

VIDA: VOXEL-PHANTOM-BASED SOFTWARE FOR INTERNAL DOSE ASSESSMENT

Ocampo, J.C.¹, Petoussi-Henss, N.² y Zankl, M.²

¹ Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

² Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Germany

RESUMEN

Un nuevo programa computacional con una amigable interfaz gráfica de usuario fue desarrollado para estimar las dosis en los órganos y las dosis efectivas a pacientes que han sido sometidos a estudios de medicina nuclear. El desarrollo del programa se espera que sea una herramienta útil para el personal médico y paramédico involucrado con la dosimetría, el riesgo y la asesoría del paciente, incluyendo a mujeres en estado de gestación quienes pueden estar preocupadas por la exposición intra-uterina del feto. A diferencia de programas actuales (por ejemplo OLINDA) que utiliza phantoms estilizados de tamaños de referencia, el nuevo software desarrollado usa la librería pre-calculada de fracciones de absorción específica (SAF por sus siglas en inglés) de fotones y electrones basada en distintos phantoms antropomórficos voxelizados, así como las SAF de los nuevos phantoms computacionales de la ICRP para fotones, electrones, alfas y neutrones (será publicada en el transcurso de 2015). Además el software usa la más reciente información de decaimientos nucleares de la ICRP 107 (2008). El principal uso del programa es el cálculo de dosis internas para radionúclidos usados en medicina nuclear una vez el modelo biocinético está definido. Adicionalmente las masas específicas del paciente pueden ser consideradas en la evaluación de la dosis.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de radiofármacos en Medicina nuclear ya sea con fines de diagnóstico o de tratamiento de enfermedades, involucra un riesgo al paciente, asociado a la incorporación del material radiactivo, por lo que se hace necesario realizar cálculos de la dosimetría interna con fines de conocer las dosis y los riesgos involucrados en este tipo de procedimientos médicos.

Si bien la ICRP y el MIRD han desarrollado dos estructuras paralelas para la metodología del cálculo de dosis debido a emisores internos, ambas estructuras son en el fondo idénticas y completamente compatibles, teniendo como principal diferencia la nomenclatura aplicada. La ICRP ha publicado muchas recomendaciones que han influenciado la dosimetría interna en medicina nuclear, teniendo gran importancia los modelos de cálculo de dosis, el uso y refinamiento de simuladores computacionales antropomórficos. Por otro lado el MIRD desde 1968 ha publicado muchos reportes y panfletos, que muestran el desarrollo y evolución de la dosimetría interna y del quehacer científico en el área. Las dos metodologías también tienen

¹ jcocampor@unal.edu.co

en común la independencia de los cálculos biocinéticos (distribución del radiofármaco en el cuerpo) y dosimétricos (Energía depositada en los órganos del cuerpo), lo cual permite que fácilmente se pueda migrar de un área a otra.

Existen varios métodos modernos para el cálculo de la dosis en medicina nuclear, todos ellos requieren de un cierto conocimiento del radionúclido administrado, la anatomía del phantom a emplear y de la biocinética del radiofármaco. A diferencia de programas actuales (por ejemplo OLINDA) (Stabin, 2005) que utiliza phantoms estilizados de tamaños de referencia, el nuevo software desarrollado usa la librería pre-calculada de fracciones de absorción específica (SAF por sus siglas en inglés) de fotones y electrones basada en distintos phantoms antropomórficos voxelizados (Zankl, 2012), así como las SAF de los nuevos phantoms computacionales de la ICRP para fotones, electrones, alfas y neutrones (será publicada en el transcurso de 2015). Además el software usa la más reciente información de decaimientos nucleares de la ICRP 107 (2008). El programa está escrito en JAVA usando NetBeans IDE y funciona en Windows, OS X, Linux, Solaris y otras plataformas compatibles con la máquina virtual de java JVM. El software está siendo extensamente puesto en prueba y comparando con otros métodos de cálculo disponibles (Petoussi-Henss, 2005).

2. ESTRUCTURA DEL SOFTWARE

2.1. Metodología de cálculo de dosis

El software evalúa la dosis equivalente en un órgano blanco, usando la ecuación:

$$H(r_T) = \sum_{r_S} \tilde{A}(r_S) S(r_T \leftarrow r_S) + \tilde{A}(\text{Other}) \left[\frac{(M_{TB} S(r_T \leftarrow TB) - \sum_{r_S} M_{r_S} S(r_T \leftarrow r_S))}{M_{\text{Other}}} \right] \quad (5)$$

$$M_{\text{Other}} = M_{TB} - \sum_{r_S} M_{r_S} \quad (6)$$

Donde:

$\tilde{A}(r_S)$: es el tiempo de residencia (time integrated activity) del órgano fuente S

Other: Esta región fuente está compuesta por regiones fuentes del cuerpo no explicitas en el sistema biocinético, es decir, resto del cuerpo.

M_{TB} : Masa del cuerpo total sin el contenido de órganos con paredes.

$S(r_T \leftarrow r_S)$: Valor S en un órgano blanco r_T debido al órgano fuente r_S .

2.2. Pasos para el cálculo de dosis

En miras a realizar cálculos dosimétricos, el usuario debe especificar:

- Radionúclido (1252 radionúclidos de 97 elementos).
- Phantom a emplear (hombre de referencia de la ICRP, 5 hombres adultos, mujer de referencia de la ICRP, 3 mujeres adultas, 1 mujer en estado de gestación, 1 bebe de 8 semanas y 1 niño de 7 años de edad).
- Los órganos fuente y el tiempo de residencia en cada uno de ellos.
- Masas individuales del paciente, si ajustes de masas es deseado.

Para esto el software hace uso de una interfaz gráfica amigable que le permite al usuario con poca o mediana experiencia utilizar el software. En las figuras 1 a 4 se muestra el ambiente grafico del programa y cada una de las pestañas asociadas a los parámetros de entrada.

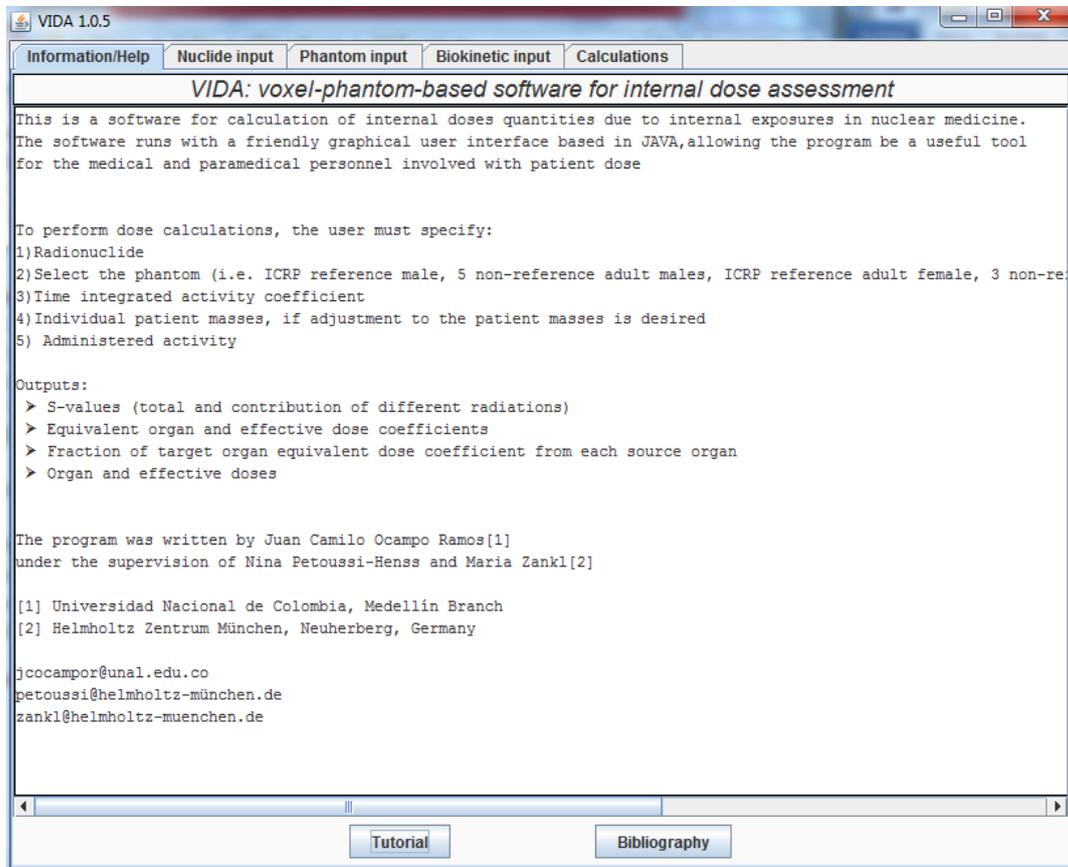


Figura 1. Screenshot de la pestaña de bienvenida

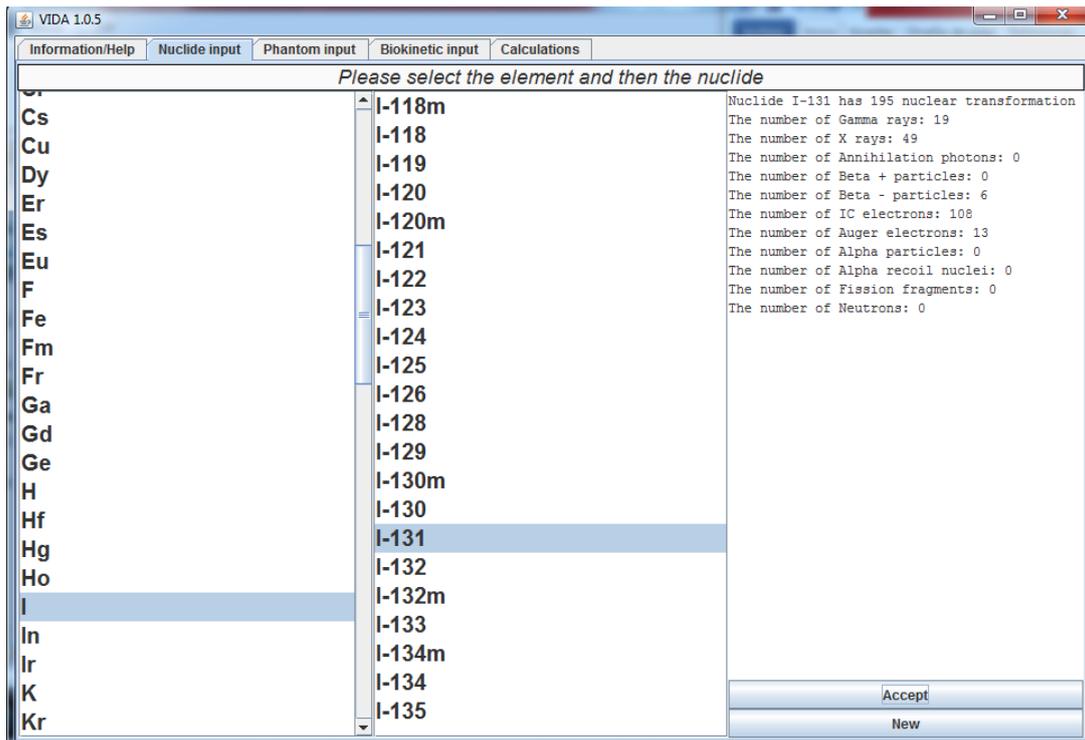


Figura 2. Screenshot de la pestaña selección de radionúclido.

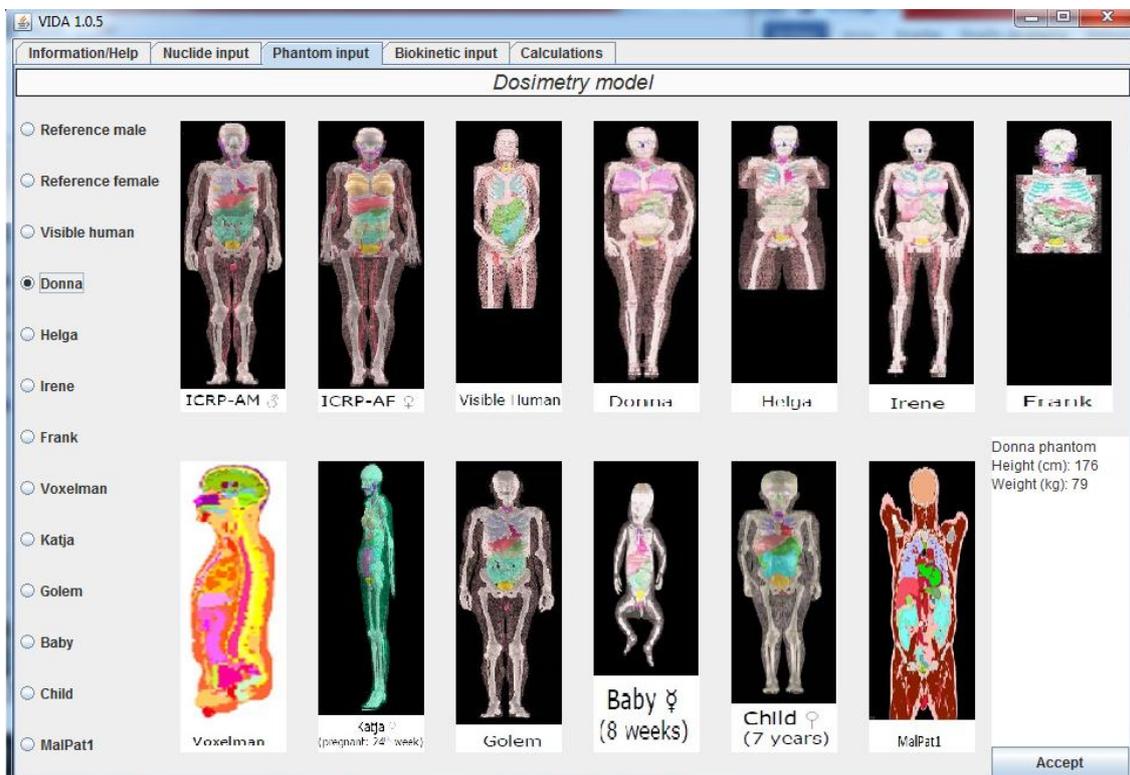


Figura 3. Screenshot de la pestaña de selección del phantom

VIDA 1.0.5

Information/Help Nuclide input Phantom input Biokinetic input Calculations

Please enter the time integrated activity coefficient (Bq-hr/Bq) for each source region

O-cavity	0.000	O-mucosa	0.000	Teeth-S	0.000	Teeth-V	0.000	Tongue	0.000
Tonsils	0.000	Oesophag-f	0.000	Oesophag...	0.000	Oesophag...	0.000	St-cont	0.000
St-mucosa	0.000	St-wall	0.000	SI-cont	0.000	SI-mucosa	0.000	SI-wall	0.000
SI-villi	0.000	RC-cont	0.000	RC-mucosa	0.000	RC-wall	0.000	LC-cont	0.000
LC-mucosa	0.000	LC-wall	0.000	RS-cont	0.000	RS-mucosa	0.000	RS-wall	0.000
ET1-sur	0.000	ET2-sur	0.000	ET2-bnd	0.000	ET2-seq	0.000	LN-ET	0.000
Bronchi	0.000	Bronchi-b	0.000	Bronchi-q	0.000	Bronchiole	0.000	Brchiole-b	0.000
Brchiole-q	0.000	AI	0.000	LN-Th	0.000	Lungs	0.000	Adrenals	0.000
Ht-cont	0.000	Blood	0.000	C-bone-S	0.000	C-bone-V	0.000	T-bone-S	0.000
T-bone-V	0.000	C-marrow	0.000	T-marrow	0.000	R-marrow	0.000	Y-marrow	0.000
Brain	0.000	Breast-a	0.000	Breast-g	0.000	Breast	0.000	Eye-Jens	0.000
GB-wall	0.000	GB-cont	0.000	Ht-wall	0.000	Kidneys	0.000	Liver	0.000
Lymph	0.000	LN-total	0.000	Muscle	0.000	Ovaries	0.000	Pancreas	0.000
P-gland	0.000	Prostate	0.000	S-glands	0.000	Skin	0.000	Sp-cord	0.000
Spleen	0.000	Testes	0.000	Thymus	0.000	Thyroid	0.000	Ureters	0.000
UB-wall	0.000	UB-cont	0.000	Uterus	0.000	Adipose	0.000	Cartilage	0.000
T-body	0.000								

save open Clean values Others/REM Accept

Figura 4. Screenshot de la pestaña de datos biocinéticos

2.3. “Outputs”

Una vez especificado los parámetros de entrada el usuario puede tener acceso a los siguientes variables de salida:

- Valore S(totales y parciales)
- Coeficientes de dosis equivalente
- Coeficiente de dosis efectiva
- Fracciones de coeficientes de dosis en órganos blanco para cada órgano fuente
- Dosis Equivalente
- Dosis Efectiva

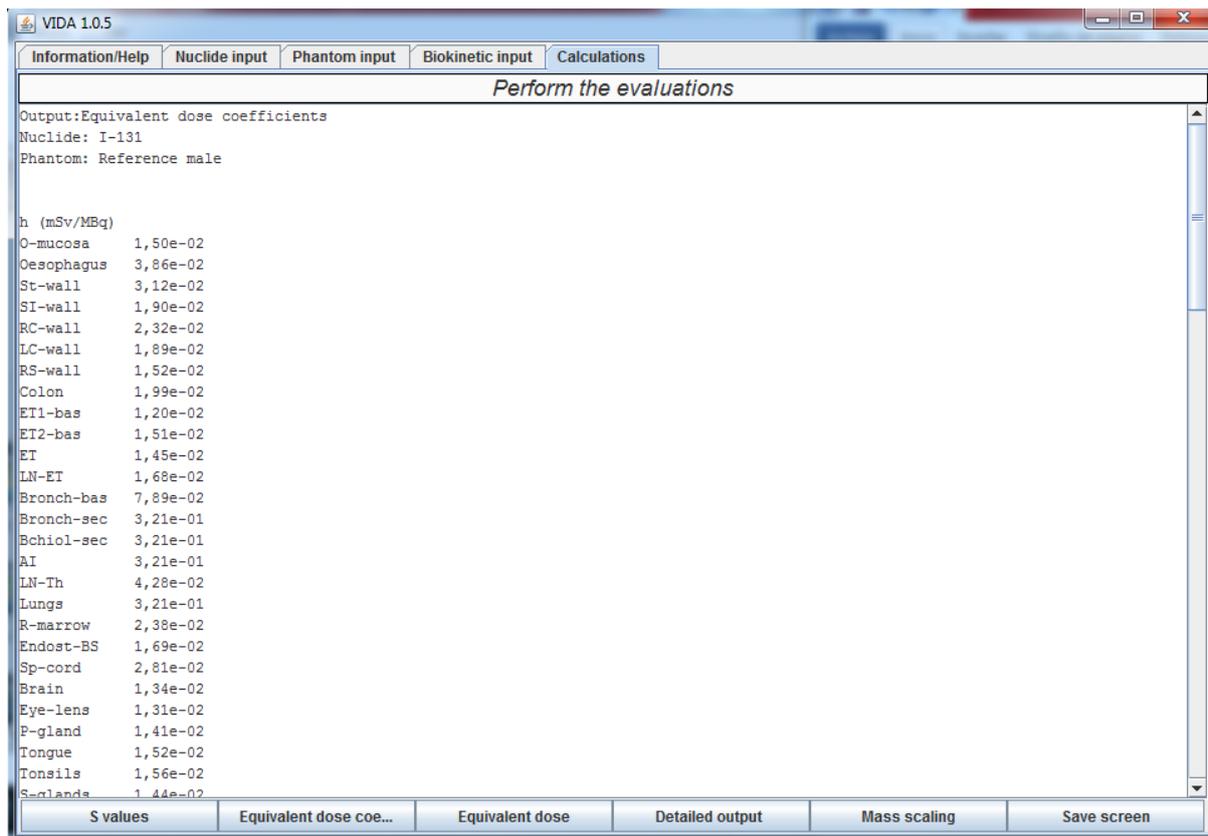


Figura 5. Screenshot de la pestaña de datos de salida

3. EJEMPLO

A modo de ejemplo a continuación se muestran los resultados de coeficientes de dosis absorbida (mGy/MBq) para Tc-99m ECD en 5 de los phantoms disponibles en el programa.

La tabla 1 muestra la comparación de las dosis absorbidas por actividad administrada (mGy/MBq) para el Tc-99m ECD, con órganos fuente: Cerebro, tiroides, pulmones, riñones, hígado, otros, contenido de la vejiga, vesícula biliar y contenido del tracto gastrointestinal (biocinetica tomada de la publicación 106 de la ICRP).

Tabla 1. Coeficientes de dosis absorbida (mGy/MBq) para Tc-99m ECD

Target Organ	Reference female 163 cm 60 kg	Donna 176 cm 79 kg	Helga 170 cm 81 kg	Irene 163 cm 51 kg	Reference male 176 cm 73 kg
R-marrow	3.68E-03	3.06E-03	3.07E-03	3.32E-03	3.01E-03
Colon	1.15E-02	2.34E-02	1.55E-02	2.65E-02	9.58E-03
Lungs	2.53E-03	3.10E-03	3.79E-03	2.99E-03	2.38E-03
St-wall	4.22E-03	3.72E-03	4.12E-03	4.31E-03	4.77E-03
Breast	1.25E-03	1.14E-03	9.52E-04	1.47E-03	1.26E-03
Ovaries	9.35E-03	8.29E-03	8.20E-03	1.21E-02	1.61E-03
UB-wall	2.60E-02	4.40E-02	5.29E-02	5.94E-02	2.50E-02
Oesophagus	2.09E-03	2.07E-03	2.30E-03	2.10E-03	2.12E-03
Liver	6.95E-03	6.48E-03	7.01E-03	7.41E-03	7.05E-03
Thyroid	7.27E-03	6.59E-03	4.54E-03	6.31E-03	6.23E-03
Endost-BS	2.81E-03	3.47E-03	4.45E-03	3.61E-03	2.23E-03
Brain	5.20E-03	5.38E-03	5.24E-03	5.37E-03	4.77E-03
S-glands	1.39E-03	6.59E-03	4.54E-03	6.31E-03	1.07E-03
Skin	1.27E-03	9.75E-04	1.07E-03	1.38E-03	1.05E-03

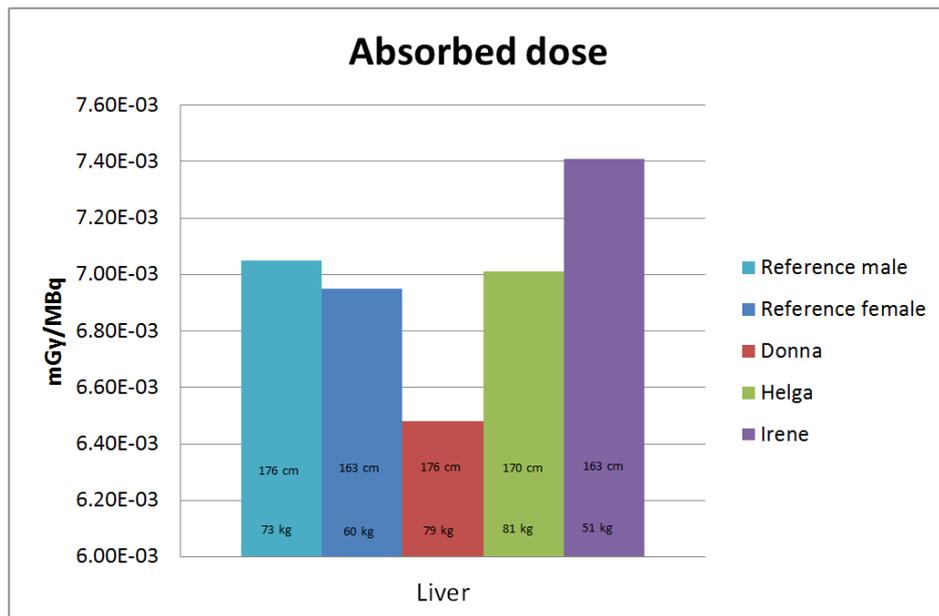


Figura 6. Comparación de dosis absorbidas para ^{99m}Tc – ECD en el hígado

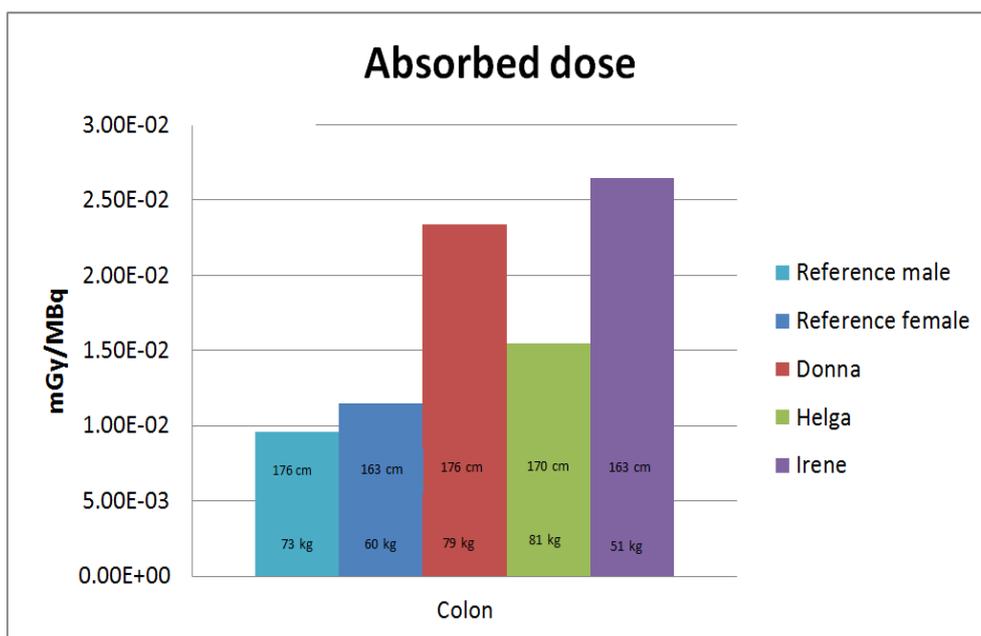


Figura 7. Comparación de dosis absorbidas para ^{99m}Tc – ECD en el Colon

Debido a que la mayor contribución del Tc-99m proviene de partículas gamma, la posición y las distancias inter-organos tienen un fuerte impacto en la dosis absorbida, esto muestra la dependencia de las dosis absorbidas con la variabilidad anatómica de los phantoms e individuos.

3. CONCLUSIONES

El software realiza cálculos de dosis para emisores internos como los radiofármacos usados en medicina nuclear. El programa permite seleccionar dentro de una gran variedad de phantoms el que más se ajuste a las dimensiones externas del paciente en cuestión, además se puede realizar correcciones de masas individuales a necesidad.

Los resultados preliminares muestran la variabilidad de dosis debido a diferencias anatómicas, por lo cual se está realizando un compendio de nuevos coeficientes de dosis para una gran variedad de radiofármacos y phantoms.

Se espera que el software sea una herramienta útil para el personal médico, paramédico y científico que están involucrados en el cálculo de dosis del paciente y el manejo del riesgo radiológico.

4. REFERENCIAS

Zankl M, Schlattl H, Petoussi-Hens N, Hoeschen C., "Electron specific absorbed fractions for the adult male and female ICRP/ICRU reference computational phantoms," *Phys Med Biol.* 2012 Jul 21;57(14):4501-26.

Petoussi-Hens N, Zankl M, Nosske D. "Estimation of patient dose from radiopharmaceuticals using voxel models.," *Cancer Biother Radiopharm.* 2005 Feb;20(1):103-9.

Stabin MG, Sparks RB, Crowe E., "OLINDA/EXM: the second-generation personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine.," *J Nucl Med.* 2005 Jun;46(6):1023-7.