	17.38	11.59	6.95	3.48
164	53.08	24.03	33.17	22.13	13.27	6.63
165	22.75	10.30	14.22	9.49	5.69	2.84
166	36.14	16.46	22.59	15.07	9.04	4.52
167	46.00	20.96	28.75	19.18	11.50	5.75
168	29.07	13.24	18.17	12.12	7.27	3.63
169	47.77	21.76	29.86	19.92	11.94	5.97
170	41.45	18.78	25.91	17.29	10.36	5.18
171	26.79	12.14	16.75	11.17	6.70	3.35
172	45.50	20.61	28.44	18.97	11.37	5.69
173	42.97	19.47	26.86	17.92	10.74	5.37
174	25.28	11.45	15.80	10.54	6.32	3.16
175	19.72	8.94	12.32	8.22	4.93	2.46
176	40.19	18.21	25.12	16.76	10.05	5.02
177	35.13	15.98	21.96	14.65	8.78	4.39
178	24.52	11.15	15.32	10.22	6.13	3.06
179	27.55	12.53	17.22	11.49	6.89	3.44
180	15.17	6.90	9.48	6.32	3.79	1.90
181	40.44	18.40	25.28	16.86	10.11	5.06
182	28.06	12.77	17.54	11.70	7.01	3.51

Continuación de Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
183	47.27	21.37	29.54	19.71	11.82	5.91
184	16.93	7.66	10.58	7.06	4.23	2.12
185	34.12	15.43	21.33	14.23	8.53	4.27
186	23.25	10.51	14.53	9.70	5.81	2.91
187	55.61	25.24	34.75	23.19	13.90	6.95
188	17.69	8.03	11.06	7.38	4.42	2.21
189	22.75	10.32	14.22	9.49	5.69	2.84
190	22.75	10.33	14.22	9.49	5.69	2.84
191	20.22	9.18	12.64	8.43	5.06	2.53
192	20.22	9.18	12.64	8.43	5.06	2.53
193	36.14	16.33	22.59	15.07	9.04	4.52
194	50.05	22.60	31.28	20.87	12.51	6.26
195	30.33	13.70	18.96	12.65	7.58	3.79
196	16.43	7.42	10.27	6.85	4.11	2.05
197	25.53	11.53	15.96	10.65	6.38	3.19
198	31.85	14.38	19.90	13.28	7.96	3.98
199	58.13	26.21	36.33	24.24	14.53	7.27
200	37.91	17.09	23.70	15.81	9.48	4.74
201	32.86	14.81	20.54	13.70	8.21	4.11
202	37.91	17.09	23.70	15.81	9.48	4.74
203	37.41	16.93	23.38	15.60	9.35	4.68
204	33.62	15.21	21.01	14.02	8.40	4.20
205	27.05	12.24	16.90	11.28	6.76	3.38
206	16.68	7.55	10.43	6.96	4.17	2.09
207	35.64	16.13	22.27	14.86	8.91	4.45
208	53.08	24.02	33.17	22.13	13.27	6.63
209	37.41	17.33	23.38	15.60	9.35	4.68
210	31.34	14.52	19.59	13.07	7.84	3.92

Continuación de Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
211	35.89	16.62	22.43	14.97	8.97	4.49
212	39.18	18.15	24.49	16.34	9.79	4.90
213	36.65	16.98	22.91	15.28	9.16	4.58
214	20.22	9.11	12.64	8.43	5.06	2.53
215	42.97	19.36	26.86	17.92	10.74	5.37
216	17.69	7.97	11.06	7.38	4.42	2.21
217	22.75	10.25	14.22	9.49	5.69	2.84
218	15.17	6.83	9.48	6.32	3.79	1.90
219	34.12	15.42	21.33	14.23	8.53	4.27
220	16.93	7.65	10.58	7.06	4.23	2.12
221	18.20	8.22	11.37	7.59	4.55	2.27
222	13.14	5.94	8.21	5.48	3.29	1.64
223	49.29	22.27	30.81	20.55	12.32	6.16
224	37.91	17.13	23.70	15.81	9.48	4.74
225	30.33	13.80	18.96	12.65	7.58	3.79
226	32.86	14.95	20.54	13.70	8.21	4.11
227	25.28	11.50	15.80	10.54	6.32	3.16
228	37.91	17.25	23.70	15.81	9.48	4.74
229	58.13	26.45	36.33	24.24	14.53	7.27
230	17.69	8.05	11.06	7.38	4.42	2.21
231	30.58	13.93	19.11	12.75	7.65	3.82
232	19.46	8.86	12.16	8.12	4.87	2.43
233	23.76	10.82	14.85	9.91	5.94	2.97
234	36.65	16.69	22.91	15.28	9.16	4.58
235	20.47	9.32	12.80	8.54	5.12	2.56
236	49.04	22.04	30.65	20.45	12.26	6.13
237	16.18	7.27	10.11	6.75	4.04	2.02
238	30.33	13.64	18.96	12.65	7.58	3.79

Continuación de Tabla 8. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo C

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
239	37.91	17.05	23.70	15.81	9.48	4.74
240	43.73	19.66	27.33	18.23	10.93	5.47
241	30.33	13.82	18.96	12.65	7.58	3.79
242	30.33	13.82	18.96	12.65	7.58	3.79
243	20.22	9.21	12.64	8.43	5.06	2.53
244	30.33	13.82	18.96	12.65	7.58	3.79
245	27.80	12.66	17.38	11.59	6.95	3.48
246	27.30	12.48	17.06	11.38	6.82	3.41
247	22.75	10.40	14.22	9.49	5.69	2.84
248	40.44	18.49	25.28	16.86	10.11	5.06
249	42.97	19.64	26.86	17.92	10.74	5.37
250	20.22	9.24	12.64	8.43	5.06	2.53
251	22.75	10.35	14.22	9.49	5.69	2.84
252	35.39	16.10	22.12	14.76	8.85	4.42
253	32.86	14.95	20.54	13.70	8.21	4.11
254	50.55	23.00	31.60	21.08	12.64	6.32

La tabla 9 muestra las dosis equivalentes que recibirían los cuidadores por encontrarse a un metro del paciente egresado 24 horas posteriores a la administración del ¹³¹I estimadas con el modelo de cálculo D.

Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
1	21.59	10.49	13.50	9.00	5.40	2.70
2	13.81	6.88	8.63	5.76	3.45	1.73
3	18.67	8.96	11.67	7.79	4.67	2.33
4	13.55	6.61	8.47	5.65	3.39	1.69
5	13.51	6.58	8.45	5.64	3.38	1.69

Continuación de Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
6	21.41	10.31	13.38	8.93	5.35	2.68
7	16.06	7.74	10.04	6.70	4.02	2.01
8	21.78	10.68	13.61	9.08	5.44	2.72
9	26.38	12.50	16.49	11.00	6.59	3.30
10	36.57	17.14	22.85	15.25	9.14	4.57
14	10.79	5.24	6.75	4.50	2.70	1.35
15	13.52	6.58	8.45	5.64	3.38	1.69
16	26.96	13.09	16.85	11.24	6.74	3.37
17	10.68	5.26	6.67	4.45	2.67	1.33
18	38.83	18.71	24.27	16.19	9.71	4.85
19	10.84	5.29	6.77	4.52	2.71	1.35
20	35.48	16.74	22.17	14.79	8.87	4.43
21	14.30	6.94	8.94	5.96	3.57	1.79
22	14.33	7.40	8.96	5.98	3.58	1.79
23	5.65	2.88	3.53	2.36	1.41	0.71
24	19.09	9.38	11.93	7.96	4.77	2.39
25	21.52	10.42	13.45	8.97	5.38	2.69
26	11.11	5.56	6.94	4.63	2.78	1.39
27	34.54	16.50	21.59	14.40	8.63	4.32
28	13.70	6.76	8.56	5.71	3.42	1.71
29	44.91	21.32	28.07	18.73	11.23	5.61
30	31.75	15.09	19.84	13.24	7.94	3.97
31	21.45	10.35	13.41	8.95	5.36	2.68
32	19.02	9.30	11.89	7.93	4.75	2.38
33	8.64	4.48	5.40	3.60	2.16	1.08
34	8.23	4.07	5.15	3.43	2.06	1.03
35	13.77	6.83	8.60	5.74	3.44	1.72
36	11.02	5.47	6.89	4.60	2.76	1.38

Continuación de Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
37	16.73	8.41	10.46	6.98	4.18	2.09
38	16.18	7.85	10.11	6.75	4.04	2.02
39	5.79	3.01	3.62	2.41	1.45	0.72
40	19.28	9.57	12.05	8.04	4.82	2.41
41	16.12	7.79	10.07	6.72	4.03	2.01
42	16.32	7.99	10.20	6.80	4.08	2.04
43	23.99	11.50	14.99	10.00	6.00	3.00
44	13.63	6.69	8.52	5.68	3.41	1.70
45	13.54	6.60	8.46	5.65	3.38	1.69
46	19.06	9.35	11.91	7.95	4.76	2.38
47	31.81	15.15	19.88	13.26	7.95	3.98
48	40.13	19.31	25.08	16.73	10.03	5.02
49	16.07	7.74	10.04	6.70	4.02	2.01
50	19.00	9.28	11.87	7.92	4.75	2.37
51	11.16	5.60	6.97	4.65	2.79	1.39
52	24.29	11.80	15.18	10.13	6.07	3.04
53	10.86	5.31	6.79	4.53	2.72	1.36
54	19.11	9.40	11.94	7.97	4.78	2.39
55	18.66	8.94	11.66	7.78	4.66	2.33
56	26.79	12.92	16.75	11.17	6.70	3.35
57	21.56	10.46	13.47	8.99	5.39	2.69
58	45.20	21.60	28.25	18.85	11.30	5.65
59	11.09	5.54	6.93	4.62	2.77	1.39
60	21.20	10.10	13.25	8.84	5.30	2.65
61	10.94	5.39	6.84	4.56	2.74	1.37
62	24.24	11.75	15.15	10.11	6.06	3.03
63	8.37	4.20	5.23	3.49	2.09	1.05
64	10.89	5.34	6.81	4.54	2.72	1.36

Continuación de Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
65	29.93	14.67	18.71	12.48	7.48	3.74
66	27.05	13.17	16.91	11.28	6.76	3.38
67	13.84	6.90	8.65	5.77	3.46	1.73
68	21.26	10.16	13.29	8.86	5.31	2.66
69	24.65	12.16	15.41	10.28	6.16	3.08
70	32.45	15.79	20.28	13.53	8.11	4.06
71	13.83	6.89	8.65	5.77	3.46	1.73
72	16.26	7.93	10.16	6.78	4.07	2.03
73	21.38	10.28	13.36	8.92	5.35	2.67
74	21.62	10.52	13.51	9.01	5.40	2.70
75	13.71	6.78	8.57	5.72	3.43	1.71
76	8.40	4.23	5.25	3.50	2.10	1.05
77	21.40	10.29	13.37	8.92	5.35	2.67
78	8.39	4.23	5.24	3.50	2.10	1.05
79	11.19	5.64	6.99	4.66	2.80	1.40
80	11.16	5.61	6.98	4.65	2.79	1.40
81	13.90	6.96	8.69	5.80	3.48	1.74
82	27.30	13.42	17.06	11.38	6.82	3.41
83	11.53	5.98	7.21	4.81	2.88	1.44
84	8.23	4.07	5.15	3.43	2.06	1.03
85	24.01	11.52	15.01	10.01	6.00	3.00
86	34.59	16.55	21.62	14.42	8.65	4.32
87	21.43	10.33	13.40	8.94	5.36	2.68
88	18.53	8.82	11.58	7.73	4.63	2.32
89	50.10	23.73	31.31	20.89	12.52	6.26
90	50.01	23.65	31.26	20.86	12.50	6.25
91	16.30	7.97	10.18	6.80	4.07	2.04
92	32.11	15.45	20.07	13.39	8.03	4.01

Continuación de Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
93	13.74	6.80	8.59	5.73	3.44	1.72
94	13.81	6.87	8.63	5.76	3.45	1.73
95	16.31	7.98	10.19	6.80	4.08	2.04
96	8.15	3.99	5.10	3.40	2.04	1.02
97	13.88	6.94	8.67	5.79	3.47	1.73
98	16.35	8.02	10.22	6.82	4.09	2.04
99	10.93	5.38	6.83	4.56	2.73	1.37
100	40.09	19.28	25.06	16.72	10.02	5.01
101	16.80	8.47	10.50	7.01	4.20	2.10
102	13.55	6.61	8.47	5.65	3.39	1.69
103	17.07	8.75	10.67	7.12	4.27	2.13
104	27.23	13.35	17.02	11.35	6.81	3.40
105	55.92	26.78	34.95	23.32	13.98	6.99
106	13.61	6.67	8.51	5.68	3.40	1.70
107	8.44	4.28	5.28	3.52	2.11	1.06
108	16.17	7.84	10.10	6.74	4.04	2.02
109	16.09	7.76	10.05	6.71	4.02	2.01
110	13.56	6.62	8.47	5.65	3.39	1.69
111	42.03	19.83	26.27	17.53	10.51	5.25
112	29.22	13.96	18.27	12.19	7.31	3.65
113	28.89	13.63	18.06	12.05	7.22	3.61
114	17.90	9.58	11.19	7.47	4.48	2.24
115	5.43	2.66	3.40	2.27	1.36	0.68
116	42.45	20.25	26.53	17.70	10.61	5.31
117	34.32	16.28	21.45	14.31	8.58	4.29
118	24.20	11.71	15.13	10.09	6.05	3.03
119	23.98	11.49	14.99	10.00	6.00	3.00
120	21.13	10.03	13.21	8.81	5.28	2.64

Continuación de Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
121	8.08	3.92	5.05	3.37	2.02	1.01
122	34.33	16.29	21.45	14.31	8.58	4.29
123	21.22	10.11	13.26	8.85	5.30	2.65
124	8.09	3.93	5.06	3.37	2.02	1.01
125	22.63	10.98	14.15	9.44	5.66	2.83
126	18.97	9.25	11.86	7.91	4.74	2.37
127	7.46	3.71	4.66	3.11	1.87	0.93
128	12.57	6.18	7.86	5.24	3.14	1.57
129	26.98	13.10	16.86	11.25	6.75	3.37
130	19.82	9.55	12.39	8.27	4.96	2.48
131	9.34	4.62	5.84	3.90	2.34	1.17
132	16.50	7.89	10.31	6.88	4.12	2.06
133	26.04	12.44	16.28	10.86	6.51	3.26
134	17.22	8.20	10.76	7.18	4.30	2.15
135	12.36	5.97	7.72	5.15	3.09	1.54
136	7.55	3.66	4.72	3.15	1.89	0.94
137	20.92	10.10	13.08	8.73	5.23	2.62
138	14.97	7.20	9.36	6.24	3.74	1.87
139	15.83	7.50	9.89	6.60	3.96	1.98
140	31.57	14.92	19.73	13.16	7.89	3.95
141	21.05	9.94	13.15	8.78	5.26	2.63
142	23.74	11.25	14.84	9.90	5.93	2.97
143	21.29	10.19	13.31	8.88	5.32	2.66
144	18.93	9.22	11.83	7.89	4.73	2.37
145	10.93	5.38	6.83	4.56	2.73	1.37
146	11.05	5.50	6.91	4.61	2.76	1.38
147	13.57	6.63	8.48	5.66	3.39	1.70
148	26.38	12.50	16.49	11.00	6.59	3.30

Continuación de Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
149	13.47	6.53	8.42	5.62	3.37	1.68
150	18.91	9.20	11.82	7.89	4.73	2.36
151	18.79	9.08	11.74	7.84	4.70	2.35
152	10.92	5.37	6.82	4.55	2.73	1.36
160	5.48	2.70	3.42	2.28	1.37	0.68
161	28.32	13.33	17.70	11.81	7.08	3.54
162	31.75	15.10	19.84	13.24	7.94	3.97
163	13.50	6.57	8.44	5.63	3.38	1.69
164	26.93	13.05	16.83	11.23	6.73	3.37
165	15.87	7.55	9.92	6.62	3.97	1.98
166	21.52	10.42	13.45	8.97	5.38	2.69
167	24.40	11.91	15.25	10.18	6.10	3.05
168	16.20	7.88	10.13	6.76	4.05	2.03
169	32.04	15.39	20.03	13.36	8.01	4.01
170	23.30	11.23	14.56	9.72	5.83	2.91
171	15.51	7.46	9.69	6.47	3.88	1.94
172	27.98	13.41	17.49	11.67	7.00	3.50
173	26.64	12.76	16.65	11.11	6.66	3.33
174	10.66	5.25	6.66	4.45	2.67	1.33
175	10.23	4.96	6.40	4.27	2.56	1.28
176	22.77	10.97	14.23	9.49	5.69	2.85
177	23.97	11.48	14.98	10.00	5.99	3.00
178	13.49	6.55	8.43	5.63	3.37	1.69
179	13.60	6.66	8.50	5.67	3.40	1.70
180	8.11	3.95	5.07	3.38	2.03	1.01
181	36.80	17.37	23.00	15.34	9.20	4.60
182	25.51	12.05	15.94	10.64	6.38	3.19
183	29.72	14.18	18.58	12.39	7.43	3.72

Continuación de Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
184	10.87	5.18	6.79	4.53	2.72	1.36
185	30.85	14.47	19.28	12.86	7.71	3.86
186	15.86	7.54	9.92	6.62	3.97	1.98
187	39.75	18.93	24.84	16.58	9.94	4.97
188	8.42	4.12	5.26	3.51	2.11	1.05
189	12.38	6.00	7.74	5.16	3.09	1.55
190	9.60	4.74	6.00	4.00	2.40	1.20
191	15.84	7.51	9.90	6.60	3.96	1.98
192	13.30	6.37	8.32	5.55	3.33	1.66
193	26.08	12.34	16.30	10.87	6.52	3.26
194	44.93	21.07	28.08	18.74	11.23	5.62
195	16.30	7.84	10.19	6.80	4.08	2.04
196	7.56	3.67	4.72	3.15	1.89	0.94
197	16.92	8.04	10.58	7.06	4.23	2.12
198	20.39	9.71	12.74	8.50	5.10	2.55
199	31.93	15.28	19.96	13.32	7.98	3.99
200	21.27	10.16	13.29	8.87	5.32	2.66
201	11.01	5.46	6.88	4.59	2.75	1.38
202	21.26	10.16	13.29	8.87	5.32	2.66
203	24.65	11.75	15.41	10.28	6.16	3.08
204	19.48	9.35	12.18	8.12	4.87	2.44
205	14.48	6.98	9.05	6.04	3.62	1.81
206	10.87	5.18	6.80	4.53	2.72	1.36
207	20.81	9.98	13.00	8.68	5.20	2.60
208	38.03	18.04	23.77	15.86	9.51	4.75
209	32.19	15.53	20.12	13.42	8.05	4.02
210	26.83	12.95	16.77	11.19	6.71	3.35
211	16.94	8.62	10.59	7.07	4.24	2.12

Continuación de Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
212	24.69	12.20	15.43	10.30	6.17	3.09
213	19.51	9.80	12.19	8.14	4.88	2.44
214	13.19	6.25	8.24	5.50	3.30	1.65
215	34.03	15.99	21.27	14.19	8.51	4.25
216	18.17	8.46	11.36	7.58	4.54	2.27
217	23.37	10.88	14.60	9.74	5.84	2.92
218	15.58	7.25	9.74	6.50	3.89	1.95
219	16.43	7.96	10.27	6.85	4.11	2.05
220	10.86	5.17	6.79	4.53	2.72	1.36
221	9.63	4.64	6.02	4.02	2.41	1.20
222	8.73	4.15	5.45	3.64	2.18	1.09
223	31.78	15.12	19.86	13.25	7.94	3.97
224	22.09	10.57	13.80	9.21	5.52	2.76
225	20.78	9.95	12.99	8.66	5.19	2.60
226	21.37	10.27	13.36	8.91	5.34	2.67
227	12.51	6.13	7.82	5.22	3.13	1.56
228	23.32	11.24	14.57	9.72	5.83	2.91
229	38.43	18.45	24.02	16.03	9.61	4.80
230	3.15	1.76	1.97	1.31	0.79	0.39
231	21.31	10.21	13.32	8.89	5.33	2.66
232	10.81	5.26	6.75	4.51	2.70	1.35
233	18.54	8.83	11.59	7.73	4.63	2.32
234	24.05	11.56	15.03	10.03	6.01	3.01
235	15.89	7.57	9.93	6.63	3.97	1.99
236	41.69	19.49	26.06	17.38	10.42	5.21
237	10.52	4.97	6.58	4.39	2.63	1.32
238	20.99	9.89	13.12	8.75	5.25	2.62
239	11.08	5.53	6.93	4.62	2.77	1.39

Continuación de Tabla 9. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo D

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
240	36.51	17.08	22.82	15.22	9.13	4.56
241	26.37	12.49	16.48	10.99	6.59	3.30
242	8.67	4.51	5.42	3.62	2.17	1.08
243	13.36	6.43	8.35	5.57	3.34	1.67
244	21.31	10.21	13.32	8.89	5.33	2.66
245	18.69	8.98	11.68	7.79	4.67	2.34
246	21.28	10.18	13.30	8.87	5.32	2.66
247	18.58	8.86	11.61	7.75	4.64	2.32
248	39.48	18.67	24.68	16.46	9.87	4.94
249	37.05	17.63	23.16	15.45	9.26	4.63
250	21.01	9.90	13.13	8.76	5.25	2.63
251	12.68	6.15	7.92	5.29	3.17	1.58
252	27.52	13.09	17.20	11.48	6.88	3.44
253	34.01	15.97	21.26	14.18	8.50	4.25
254	35.64	17.04	22.27	14.86	8.91	4.45

La tabla 10 muestra las dosis equivalentes que recibirían los cuidadores por encontrarse a un metro del paciente egresado 24 horas posteriores a la administración del ¹³¹I estimadas con el modelo de cálculo E.

Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
1	3.24	1.91	2.03	1.35	0.81	0.41
2	2.78	1.63	1.74	1.16	0.69	0.35
3	2.32	1.36	1.45	0.97	0.58	0.29
4	2.32	1.34	1.45	0.97	0.58	0.29
5	2.22	1.29	1.39	0.93	0.56	0.28
6	3.01	1.75	1.88	1.26	0.75	0.38

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
7	2.27	1.32	1.42	0.95	0.57	0.28
8	3.94	2.28	2.46	1.64	0.98	0.49
9	3.24	1.83	2.03	1.35	0.81	0.41
10	3.47	1.96	2.17	1.45	0.87	0.43
11	2.13	1.22	1.33	0.89	0.53	0.27
12	2.85	1.63	1.78	1.19	0.71	0.36
13	4.22	2.41	2.63	1.76	1.05	0.53
14	1.67	0.97	1.04	0.70	0.42	0.21
15	2.15	1.26	1.35	0.90	0.54	0.27
16	4.12	2.41	2.58	1.72	1.03	0.52
17	2.08	1.21	1.30	0.87	0.52	0.26
18	5.56	3.22	3.47	2.32	1.39	0.69
19	1.85	1.07	1.16	0.77	0.46	0.23
20	3.47	2.01	2.17	1.45	0.87	0.43
21	2.32	1.34	1.45	0.97	0.58	0.29
22	3.94	2.32	2.46	1.64	0.98	0.49
23	1.39	0.82	0.87	0.58	0.35	0.17
24	3.24	1.91	2.03	1.35	0.81	0.41
25	3.01	1.78	1.88	1.26	0.75	0.38
26	2.32	1.37	1.45	0.97	0.58	0.29
27	4.40	2.53	2.75	1.84	1.10	0.55
28	2.78	1.60	1.74	1.16	0.69	0.35
29	5.10	2.94	3.19	2.13	1.27	0.64
30	3.71	2.13	2.32	1.55	0.93	0.46
31	2.76	1.64	1.72	1.15	0.69	0.34
32	2.96	1.76	1.85	1.24	0.74	0.37
33	2.36	1.40	1.48	0.99	0.59	0.30
34	1.46	0.87	0.91	0.61	0.36	0.18

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
35	2.52	1.50	1.58	1.05	0.63	0.32
36	2.11	1.25	1.32	0.88	0.53	0.26
37	3.61	2.14	2.26	1.51	0.90	0.45
38	2.32	1.37	1.45	0.97	0.58	0.29
39	1.69	1.00	1.06	0.71	0.42	0.21
40	3.66	2.16	2.29	1.53	0.91	0.46
41	2.52	1.45	1.58	1.05	0.63	0.32
42	3.06	1.76	1.91	1.28	0.76	0.38
43	3.29	1.89	2.06	1.37	0.82	0.41
44	2.64	1.51	1.65	1.10	0.66	0.33
45	2.41	1.38	1.51	1.00	0.60	0.30
46	3.66	2.10	2.29	1.53	0.91	0.46
47	4.01	2.29	2.50	1.67	1.00	0.50
48	6.02	3.44	3.76	2.51	1.51	0.75
49	2.46	1.40	1.53	1.02	0.61	0.31
50	3.54	2.03	2.22	1.48	0.89	0.44
51	2.41	1.42	1.51	1.00	0.60	0.30
52	3.54	2.09	2.22	1.48	0.89	0.44
53	1.74	1.03	1.09	0.72	0.43	0.22
54	3.27	1.93	2.04	1.36	0.82	0.41
55	2.22	1.31	1.39	0.93	0.56	0.28
56	3.94	2.27	2.46	1.64	0.98	0.49
57	3.47	2.00	2.17	1.45	0.87	0.43
58	5.79	3.34	3.62	2.41	1.45	0.72
59	2.55	1.47	1.59	1.06	0.64	0.32
60	2.55	1.47	1.59	1.06	0.64	0.32
61	2.06	1.20	1.29	0.86	0.52	0.26
62	3.71	2.16	2.32	1.55	0.93	0.46

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
63	1.95	1.13	1.22	0.81	0.49	0.24
64	1.95	1.13	1.22	0.81	0.49	0.24
65	5.33	3.10	3.33	2.22	1.33	0.67
66	4.45	2.58	2.78	1.85	1.11	0.56
67	3.01	1.75	1.88	1.26	0.75	0.38
68	2.59	1.51	1.62	1.08	0.65	0.32
69	4.76	2.77	2.97	1.98	1.19	0.59
70	5.33	3.09	3.33	2.22	1.33	0.67
71	3.01	1.75	1.88	1.26	0.75	0.38
72	2.78	1.61	1.74	1.16	0.69	0.35
73	2.94	1.71	1.84	1.23	0.74	0.37
74	3.54	2.05	2.22	1.48	0.89	0.44
75	2.78	1.61	1.74	1.16	0.69	0.35
76	2.08	1.21	1.30	0.87	0.52	0.26
77	3.01	1.74	1.88	1.26	0.75	0.38
78	2.08	1.20	1.30	0.87	0.52	0.26
79	2.78	1.61	1.74	1.16	0.69	0.35
80	2.50	1.47	1.56	1.04	0.63	0.31
81	3.01	1.77	1.88	1.26	0.75	0.38
82	4.82	2.83	3.01	2.01	1.20	0.60
83	3.38	1.99	2.11	1.41	0.85	0.42
84	1.92	1.08	1.20	0.80	0.48	0.24
85	3.73	2.10	2.33	1.56	0.93	0.47
86	5.12	2.88	3.20	2.13	1.28	0.64
87	3.59	2.02	2.24	1.50	0.90	0.45
88	2.43	1.37	1.52	1.01	0.61	0.30
89	6.02	3.40	3.76	2.51	1.51	0.75

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
90	5.79	3.27	3.62	2.41	1.45	0.72
91	3.29	1.85	2.06	1.37	0.82	0.41
92	5.17	2.91	3.23	2.15	1.29	0.65
93	3.15	1.78	1.97	1.31	0.79	0.39
94	3.34	1.89	2.08	1.39	0.83	0.42
95	3.27	1.85	2.04	1.36	0.82	0.41
96	1.62	0.92	1.01	0.68	0.41	0.20
97	3.57	2.02	2.23	1.49	0.89	0.45
98	3.41	1.92	2.13	1.42	0.85	0.43
99	2.08	1.21	1.30	0.87	0.52	0.26
100	5.56	3.22	3.47	2.32	1.39	0.69
101	4.17	2.41	2.61	1.74	1.04	0.52
102	2.32	1.34	1.45	0.97	0.58	0.29
103	4.86	2.82	3.04	2.03	1.22	0.61
104	4.93	2.86	3.08	2.06	1.23	0.62
105	7.18	4.17	4.49	2.99	1.80	0.90
106	2.46	1.42	1.53	1.02	0.61	0.31
107	2.18	1.26	1.36	0.91	0.54	0.27
108	2.55	1.48	1.59	1.06	0.64	0.32
109	2.55	1.45	1.59	1.06	0.64	0.32
110	2.55	1.45	1.59	1.06	0.64	0.32
111	4.40	2.51	2.75	1.84	1.10	0.55
112	3.94	2.24	2.46	1.64	0.98	0.49
113	3.01	1.71	1.88	1.26	0.75	0.38
114	7.41	4.24	4.63	3.09	1.85	0.93
115	1.02	0.58	0.64	0.43	0.25	0.13
116	5.44	3.11	3.40	2.27	1.36	0.68

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
117	3.96	2.27	2.48	1.65	0.99	0.50
118	3.94	2.25	2.46	1.64	0.98	0.49
119	3.45	1.96	2.16	1.44	0.86	0.43
120	2.55	1.45	1.59	1.06	0.64	0.32
121	1.39	0.79	0.87	0.58	0.35	0.17
122	4.10	2.33	2.56	1.71	1.03	0.51
123	2.76	1.57	1.72	1.15	0.69	0.34
124	1.41	0.80	0.88	0.59	0.35	0.18
125	3.31	1.95	2.07	1.38	0.83	0.41
126	2.96	1.75	1.85	1.24	0.74	0.37
127	1.51	0.89	0.94	0.63	0.38	0.19
128	2.22	1.31	1.39	0.93	0.56	0.28
129	3.96	2.34	2.48	1.65	0.99	0.50
130	2.64	1.55	1.65	1.10	0.66	0.33
131	1.74	1.02	1.09	0.72	0.43	0.22
132	2.39	1.35	1.49	0.99	0.60	0.30
133	3.66	2.07	2.29	1.53	0.91	0.46
134	2.27	1.28	1.42	0.95	0.57	0.28
135	2.11	1.19	1.32	0.88	0.53	0.26
136	1.37	0.77	0.85	0.57	0.34	0.17
137	3.52	1.99	2.20	1.47	0.88	0.44
138	2.39	1.35	1.49	0.99	0.60	0.30
139	1.85	1.05	1.16	0.77	0.46	0.23
140	3.47	1.97	2.17	1.45	0.87	0.43
141	2.32	1.32	1.45	0.97	0.58	0.29
142	2.78	1.58	1.74	1.16	0.69	0.35
143	3.01	1.71	1.88	1.26	0.75	0.38

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
144	3.47	1.97	2.17	1.45	0.87	0.43
145	2.32	1.32	1.45	0.97	0.58	0.29
146	2.64	1.50	1.65	1.10	0.66	0.33
147	2.62	1.49	1.64	1.09	0.65	0.33
148	3.08	1.75	1.93	1.28	0.77	0.39
149	2.34	1.33	1.46	0.98	0.58	0.29
150	3.43	1.95	2.14	1.43	0.86	0.43
151	3.08	1.75	1.93	1.28	0.77	0.39
152	2.27	1.29	1.42	0.95	0.57	0.28
153	0.93	0.54	0.58	0.39	0.23	0.12
154	1.85	1.07	1.16	0.77	0.46	0.23
155	2.08	1.21	1.30	0.87	0.52	0.26
156	1.62	0.94	1.01	0.68	0.41	0.20
157	2.78	1.61	1.74	1.16	0.69	0.35
158	3.24	1.87	2.03	1.35	0.81	0.41
159	5.10	2.95	3.19	2.13	1.27	0.64
160	1.09	0.63	0.68	0.45	0.27	0.14
161	3.01	1.69	1.88	1.26	0.75	0.38
162	4.17	2.35	2.61	1.74	1.04	0.52
163	2.55	1.43	1.59	1.06	0.64	0.32
164	4.86	2.74	3.04	2.03	1.22	0.61
165	2.08	1.17	1.30	0.87	0.52	0.26
166	3.31	1.92	2.07	1.38	0.83	0.41
167	4.22	2.44	2.63	1.76	1.05	0.53
168	2.66	1.54	1.66	1.11	0.67	0.33
169	4.38	2.53	2.74	1.83	1.09	0.55
170	3.80	2.14	2.37	1.58	0.95	0.47

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
171	2.46	1.39	1.53	1.02	0.61	0.31
172	4.17	2.35	2.61	1.74	1.04	0.52
173	3.94	2.22	2.46	1.64	0.98	0.49
174	2.32	1.31	1.45	0.97	0.58	0.29
175	1.81	1.02	1.13	0.75	0.45	0.23
176	3.68	2.08	2.30	1.54	0.92	0.46
177	3.22	1.85	2.01	1.34	0.80	0.40
178	2.25	1.29	1.40	0.94	0.56	0.28
179	2.52	1.45	1.58	1.05	0.63	0.32
180	1.39	0.80	0.87	0.58	0.35	0.17
181	3.71	2.13	2.32	1.55	0.93	0.46
182	2.57	1.48	1.61	1.07	0.64	0.32
183	4.33	2.42	2.71	1.81	1.08	0.54
184	1.55	0.87	0.97	0.65	0.39	0.19
185	3.13	1.75	1.95	1.30	0.78	0.39
186	2.13	1.19	1.33	0.89	0.53	0.27
187	5.10	2.90	3.19	2.13	1.27	0.64
188	1.62	0.92	1.01	0.68	0.41	0.20
189	2.08	1.19	1.30	0.87	0.52	0.26
190	2.08	1.19	1.30	0.87	0.52	0.26
191	1.85	1.06	1.16	0.77	0.46	0.23
192	1.85	1.05	1.16	0.77	0.46	0.23
193	3.31	1.84	2.07	1.38	0.83	0.41
194	4.59	2.55	2.87	1.91	1.15	0.57
195	2.78	1.54	1.74	1.16	0.69	0.35
196	1.51	0.84	0.94	0.63	0.38	0.19
197	2.34	1.30	1.46	0.98	0.58	0.29

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
198	2.92	1.62	1.82	1.22	0.73	0.36
199	5.33	2.93	3.33	2.22	1.33	0.67
200	3.47	1.91	2.17	1.45	0.87	0.43
201	3.01	1.65	1.88	1.26	0.75	0.38
202	3.47	1.91	2.17	1.45	0.87	0.43
203	3.43	1.92	2.14	1.43	0.86	0.43
204	3.08	1.73	1.93	1.28	0.77	0.39
205	2.48	1.39	1.55	1.03	0.62	0.31
206	1.53	0.86	0.96	0.64	0.38	0.19
207	3.27	1.83	2.04	1.36	0.82	0.41
208	4.86	2.73	3.04	2.03	1.22	0.61
209	3.43	2.12	2.14	1.43	0.86	0.43
210	2.87	1.77	1.80	1.20	0.72	0.36
211	3.29	2.03	2.06	1.37	0.82	0.41
212	3.59	2.22	2.24	1.50	0.90	0.45
213	3.36	2.07	2.10	1.40	0.84	0.42
214	1.85	1.02	1.16	0.77	0.46	0.23
215	3.94	2.16	2.46	1.64	0.98	0.49
216	1.62	0.89	1.01	0.68	0.41	0.20
217	2.08	1.14	1.30	0.87	0.52	0.26
218	1.39	0.76	0.87	0.58	0.35	0.17
219	3.13	1.74	1.95	1.30	0.78	0.39
220	1.55	0.86	0.97	0.65	0.39	0.19
221	1.67	0.93	1.04	0.70	0.42	0.21
222	1.20	0.67	0.75	0.50	0.30	0.15
223	4.52	2.51	2.82	1.88	1.13	0.56
224	3.47	1.93	2.17	1.45	0.87	0.43

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
225	2.78	1.60	1.74	1.16	0.69	0.35
226	3.01	1.73	1.88	1.26	0.75	0.38
227	2.32	1.33	1.45	0.97	0.58	0.29
228	3.47	2.00	2.17	1.45	0.87	0.43
229	5.33	3.07	3.33	2.22	1.33	0.67
230	1.62	0.93	1.01	0.68	0.41	0.20
231	2.80	1.62	1.75	1.17	0.70	0.35
232	1.78	1.03	1.11	0.74	0.45	0.22
233	2.18	1.26	1.36	0.91	0.54	0.27
234	3.36	1.94	2.10	1.40	0.84	0.42
235	1.88	1.08	1.17	0.78	0.47	0.23
236	4.49	2.43	2.81	1.87	1.12	0.56
237	1.48	0.80	0.93	0.62	0.37	0.19
238	2.78	1.50	1.74	1.16	0.69	0.35
239	3.47	1.88	2.17	1.45	0.87	0.43
240	4.01	2.17	2.50	1.67	1.00	0.50
241	2.78	1.61	1.74	1.16	0.69	0.35
242	2.78	1.61	1.74	1.16	0.69	0.35
243	1.85	1.07	1.16	0.77	0.46	0.23
244	2.78	1.61	1.74	1.16	0.69	0.35
245	2.55	1.48	1.59	1.06	0.64	0.32
246	2.50	1.47	1.56	1.04	0.63	0.31
247	2.08	1.23	1.30	0.87	0.52	0.26
248	3.71	2.18	2.32	1.55	0.93	0.46
249	3.94	2.32	2.46	1.64	0.98	0.49
250	1.85	1.09	1.16	0.77	0.46	0.23
251	2.08	1.20	1.30	0.87	0.52	0.26

Continuación de Tabla 10. Dosis equivalentes estimadas con el modelo de calculo E

Paciente	Suposición 1 [mSv]	Suposición 2 [mSv]	Suposición 3 [mSv]	Suposición 4 [mSv]	Suposición 5 [mSv]	Suposición 6 [mSv]
252	3.24	1.87	2.03	1.35	0.81	0.41
253	3.01	1.73	1.88	1.26	0.75	0.38
254	4.63	2.67	2.90	1.93	1.16	0.58

Referencias

1. Association AT. 2015 American Thyroid Association Management Guidelines for Adult Patients with Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer. 2016;26(1):1-133. doi:10.1089/thy.2015.0020
2. IAEA I. *Safety Reports Series No. 63 Release of Patients After Radionuclide Therapy.*
3. Energía S de. *NORMA Oficial Mexicana NOM-013-NUCL-2009, Requerimientos de Seguridad Radiológica Para Egresar a Pacientes a Quienes Se Les Ha Administrado Material Radiactivo.*; 2009.
4. Gonzáelz J, Cajas P. Protocolo de Cáncer Diferenciado de Tiroides. 2002:1-12.
5. México. Reglamento General de Seguridad Radiológica. *Publ en el D Of la Fed el.* 1988. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Reglamento+general+de+seguridad+radiologica#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Reglamento+General+de+Seguridad+Radiológica%230>.
6. Commision USNR. Regulatory Guide 8 . 39 Release of Patients Administered Radioactive Materials. *Regul Guid.* 1997;75(April).
7. ICRP. *Las Recomendaciones 2007 de La Comisión Internacional de Protección Radiológica.*; 2007.
8. Sisson JC, Freitas J, McDougall IR, et al. Radiation safety in the treatment of patients with thyroid diseases by radioiodine ¹³¹i: practice recommendations of the american thyroid association. *Thyroid.* 2011;21(4):335-346. doi:10.1089/thy.2010.0403
9. Agency IAE. *IAEA Position Statement On Release Of Patients After Radionuclide Therapy.*
10. Ramírez Garzón YT. Medición de la exposición a la radiación en familiares de pacientes tratados con I131 por patología tiroidea. 2011.
11. Herrera JA. La protección radiológica en el tratamiento con I-131 en el cáncer diferenciado de tiroides: recomendaciones en la implementación de un tratamiento que no requiera la hospitalización del paciente. 210AD.
12. Carlos Martínez Duncker LMHL. Normatividad para la administración de yodo-131 con fines de diagnóstico y / o tratamiento en México.2003.
13. ICRP. ICRP Publication 26 Recommendations of the ICRP. 1977. doi:10.1007/978-3-642-03902-7-134
14. Víquez IMT. Dosimetría interna en pacientes con cáncer diferenciado de tiroides tratados

- con I131: Estimación de una dosis terapéutica efectiva. 2012.
15. Schunke, Schulte, Schumacher, Voll W. *Prometheus. Texto y Atlas de Anatomía*.
 16. Association AT. Cancer de Tiroides (de tipo Papilar y folicular). 2017:www.thyroid.org.
 17. Rivas J de J del R. Dosimetría interna personalizada en 3D para pacientes con cáncer diferenciado de tiroides tratados con I131. 2014.
 18. Brandan N, Llanos I, Horak F, Tannuri H, Rodríguez A. Hormonas Tiroideas. 2014.
 19. Granados GM, León TA, Guerrero HJ, Zaki TA. Cáncer diferenciado de tiroides: Una antigua enfermedad con nuevos conocimientos. *Gac Med Mex*. 2014;150(1):65-77.
 20. Survivors TC. Guía Básica del Cáncer Tiroideo.
 21. Knoll GE. *Radiation Detection and Measurement*.; 2000.
 22. Cherry SSJPM. *Physics in Nuclear Medicine*.; 2012.
 23. *Iodine 131*.; 2006. <http://www.nndc.bnl.gov/mird/>.
 24. nchps.org. Nuclide Safety Data Sheet Iodine-131. www.nchps.org.
 25. Smith DS, Stabin MG. Exposure rate constants and lead shielding values for over 1,100 radionuclides. *Health Phys*. 2012;102(3):271-291. doi:10.1097/HP.0b013e318235153a
 26. Unger L. Specific Gamma-Ray Dose Constants for Nuclides Important to Dosimetry and Radiological Assessment. *Oak Ridge Natl Lab*.
 27. ICRP. *ICRP Publication 107 Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations*.; 2008.
 28. Attix FH. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*.Pdf.; 2004. <http://www-f9.ijs.si/~mm/Attix - Introduction to radiological physics and radiation dosimetry.pdf>.
 29. Energía S de. Norma Oficial Mexicana NOM-001-NUCL-2013, Factores para el cálculo del equivalente de dosis. 2013.
 30. ICRP. ICRP Publication 60 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 1991.
 31. ICRP. ICRP Publication 94 Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides. 2004. doi:10.1007/978-3-642-03902-7-134
 32. ICRP. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. *ICRP Publ 53*. 1998:1-22. doi:10.1007/978-3-642-03902-7-134