

Dosis en los Órganos Internos de una Embarazada Debida al I¹³¹ retenido en su Glándula Tiroides

Areli Arcos-Pichardo, Héctor René Vega-Carrillo, Eduardo Manzanares-Acuña
Unidades Académicas de Estudios Nucleares e Ingeniería Eléctrica
Universidad Autónoma de Zacatecas
C. Ciprés 10, Fracc. La Peñuela, 98068 Zacatecas, Zac. México
fermineutron@yahoo.com; emanz_44@yahoo.com

Raquel Barquero
Hospital Universitario del Río Hortega
E-47010 Valladolid, España
rbarquero@hurh.sacyl.es

Resumen

Se ha calculado la dosis absorbida por los órganos internos de una mujer con tres meses de embarazo, cuando su tiroides tiene I-131. El cálculo se realizó utilizando métodos Monte Carlo donde se diseñó un modelo tridimensional del cuerpo de la embarazada y el término fuente se localizó en su glándula tiroides. Los fotones se transportaron desde la tiroides al resto del cuerpo y se determinó la energía absorbida por unidad de masa en cerebro, estómago, corazón, riñones, hígado, pulmones, ovarios, útero, timo, páncreas y el bazo. Este mismo modelo femenino se utilizó para determinar dos factores de conversión de actividad retenida a dosis ambiental equivalente y a kerma en aire. El uso de estos factores permite determinar el riesgo que representa este tipo de pacientes cuando son liberados y se convierten en fuentes ambulatorias. De este estudio se encontró que el timo absorbe la mayor dosis, mientras que los ovarios y el útero absorben la menor dosis.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de técnicas que utilizan radiación ionizante con fines de diagnóstico o tratamiento en pacientes generan un alto nivel de ansiedad en el paciente, sus familiares así como en el personal médico que lo atiende. Esta situación de ansiedad es aún mayor si la paciente es una embarazada. [1] El caso de mujeres cuya profesión las habilita como personal ocupacionalmente expuesto

(POE) también se produce un cierto nivel de ansiedad cuando se presenta una condición de embarazo.

Es una práctica cotidiana que cuando una paciente deba someterse a cualquier procedimiento que implique el uso de radiación ionizante se le cuestione sobre su condición de embarazo; incluso, se recomienda que declare si existe sospecha o certeza de esta condición. La información proporcionada permite que el personal médico realice un mejor análisis de riesgo o bien procure el uso de técnicas alternas.

En algunos procedimientos de diagnóstico donde se utilizan los rayos x el útero se ve expuesto de manera directa o bien en forma indirecta por la dispersión de estos fotones en el cuerpo de la paciente. En otro tipo de estudios donde se utilizan radiofármacos que se concentran en diversos órganos la exposición del útero se da cuando el fármaco es eliminado a través de las vías urinarias. En el caso de padecimientos relacionados con la glándula tiroides y donde se vuelve indispensable el uso del I-131, desde su administración hasta su captación por la glándula transcurre un cierto tiempo durante el cual el radioiodo se encuentra distribuido en todo el cuerpo a través del torrente sanguíneo y es en este periodo cuando el producto sufre la mayor exposición en virtud de comparte el flujo sanguíneo con la madre. Eventualmente el radioiodo se concentra en el tejido tiroideo y es eliminado del cuerpo a través de la vida media efectiva; durante este proceso los órganos de la paciente se exponen a los fotones que surgen de la glándula tiroides.

El I-131 puede llegar a dañar tejidos sensibles como las glándulas salivales, pulmones, médula ósea y las gónadas. Los efectos indeseables de este radioisótopo dependen del género y la edad del paciente. [3] Otro factor importante del uso de este radioisótopo es que, una vez administrado, el paciente se convierte en una fuente ambulatoria. [2]

Las enfermedades de la tiroides ocupan el segundo lugar de los desordenes endocrinos observados en las mujeres en edad reproductiva, en algunas de éstas la alternativa es el uso de I-131 donde tanto la embarazada como el producto son particularmente vulnerables a los efectos adversos de la radiación [4] Una situación similar se presenta en el uso de radiografía con fines de diagnóstico en la obstetricia, donde, de ser posible, se seleccionan métodos alternativos como el ultrasonido y la resonancia magnética nuclear. Bajo tales circunstancias el personal médico responsable hace un balance entre los riesgos y el beneficio. [1]

En la mayoría de los procedimientos de diagnóstico utilizados en la medicina nuclear, la dosis que recibe el feto se evalúa con respecto a dosis umbrales y al riesgo por cada cGy utilizado en el procedimiento. [5] La ionización por la radiación es el primer paso de una serie de eventos que pueden derivar en daños somáticos y genéticos así, la energía impartida por unidad de masa del feto es de particular interés por los efectos nocivos que pueden producirse. [6] La aplicación de ^{131}I con fines de diagnóstico, donde no se toma en cuenta el estado de embarazo de la paciente, puede llegar a producir efectos adversos en el producto. Pacientes tratados con radioiodo corren un riesgo por el uso de la radiación, además, es necesario tomar ciertas precauciones para limitar la dosis a los miembros de la familia, el personal de enfermería, así como al público. [7, 8]

Al ingerir ^{131}I parte de éste se queda en la boca y la tráquea, mientras que la mayoría alcanza el estómago y se acumula en vejiga. El proceso de digestión permite que el yodo entre al torrente sanguíneo para concentrarse en la glándula tiroides. Cuando se encuentra en el torrente

sanguíneo el yodo alcanza el feto, y parte del radionúclido también es captado por la tiroides del feto; en esta fase inicial es cuando la madre y el feto reciben la mayor dosis. Sin embargo, cuando el radioyodo ha sido captado por la glándula tiroides de la madre los fotones gamma que emite alcanzan permanentemente al feto y la dosis absorbida va disminuyendo en función del proceso de eliminación que se describe a través de la vida media efectiva.

El propósito de este estudio fue determinar la dosis absorbida, debida a los rayos gamma, en cerebro, estómago, corazón, riñones, hígado, pulmones, ovarios, útero, timo, páncreas y bazo, de una paciente con tres meses de embarazo, en la fase cuando el yodo ha sido captado por la glándula tiroides.

2.- MATERIALES Y METODOS

Los cálculos se realizaron mediante el código Monte Carlo MCNP 4C [9]. Como término fuente se utilizaron las características de los fotones emitidos por el ^{131}I , las partículas beta no se consideraron ya que éstas, por su corto alcance, no afectan los órganos estudiados.

Utilizando la capacidad del código MCNP para la modelación de objetos en tres dimensiones se diseñó un modelo tridimensional de una paciente, de 168 cm de altura y 56 kg de peso, con tres meses de embarazo. En el modelo se incluyeron el tejido óseo del cuerpo, el cerebro, la tiroides, la tráquea, el timo, los pulmones, el corazón, el estómago, el bazo, los riñones, el páncreas, el hígado, el intestino grueso y el delgado (colon ascendente, transversal y el descendente), el útero con 3 meses de embarazo, los ovarios, la vejiga, tejido muscular, graso y piel.[10]

El modelo, en sus dimensiones y composición elemental, se elaboró acorde a las recomendaciones de Cristy y Eckerman [11]. En la Figura 1 se muestra el modelo donde se ha incluido con parte de los órganos visto de frente y lateral, así como completo sin piel y con piel. En esta figura se han dejado como referencia la tiroides, las glándulas mamarias y el útero.

El término fuente, ^{131}I , se colocó en la glándula tiroides y se definió considerando que emite fotones cuyas energías son 0.03 (p = 3.8%), 0.080 (p = 2.6%), 0.284 (p=5.8%), 0.364 (p = 82%), 0.637 (6.5%) y 0.723 MeV (p = 1.7%). El fotón de 0.080 MeV se produce a través de la captura electrónica, mientras que el fotón de 0.030 MeV se genera mediante la emisión de electrones Auger.

El transporte de los fotones se simuló con emisión isotrópica a partir de la glándula tiroides y se determino la dosis absorbida en cerebro, estómago, corazón, riñones, hígado, pulmones, ovarios, útero, timo, páncreas y bazo. En los cálculos Monte Carlo se procedió de la siguiente forma: Por cada fotón emitido por el ^{131}I se determinó la energía absorbida por unidad de masa de cada órgano, la energía absorbida se convirtió en dosis utilizando $1.602\text{E}(-10) \text{ Gy/MeV}\cdot\text{gr}^{-1}\cdot\gamma^{-1}$. Los fotones emitidos por el ^{131}I se expresaron en términos de la actividad en mCi utilizando $3.145\text{E}(7) \gamma\text{-seg}^{-1}/\text{mCi}$.

Este mismo modelo se utilizó para determinar, a 100 cm de la tiroides, los valores específicos del Kerma en aire y la dosis ambiental equivalente, que se transformaron en coeficientes de conversión de actividad retenida a dosis.

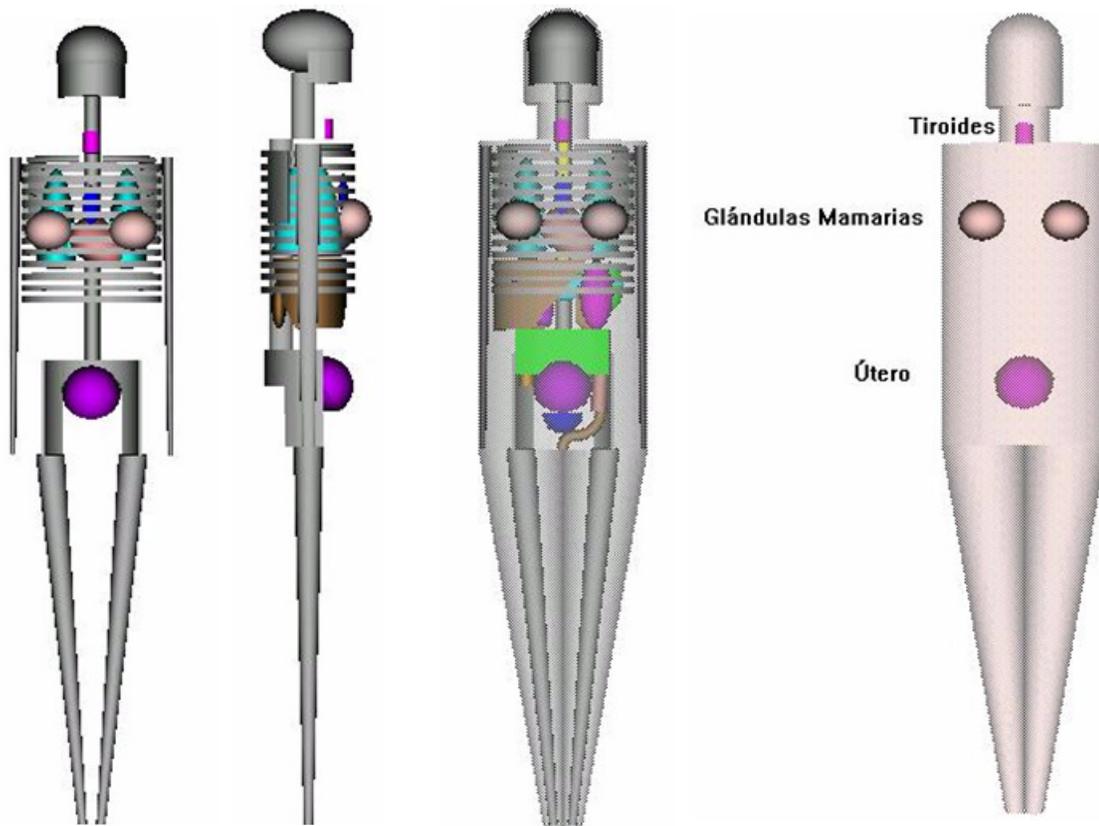


Figura 1. Modelo de una mujer con un embarazo de tres meses

3. RESULTADOS

La energía absorbida por unidad de masa, así como la tasa de dosis absorbida por cada milicurie de I-131 retenido en la glándula tiroides por cada uno de los órganos estudiados, se muestra en la Tabla I.

En la figura 2 se muestra, en términos porcentuales, la dosis absorbida por cada órgano.

Los órganos que absorben la mayor cantidad de energía por unidad de masa son el Timo, cerebro y pulmones; mientras que lo que absorben la menor cantidad de energía son Ovarios, útero y riñones.

Tabla I. Resultados del cálculo Monte Carlo de la energía absorbida por unidad de masa y la dosis absorbida por unidad de actividad del I¹³¹ retenido en la tiroides

Órgano	Energía absorbida por unidad de masa [MeV-gr ⁻¹]	Tasa de dosis absorbida por unidad de actividad [Gy-seg ⁻¹ -mCi ⁻¹]
Cerebro	1.47772E(-6)	7.44565E(-9)
Estómago	1.12582E(-7)	5.67256E(-10)
Corazón	6.54753E(-7)	3.2990E(-9)
Riñones	7.85166E(-8)	3.95614E(-10)
Hígado	1.80675E(-7)	9.10350E(-10)
Pulmones	1.14713E(-6)	5.77993E(-9)
Ovarios	1.07716E(-8)	5.42738E(-11)
Páncreas	1.53503E(-7)	7.73441E(-10)
Timo	2.12542E(-6)	1.07092E(-8)
Útero	1.00425E(-8)	5.06002E(-11)
Bazo	1.67969E(-7)	8.46329E(-10)

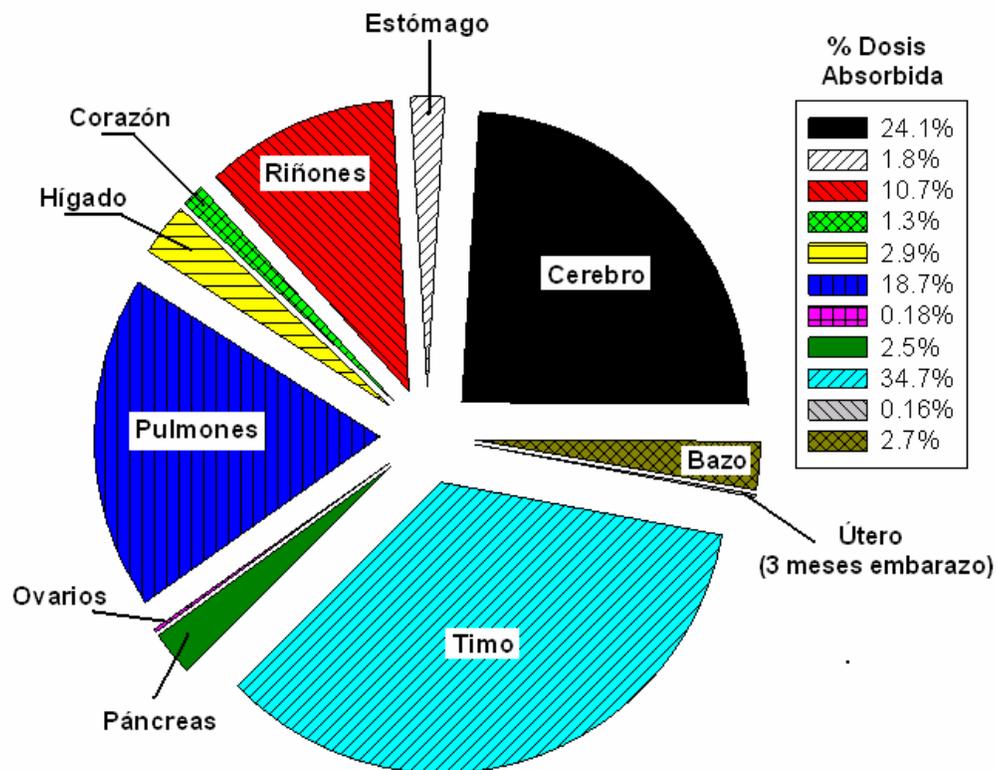


Figura 2. Porcentaje de la dosis absorbida por cada órgano debido al I131 retenido por la glándula tiroides de una mujer con tres meses de embarazo.

La razón de esta distribución de la dosis absorbida se debe a tres factores: la distancia real entre la tiroides y los diversos órganos incluidos, la masa de éstos y su composición elemental.

A 100 cm de distancia de la glándula tiroides se calcularon los factores de conversión de actividad del ^{131}I a kerma en aire y a dosis equivalente ambiental por cada GBq acumulado. En estos cálculos se consideró la presencia de aire entorno al modelo. Los factores de conversión resultantes son: $\Gamma_{\text{KAire}} = 56 \mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{GBq}^{-1}$ y $\Gamma_{\text{H}^*(10)} = 69 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{GBq}^{-1}$ [12, 13]. El factor Γ_{KAire} es similar a $52.2 \mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{GBq}^{-1}$ reportado por Ninkokvic y cols. [14], la diferencia se atribuye a la cantidad de fotones incluidos en el cálculo y a que estos autores hicieron el cálculo suponiendo que la fuente era puntual.

A distancias pequeñas la presencia del aire no influye significativamente en la atenuación de los fotones, el factor más importante es la distancia.

Con el fin de estimar los riesgos de las personas que por su relación, familiar o profesional, con el paciente se encuentren a cierta distancia del mismo, los factores de conversión se pueden utilizar para calcular, por unidad de dosis de ^{131}I retenida en la tiroides, la tasa de kerma en aire y la tasa de dosis ambiental equivalente, en función de la distancia de la tiroides del paciente. Estas tasas se pueden calcular utilizando las ecuaciones 1 y 2 [12, 13].

$$K_{\text{Aire}}(r) = \Gamma_{\text{KAire}} \frac{A}{r^2} \quad (1),$$

$$H^*(10)(r) = \Gamma_{\text{H}^*(10)} \frac{A}{r^2} \quad (2),$$

donde A es la actividad en GBq del ^{131}I retenida en la tiroides, r es la distancia, en metros, entre la glándula del paciente y el punto de interés.

4. CONCLUSIONES

Durante el uso del ^{131}I con fines de diagnóstico o tratamiento el paciente se ve sometido a una dosis cuyo efecto nocivo se compensa con el beneficio que trae consigo el uso de este procedimiento. Si el paciente es del género femenino es necesario tomar en consideración si existe una condición de embarazo, con el fin de evitar que el radiofármaco pueda afectar al producto.

Mediante cálculos Monte Carlo, donde se ha utilizado un modelo detallado de una mujer con tres meses de embarazo en cuya tiroides se ubicó, como termino fuente al ^{131}I , los fotones fueron emitidos isotrópicamente y se determinó la cantidad de energía absorbida por unidad de masa de varios órganos. De estos cálculos se obtuvo que el Timo absorbe la mayor cantidad de energía por unidad de masa y por ende es el que recibe la mayor cantidad de dosis absorbida por unidad de actividad. Por otro lado, son los ovarios y el útero los que reciben la menor cantidad de dosis absorbida por unidad de actividad.

Los valores reportados de la dosis absorbida en los diversos órganos sólo corresponden a la fase cuando el fármaco ha sido fijado por la glándula tiroidea y no toma en consideración la dosis que reciben cuando el radioiodo se encuentra en el sistema digestivo o el torrente sanguíneo.

El cálculo Monte Carlo se utilizó para determinar dos factores de conversión de actividad retenida en la tiroides al kerma en aire y a dosis equivalente ambiental; estos factores de conversión son: $\Gamma_{KAire} = 56 \mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{GBq}^{-1}$ y $\Gamma_{H^*(10)} = 73 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{GBq}^{-1}$. Ambos se pueden utilizar para estimar los riesgos de aquellas personas que se encuentren en torno al paciente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto SYNAPSIS parcialmente apoyado por el CONACYT bajo el contrato SEP-2005-C01-46893.

REFERENCIAS

1. Lowe, S.A., "Diagnostic radiography in pregnancy: Risks and reality". *Australian and New Zealand Journal of Obstetrics and Gynaecology*, **44**, p. 191-196 (2004).
2. Parthasarathy, K.L., Crawford, E.S., "Treatment of thyroid carcinoma: Emphasis of high-dose ^{131}I outpatient therapy". *Journal of Nuclear Medicine Technology*, **30**, p. 165-171 (2002).
3. Mazzaferri, E.L., "Gonadal damage from ^{131}I therapy for thyroid cancer". *Clinical Endocrinology*, **57**, p. 313-314 (2002).
4. Power, M.L., Kilpatrick, S. and Schulkin, J., "Diagnosing and managing thyroid disorders during pregnancy: A survey of obstetrician-gynecologists", *Obstetrical & Gynecological Survey*, **59**, p. 572-574 (2004).
5. Steenvoorde, P., Pauwels, E.K., Harding, L.K., Bourguignon, M., Marière, B. and Broerse, J.J., "Diagnostic nuclear medicine and risk for the fetus", *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **25**, p.193-199 (1998).
6. Mountford, P.J. and Steele, H.R., "Fetal dose estimates and the ICRP abdominal dose limit for occupational exposure of pregnant staff to technetium-99m and iodine-131 patients", *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **22**, p.1173-1179 (1995).
7. Berlin, L., "Malpractice issues in radiology", *American Journal of Roentgenology*, **176**, p. 869-871 (2001).
8. Barrington, S.F., Kettle, A.G., O'Doherty, M.J., Wells, C.P., Somer, E.J.R. and Coakley, A.J., "Radiation dose rates from patients receiving iodine-131 therapy for carcinoma of the

- thyroid”, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **23**, p. 123-130 (1996).
9. Briesmeister, J.F. (editor), “MCNPTM-A general Monte Carlo N-particle transport code”. *Los Alamos National Laboratory Report LA-13709-M*, (2000).
 10. Vega-Carrillo, H.R., Manzanares-Acuña, E., Hernández-Dávila, V.M. y Arcos-Pichardo, A. “Dosis en el útero de una mujer, con tres meses de embarazo, debida al ¹³¹I acumulado en su glándula tiroides”. *Memorias del Primer Congreso Americano del IRPA*, Acapulco, Gro. Mexico, 4-8 de septiembre, 2006.
 11. Cristy, M. and Eckerman, K.F., “Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources”, *Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM-8381/V5*, (2002).
 12. Shapiro, J., *Radiation Protection: A guide for Scientists and Physicians*. Harvard University Press, Cambridge, England (3rd edition - 1990).
 13. Vega-Carrillo, H.R., “Cálculo de los factores gamma para radioisótopos usados en medicina nuclear”, *Revista Española de Medicina Nuclear*, **13**, p. 43-47 (1994).
 14. Ninkovic, M.M.; Raicevic, J.J. and Adrovic, F. “Air KERMA rate constants for gamma emitters used most often in practice”, *Radiation Protection Dosimetry*, **115**, p. 247-250 (2005).