



XXXI Simposio Peruano de Física 2025

# ESTUDIO DE LA TASA DE DOSIS EFECTIVA DE RADIACIÓN GAMMA PRODUCIDA POR UN HOWITZER DE NEUTRONES DE Ra-Be

A. Arroyo H.<sup>\*1</sup>, E. G. Villarreyes Peña<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <sup>2</sup> Grupo de Investigación: Instrumentación Física y Aplicaciones (INFISA).

\*E-mail: aldo.arroyo@unmsm.edu.pe

## Resumen

Este trabajo presenta los resultados de la primera evaluación experimental de la estimación de la tasa de dosis efectiva de fotones gamma producidos por un Howitzer de neutrones de Ra-Be. Se realizaron mediciones de la dosis equivalente desde una distancia de 2 m desde la fuente hasta acercarse a la misma, en intervalos de 0.25 m y a alturas de ras de suelo, de 0.5 m, 1 m y 1.5 m. Posteriormente, se utilizaron las alturas para identificar los órganos posiblemente afectados, información que se empleó para calcular las tasas de dosis efectivas por distancia. Las dosis efectivas calculadas cumplen con los límites del ICRP para personal ocupacional, pero exceden los parámetros para el público. Esto evidencia la necesidad de incorporar la radiación gamma como parámetro fundamental en las medidas de protección radiológica, con el fin de garantizar la seguridad del personal expuesto directa o indirectamente a estas fuentes.

**Palabras clave:** Protección Radiológica, Howitzer de neutrones, Tasa de dosis efectiva.

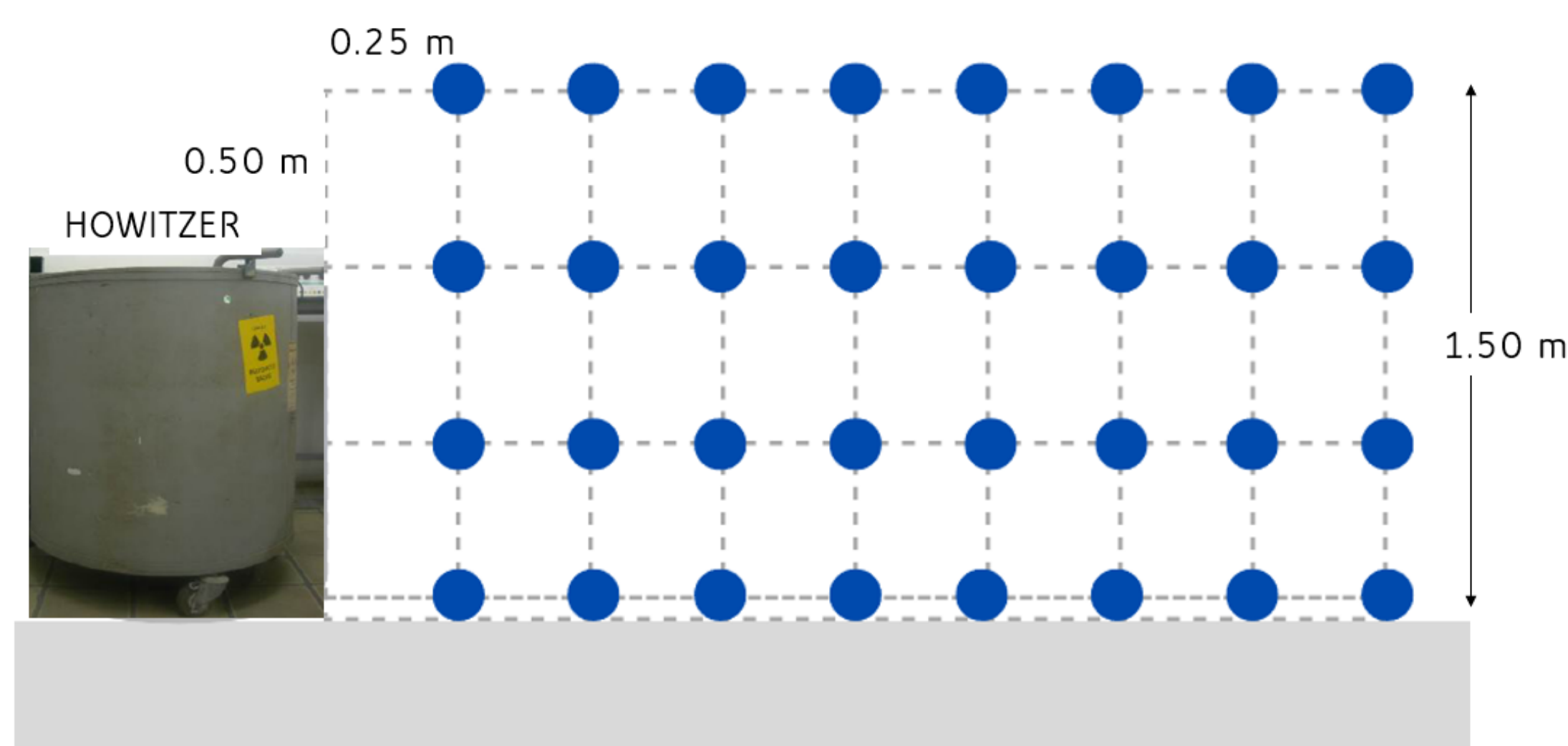
## Introducción

Las fuentes de neutrones son muy utilizadas en todo el mundo por laboratorios de investigación nuclear y universidades, por las ventajas en el bajo costo de mantenimiento y fácil operación [1]. Se tiene en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) un Howitzer de neutrones de Radio-Berilio de la marca Leybold, que son conocidas por la alta tasa de fotones gamma producidos [2], este factor ha sido ampliamente omitido en la literatura sobre fuentes de neutrones. Es crucial cuantificar la contribución gamma a la dosis total para evaluar su impacto real y establecer las medidas de protección radiológica adecuadas. [3].

## Metodología

### 3.1. Medición de la Tasa de Dosis Equivalente

Frente al Howitzer, se establecieron puntos de medición considerando un rango de hasta 2 m de distancia desde la fuente y de hasta 1.50 m de altura respecto al suelo; la distribución de los puntos de medición se presenta en la Figura 1. Las mediciones fueron realizadas con un detector tipo *pancake* modelo LUDLUM 44-9, conectado a un detector LUDLUM 3003i usado como interfaz, y montado en un trípode de altura regulable, el cual fue desplazado y ajustado de tal manera que el centro de la ventana del detector se ubicara a la distancia y altura especificadas. Los experimentos consistieron en la medición y el registro de los valores indicados por el equipo para la tasa de dosis equivalente durante un tiempo de 1 minuto.



**Figura 1:** Esquema referencial de la distribución de los puntos de medición para determinar la tasa de dosis equivalente.

### 3.2. Identificación de Factores de Ponderación

Para determinar el factor de ponderación, se identificaron las posiciones aproximadas de cada órgano según proporciones de la persona promedio y se calculó la totalidad del factor de ponderación para cada altura según [3].

Altura (m)	1.50	1.00	0.50	Ras de suelo
Órganos y Tejidos	Hueso	Hueso	Hueso	Hueso
	Músculo	Músculo	Músculo	Músculo
	Piel	Piel	Piel	Piel
	Ganglios	Colon		
	Tiroides	Gónadas		
		Próstata/Útero		
		Vejiga		
$\sum_T w_T$	0.18	0.50	0.14	0.14

**Tabla 1:** Factores de ponderación identificados para órganos considerando la altura.

### 3.3. Cálculo de la Dosis Efectiva

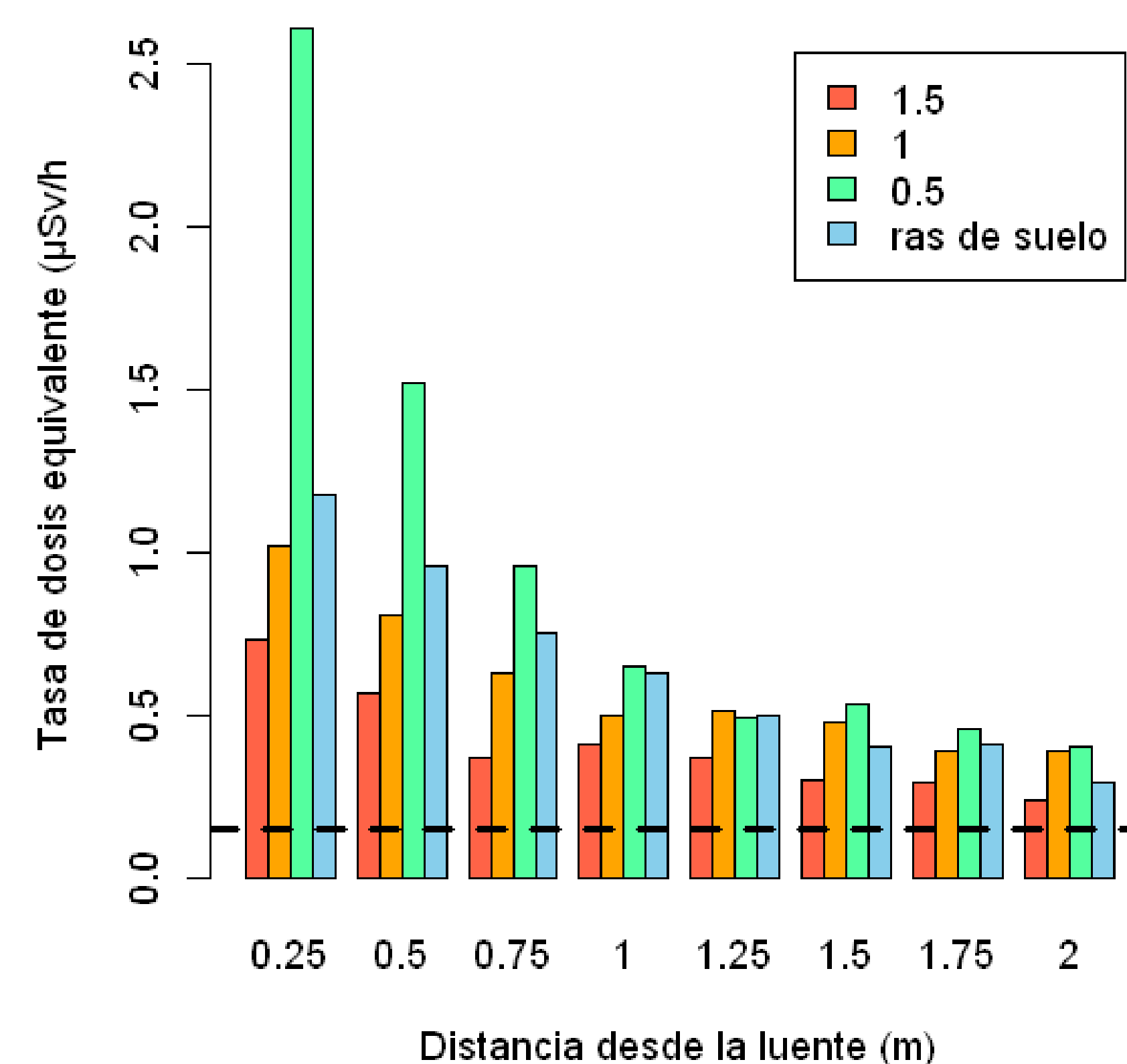
Una vez identificados las tasas de dosis equivalente y los factores de ponderación, se estimó la tasa de dosis efectiva para cada distancia utilizando la expresión dada por [3]:

$$E = \sum_T w_T H_T \quad (1)$$

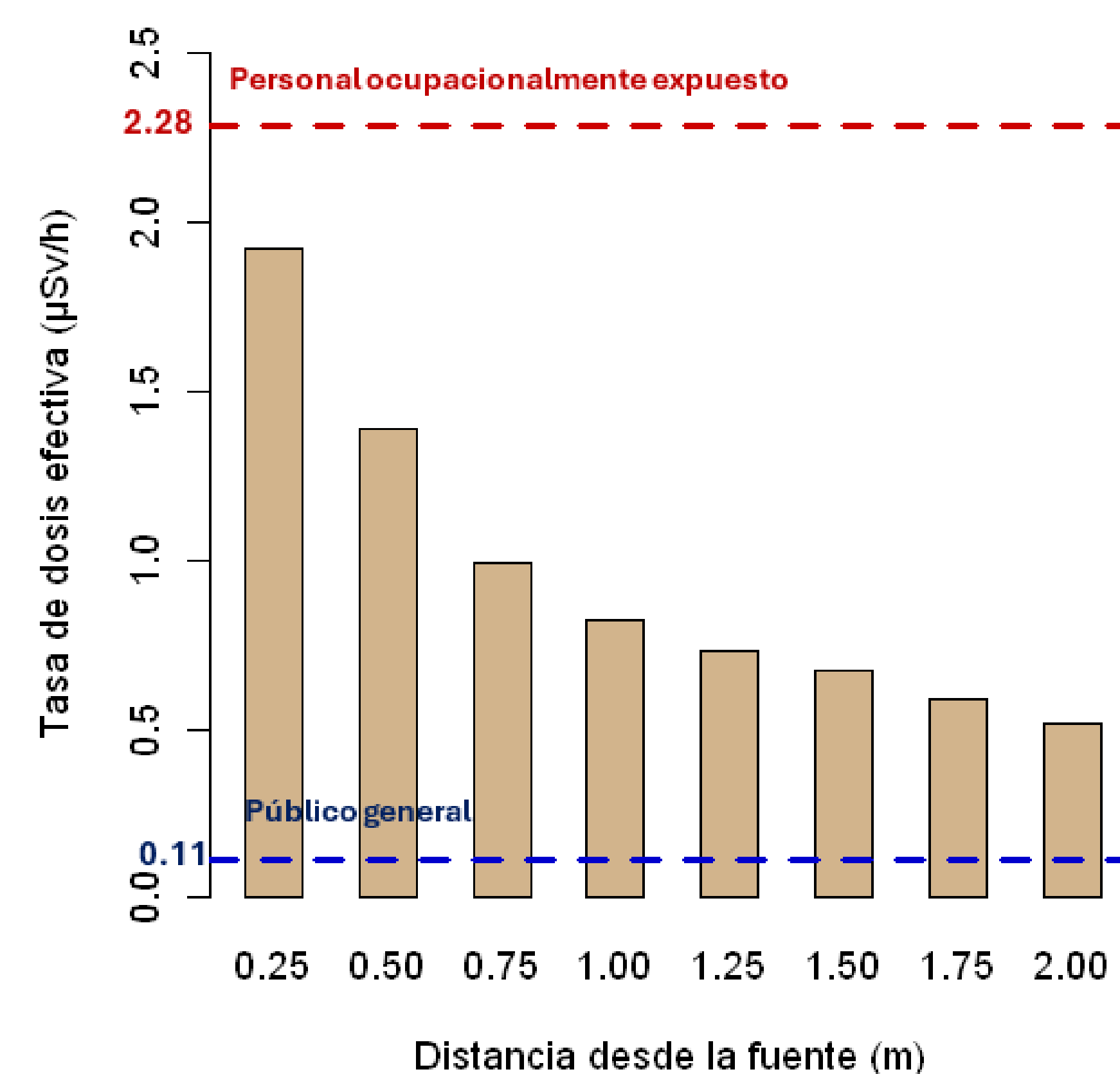
Donde  $w_T$  es el factor de ponderación de un tejido  $T$  y  $H_T$  es la dosis equivalente en dicho tejido.

## Análisis y Resultados

Los resultados obtenidos para la tasa de dosis equivalente (Figura 2) indican una mayor tasa de dosis a distancias más cercanas de la fuente, una mayor tasa de dosis a 0.50 m de altura sobre el suelo, y tasas de dosis por encima de la radiación natural de fondo. Una vez se obtuvieron los parámetros de tasa de dosis equivalente, se utilizaron los factores de ponderación para obtener las tasas de dosis efectivas para cada distancia desde la fuente (Figura 3), las cuales no superan los límites establecidos para el personal ocupacionalmente expuesto ( $\approx 2.28 \mu\text{Sv/h}$ ), pero sí los establecidos para el público general. ( $\approx 0.11 \mu\text{Sv/h}$ ).



**Figura 2:** Tasa de dosis equivalente a distintas distancias y alturas en comparación a la tasa de dosis de fondo (línea punteada).



**Figura 3:** Tasa de dosis efectiva estimada para distintas distancias desde la fuente en comparación con los límites establecidos por el ICRP para personal ocupacionalmente expuesto (línea punteada roja) y para el público general (línea punteada azul).

## Conclusiones

- La tasa de dosis efectiva calculada no supera el límite de dosis propuesto por el ICRP para trabajadores expuestos (20 mSv por año, promediada en períodos definidos de 5 años).
- La tasa de dosis efectiva calculada sí supera el límite de dosis propuesto por el ICRP para el público (1 mSv por año) en todas las distancias estudiadas.
- Las tasas de dosis efectiva calculadas, indican que existe un aporte significativo de la radiación gamma a la dosis efectiva producida por un howitzer de Ra-Be, lo que a su vez resalta la importancia de este parámetro al momento de diseñar e implementar medidas de protección.

## Referencias

- [1] Asamoah, M., Nyarko, B., Fletcher, J., Sogbadji, R., Yamoah, S., Agbemava, S., y Mensimah, E. (2011). Neutron flux distribution in the irradiation channels of am-be neutron source irradiation facility. *Annals of Nuclear Energy*, 38 (6), 1219–1224.
- [2] Béla, P., Miklós, B., György, C., y Leonóra, T. (2020). A fizikai intézet Ra-Be neutronforrásának felhasználása és eltemetése. *Multidiszciplináris Tudományok*, 10 (3), 143–155.
- [3] International Commission on Radiological Protection (ICRP). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Number 103 in ICRP.