

DOI: <https://doi.org/10.47300/actasidi-unicyt-2025-60>

DOSIS ABSORBIDA POR ÓRGANOS RADIOSENSIBLES EN UNA TC DE CABEZA

Vázquez-Bañuelos, Joel

TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México
joelvazba@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9612-3731>

Hernández-Murillo, Christian Geovanni

TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México
tecelectrigeo@live.com.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4406-245X>

Escalera-Velasco, Luis Alberto

TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México
escaleravelasco@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0625-2420>

Vega-Carrillo, Héctor René

Universidad Autónoma de Zacatecas
Zacatecas, México
fermineutron@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7081-9084>

Torres-Cortés, Carina Oliva

Universidad Autónoma de Zacatecas
Zacatecas, México
carina.torres@uaz.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1579-0060>

Campillo-Rivera, Guillermo Eduardo

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Estado de México, México
guillermo_campillo_rivera@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9011-724X>

RESUMEN

La tomografía computarizada (TC) es una técnica de diagnóstico médico que en las últimas décadas se ha convertido en una técnica de referencia. Debido a esto es responsable de la mayor dosis (70%) acumulada por la población debida a fuentes artificiales de radiación. La dosis que se administra al paciente es 50-500 veces mayor que la dosis en un examen radiológico convencional. Actualmente, existen una variedad de exámenes de TC, donde alguno o varios órganos radiosensibles pueden quedar expuestos a la radiación de manera directa o indirecta, uno de los exámenes que se ha incrementado es la TC de cabeza y cerebro. Para conocer la dosis que reciben estos órganos se puede medir de manera experimental o estimar mediante

simulaciones computacionales. El objetivo de este trabajo fue estimar mediante métodos Monte Carlo la dosis absorbida por órganos radiosensibles debida a la radiación que se dispersa durante una TC de cabeza. Se modeló un fantoma antropomórfico híbrido tipo BOMAB, así como, el equipo de tomografía computarizada y se simuló el examen. Se encontró que la mayor dosis absorbida la recibe la tiroides por su cercanía a la zona de exploración, mientras que la menor dosis corresponde a los órganos reproductores masculinos por su lejanía. Las dosis que reciben son pequeñas pero son acumulativas y pueden representar un riesgo para el paciente debido a que hay quienes se realizan más de un examen en su vida.

Palabras clave: Dosis absorbida, Monte Carlo, Radiación dispersada, TC de cabeza.

ABSTRACT

Computed tomography (CT) is a medical diagnostic technique that has become a gold standard in recent decades. Because of this, it accounts for the largest cumulative dose (70%) in the population due to artificial radiation sources. The dose administered to the patient is 50-500 times greater than that of a conventional radiological examination. Currently, there are a variety of CT examinations, where one or more radiosensitive organs may be exposed to radiation directly or indirectly. One of the examinations that has increased in use is head and brain CT. To know the dose that these organs receive, it can be measured experimentally or estimated through computer simulations. The objective of this work was to estimate, using Monte Carlo methods, the absorbed dose to radiosensitive organs due to the radiation scattered during a head CT. A hybrid anthropomorphic BOMAB phantom and the computed tomography equipment were modeled, and the exam was simulated. It was found that the thyroid receives the highest absorbed dose due to its proximity to the examination site, while the male reproductive organs receive the lowest dose due to their distance. The doses they receive are small but cumulative and can pose a risk to the patient, as some people undergo more than one exam in their lifetime.

Keywords: Absorbed dose, Monte Carlo, Scattered radiation, Head CT.

1. INTRODUCCIÓN

En la medicina moderna existe una gran variedad de técnicas o herramientas para el diagnóstico por imágenes donde los pacientes se exponen a radiación ionizante. Algunas de estas son las radiografías dentales, las radiografías convencionales, la tomografía computarizada, entre otras. Pero en los últimos años, la tomografía computarizada (TC) se ha convertido en una técnica de referencia porque se puede visualizar el cuerpo del paciente tanto en 2 dimensiones (imágenes transversales) como en 3 dimensiones de alta calidad. Estas imágenes permiten un mejor diagnóstico de diversas patologías (Rühm & Harrison, 2020; Altunsoy et al., 2020). En los últimos años se ha mejorado la tecnología para obtener imágenes para el diagnóstico, los equipos se han vuelto más accesibles y la ventaja para el paciente de usar una técnica no invasiva ha propiciado, a nivel mundial, un aumento del uso de rayos X para el diagnóstico por imágenes. De hecho, la exposición a los rayos X para el diagnóstico es la que aporta la mayor dosis de radiación. A nivel mundial, la TC constituye el 20% de todos los exámenes radiológicos pero representa aproximadamente el 70% de la dosis acumulada por la población en general (Sulemana et al., 2020).

En un examen de TC se puede administrar al paciente una dosis de 50 a 500 veces mayor que en un examen radiológico convencional. Siendo de suma importancia considerar sus riesgos potenciales, recomendando siempre optimizar la dosis de acuerdo al principio ALARA (tan bajo como razonablemente posible) pero manteniendo la calidad de la imagen (Mkimel et al., 2020; Garba et al., 2021).

Para estimar los riesgos que puede sufrir un paciente durante un examen de TC, se puede utilizar la magnitud de dosis absorbida, que se define como la relación entre la cantidad de energía

depositada por la radiación en un órgano o tejido y la masa del mismo, su unidad es el Gray (Gy) (Lawson et al., 2022).

Existe una variedad de exámenes de TC, en los cuales alguno o varios órganos o tejidos del cuerpo humano pueden estar expuestos tanto a la radiación directa como a la indirecta (radiación dispersada) como el cristalino del ojo, la tiroides, las glándulas mamarias y las gónadas (Saba et al., 2020). Uno de los exámenes que ha aumentado de manera considerable en las últimas décadas es la TC de cabeza y cerebro. Durante la exploración el cristalino del ojo queda expuesto dentro del campo del haz de radiación, siendo este órgano uno de los más radiosensibles del cuerpo humano (Ciarmatori et al., 2016; Roslee et al., 2020). Sin embargo, los estudios dosimétricos que existen en su mayoría solo centran en los órganos que quedan expuestos de manera directa a la radiación, sin prestarle la importancia debida a la radiación que se dispersa y alcanza otros órganos fuera de la zona de exploración.

El conocer la dosis absorbida por el paciente en un examen de TC no se encuentra disponible fácilmente y es difícil medirla directamente. Es por ello que una forma factible de estimar esta dosis, es de manera computacional mediante simulaciones con métodos Monte Carlo (Lawson et al., 2022).

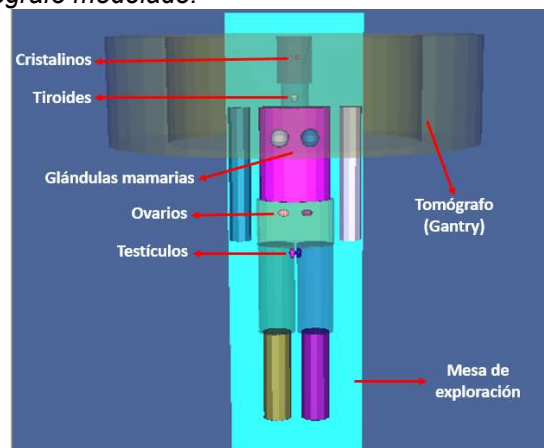
El objetivo de este trabajo fue estimar mediante métodos Monte Carlo la dosis absorbida debida a la radiación dispersada que reciben los órganos radiosensibles de un fantoma antropomórfico híbrido computacional durante una tomografía computarizada de cabeza.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Mediante el código Monte Carlo MCNP5 (X-5 Monte Carlo Team, 2003), se modeló un fantoma tipo BOMAB (Bottle Mannequin Absorber) híbrido, representando tanto a una mujer como a un hombre adulto de complejión media. Se le agregaron los órganos radiosensibles de interés: cristalinos, glándula tiroides, glándulas mamarias y órganos reproductores, cada parte del fantoma se rellenoó con un tejido equivalente al del cuerpo humano. También, se modeló el equipo de tomografía computarizada (Figura 1).

Figura 1

Fantoma tipo BOMAB y tomógrafo modelado.



El termino fuente consistió en un cilindro circular recto ubicado en el radio interno del gantry donde se emitieron los fotones de rayos X hacia el fantoma. Como energía de estos fotones, se utilizó el espectro de rayos X de un tubo de rayos X, resultante de la interacción de los electrones monoenergéticos de 120 keV con un blanco metálico de tungsteno (Campillo-Rivera et al., 2021).

Para la realización de la simulación de la TC de cabeza, al fantoma se le realizaron 8 cortes de 2 cm de espesor cada uno (dirección cráneo-caudal), comenzando en la parte superior de la cabeza.

Se utilizó el tally f6, para estimar la energía depositada en el volumen de cada órgano. Pero para convertir esta energía a dosis absorbida (D), se utilizó la ecuación 1:

$$D = [\sum_{i=1}^n (tally f6)_i] x CF x Ne x PF x I x t \quad (1)$$

donde n es el número de cortes, CF es un factor de conversión de MeV/g a J/kg (1.6×10^{-10}), Ne es el número de electrones que hay en 1 miliampere*segundo (mAs) (6.25×10^{15}), PF es la fluencia de fotones producidos por un electrón que golpea el blanco metálico del tubo de rayos X (4.58×10^{-5}), I es la corriente en mA y t es el tiempo en segundos que dura el examen de TC de cabeza. Estos dos últimos parámetros se tomaron del protocolo propio empleado para la exploración (Ciarmatori et al., 2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los valores obtenidos de la D para cada órgano radiosensible debida a la radiación que se dispersa durante el examen de TC de cabeza.

Tabla 1
D para cada órgano en una TC de cabeza

Órgano	D [mGy]
Cristalino izquierdo	44.4±0.66
Cristalino derecho	42.7±0.64
Tiroides	46.0±0.14
Glándula mamaria izquierda	23.6±0.04
Glándula mamaria derecha	23.4±0.04
Ovario izquierdo	8.50±0.06
Ovario derecho	8.62±0.06
Testículo izquierdo	4.50±0.06
Testículo derecho	4.50±0.06

En la Tabla se observa que la dosis en cristalinos y tiroides es muy similar, pero siendo mayor para la tiroides debida a que este órgano tiene un mayor volumen. Luego, para las glándulas mamarias se reduce aproximadamente a la mitad porque están más alejadas de la zona de exploración, por esta misma razón es que la dosis es considerablemente menor para los órganos reproductores.

La dosis promedio para los cristalinos es de 43.6 mGy. Para este mismo tipo de examen de TC Ciarmatori et al. (2016) con dosímetros termoluminiscentes midieron directamente la dosis en la superficie del cristalino de un fantoma antropomórfico y obtuvieron una dosis promedio de 54.5 mGy. Mientras que Kosaka et al. (2020) midieron con dosímetros de fibra óptica de centelleo la dosis en los cristalinos de un fantoma de cabeza antropomórfico obteniendo en promedio 47.8 mGy. También, Sulemana et al. (2020) con el software CT-Expo estimaron la dosis para diferentes órganos de pacientes adultos sometidos a diferentes exámenes de TC con las técnicas de control automático de exposición (AEC) y de corriente de tubo fijo (FTC), para una TC de cabeza para el cristalino obtuvieron una dosis de 41.8 mGy para AEC y 45.4 mGy para FTC;

para la tiroides obtuvieron 19.7 mGy para AEC y 26.3 mGy para FTC, mientras que en este estudio para este órgano se obtuvo una dosis de 46.0 mGy.

Las variaciones que existen en la dosis en comparación con otras investigaciones, se puede deber al tomógrafo que se utilice debido a que varían los parámetros de exploración como la corriente eléctrica, el tiempo de exploración, el grosor del corte, lo que influye directamente en la dosis.

4. CONCLUSIONES

Utilizando métodos Monte Carlo (código MCNP5) se estimó la dosis absorbida por órganos radiosensibles debida a la radiación que se dispersa durante una tomografía computarizada de cabeza.

El órgano radiosensible que mayor dosis absorbida recibe es la tiroides (46.0 mGy), mientras que los órganos que menor dosis reciben debido a su lejanía de la zona de exploración son los órganos reproductores masculinos (4.50 mGy).

Estos resultados contribuyen a la poca información que existe en México sobre la radiación que se dispersa durante exámenes de tomografía computarizada porque la mayoría de estudios dosimétricos que existen solo se enfocan en los órganos que están dentro de la zona de exploración. De acuerdo a los resultados, esta radiación dispersada deposita una dosis indeseada en los órganos radiosensibles. Si bien, estas dosis son pequeñas pero son acumulativas y hay pacientes que se realizan más de una tomografía computarizada en su vida.

REFERENCIAS

- Altunsoy, E. E., Tekin, H. O., Mesbahi, A., & Akkurt, I. (2020). MCNPX simulation for radiation dose absorption of anatomical regions and some organs. *Acta Physica Polonica A*, 137(4), 561-565. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.137.561>.
- Campillo-Rivera, G. E., Torres-Cortes, C. O., Vazquez-Bañuelos, J., Garcia-Reyna, M. G., Marquez-Mata, C. A., Vasquez-Arteaga, M., & Vega-Carrillo, H. R. (2021). X-ray spectra and gamma factors from 70 to 120 kV X-ray tube voltages. *Radiation Physics and Chemistry*, 184, 109437. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2021.109437>.
- Ciarmatori, A., Nocetti, L., Mistretta, G., Zambelli, G., & Costi, T. (2016). Reducing absorbed dose to eye lenses in head CT examinations: the effect of bismuth shielding. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, 39(2), 583-589. <https://doi.org/10.1007/s13246-016-0445-y>.
- Garba, I., Zarb, F., McEntee, M. F., & Fabri, S. G. (2021). Computed tomography diagnostic reference levels for adult brain, chest and abdominal examinations: A systematic review. *Radiography*, 27(2), 673-681. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2020.08.011>.
- Kosaka, H., Monzen, H., Amano, M., Tamura, M., Hattori, S., Kono, Y., & Nishimura, Y. (2020). Radiation dose reduction to the eye lens in head CT using tungsten functional paper and organ-based tube current modulation. *European Journal of Radiology*, 124, 108814. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.108814>.
- Lawson, M., Berk, K., Badawy, M., Qi, Y., Kuganesan, A., & Metcalfe, P. (2022). Comparison of organ and effective dose estimations from different Monte Carlo simulation-based software methods in infant CT and comparison with direct phantom measurements. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 23(6), e13625. <https://doi.org/10.1002/acm2.13625>.
- Mkimel, M., El Baydaoui, R., Mesradi, M. R., Tahiri, Z., Talasmat, K., Halimi, A., ... & Hilali, A. (2020). Monte Carlo simulation of the computed tomography dose index (CTDI) using GATE. *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 17, 900-907. <https://doi.org/10.1134/S1547477120060084>.

- Roslee, M. A. A. M., Shuaib, I. L., Napi, A. F. M., Razali, M. A. S. M., & Osman, N. D. (2020). Cumulative organ dose and effective dose in adult population underwent repeated or multiple head CT examination. *Radiation Physics and Chemistry*, 166, 108465. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108465>.
- Rühm, W., & Harrison, R. M. (2020). High CT doses return to the agenda. *Radiation and Environmental Biophysics*, 59, 3-7. <https://doi.org/10.1007/s00411-019-00827-9>.
- Saba, V., Shuraki, J. K., Valizadeh, A., Zahedinia, M., & Barkhordari, M. (2020). Reducing absorbed dose to thyroid in neck ct examinations: the effects of SABA shielding. *Radiation Protection Dosimetry*, 191(3), 349-360. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncaa153>.
- Sulemana, H., Inkoom, S., Sosu, E. K. & Schandorf, C. (2020). Estimation of absorbed and effective doses in organs through computed tomography examinations using automatic exposure control and fixed tube current techniques: A phantom case study. *Iranian Journal of Medical Physics*, 17(1), 58-65. <https://doi.org/10.22038/ijmp.2019.34196.1432>.
- X-5 Monte Carlo Team. (2003). MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Versión 5. LA-UR03-1987 Los Alamos National Laboratory.

Los autores del trabajo autorizan a la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICYT) a publicar este resumen en extenso en las Actas del Congreso IDI-UNICYT 2025 en Acceso Abierto (Open Access) en formato digital (PDF) e integrarlos en diversas plataformas online bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

La Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología y los miembros del Comité Organizador del Congreso IDI-UNICYT 2025 no son responsables del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en este artículo.