

Trabajo de Fin de Grado

Implementación del formalismo TG-43 para semillas de Ir-192

Felip Pellicer Benedicto

Tutores:

Facundo Ballester Pallarés

Javier Vijande Asenjo

1. INTRODUCCIÓN

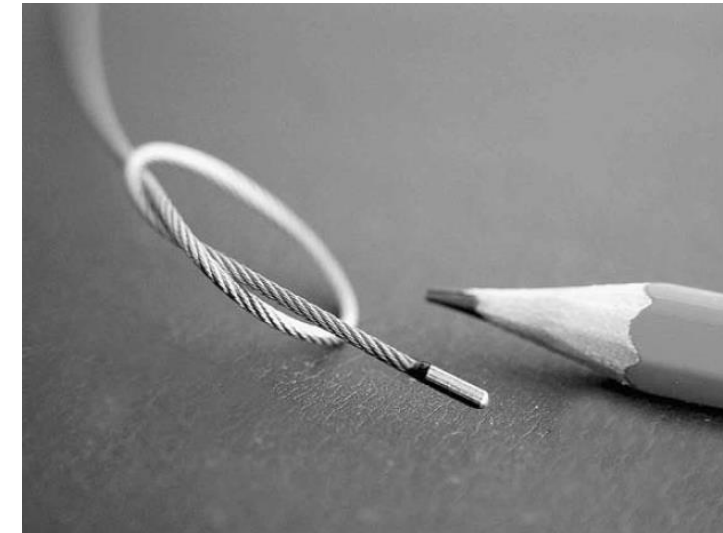
- Qué es la braquiterapia
- Consideraciones para su estudio
- Objetivos

1.1. Braquiterapia

- La braquiterapia es una técnica de radioterapia en la que se insertan “semillas” de material radiactivo en tumores o en sus proximidades.
- Primera aproximación: fuente puntual

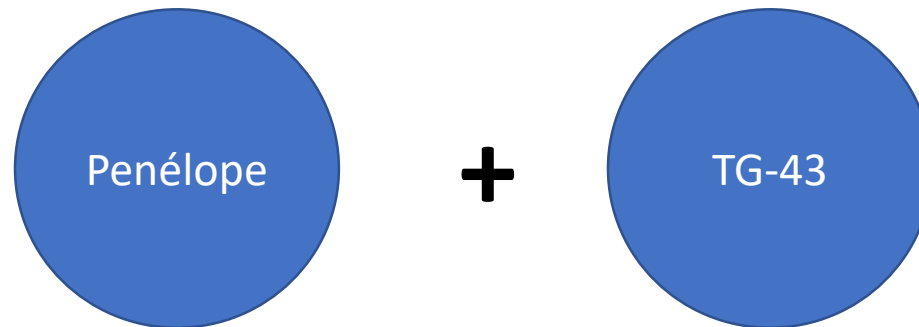
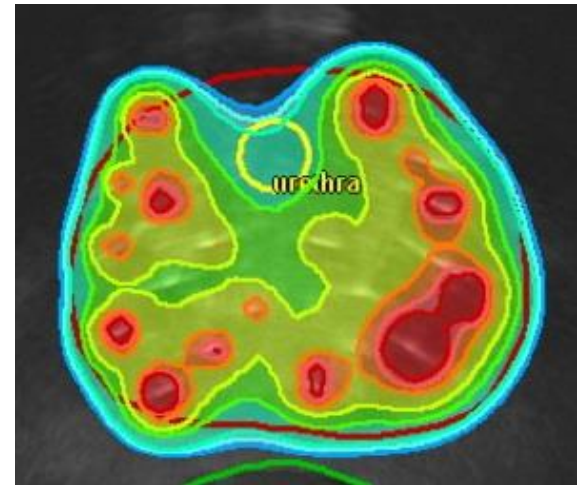
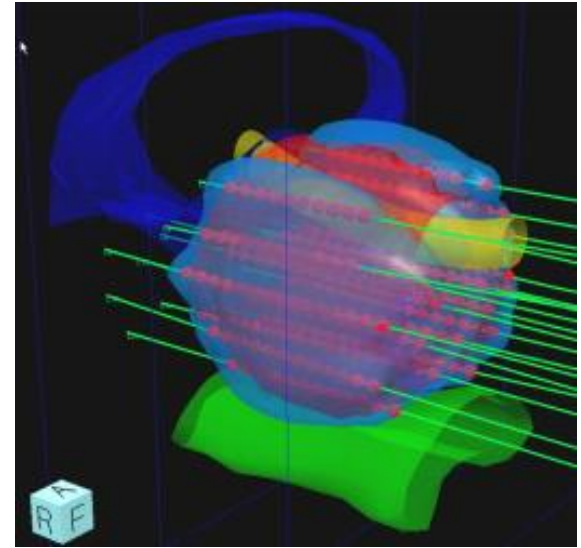
$$D(r) \propto r^{-2}$$

- Capaz de depositar una gran cantidad de energía de forma muy localizada.



1.2. Consideraciones para su estudio

- Procesos físicos implicados: efecto fotoeléctrico, dispersión elástica e inelástica, producción de pares.
- Simulación Montecarlo: Penélope-2008.
- Inserción de múltiples implantes: formalismo TG-43



1.3. Objetivos

- Utilizar el método de Montecarlo para estimar distribuciones de tasa de dosis generadas por distintas semillas de Ir-192.
- Resolver el problema del cálculo en la práctica clínica, utilizando el formalismo TG-43.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

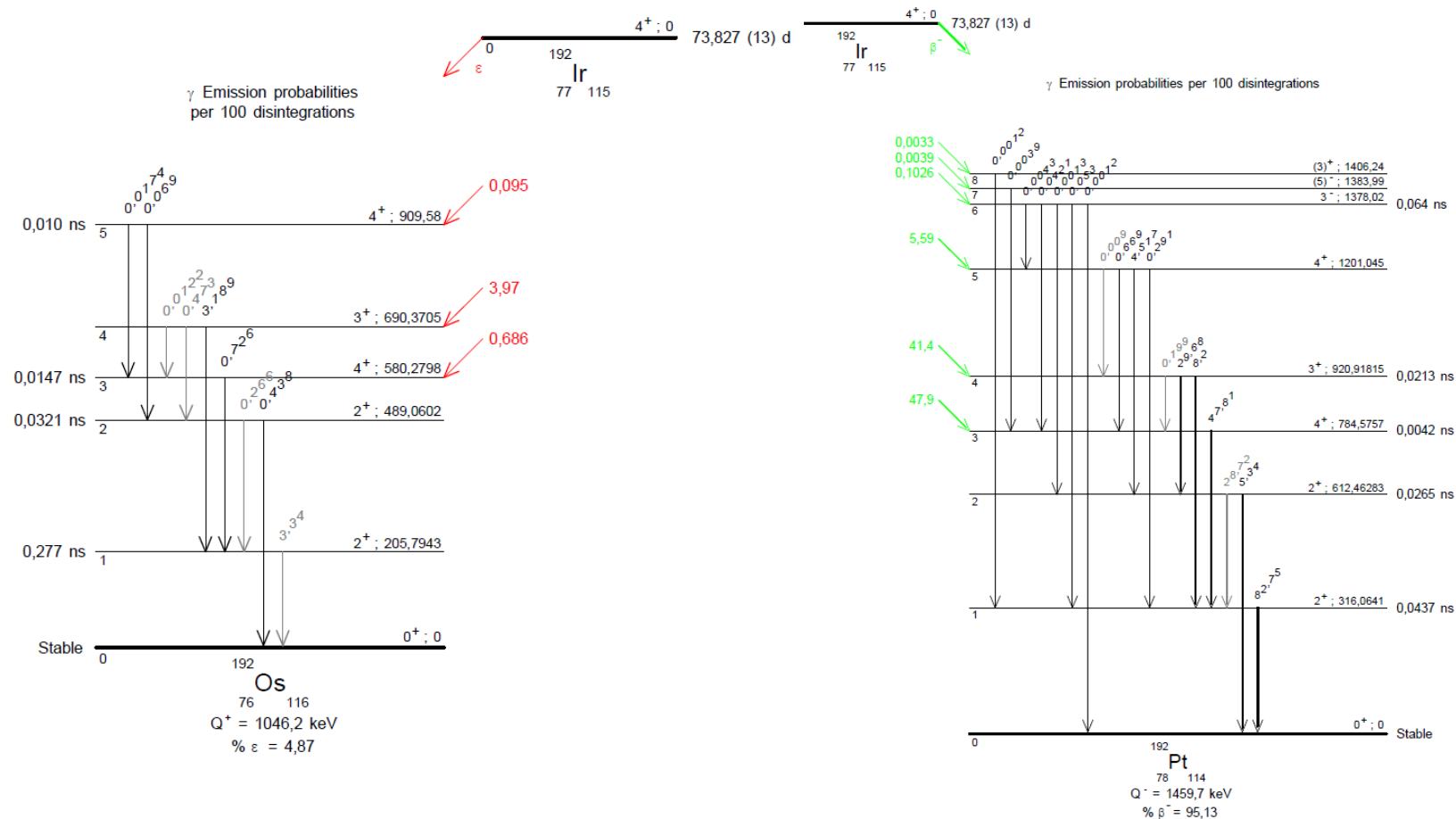
- Material
- Método Montecarlo: Penélope
- *Track Length Estimator*
- Formalismo TG-43

2.1. Material utilizado

- Ordenador personal, con sistema operativo Linux
- Código fuente de Penélope
- Código fuente del *Track Length Estimator*
- Aplicación *gview*
- Programa propio, escrito en C++, para el análisis de datos

2.2. Método Montecarlo: Penélope

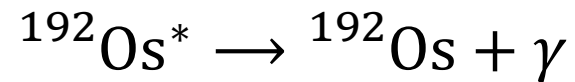
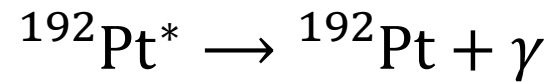
- Desintegración del Ir-192:



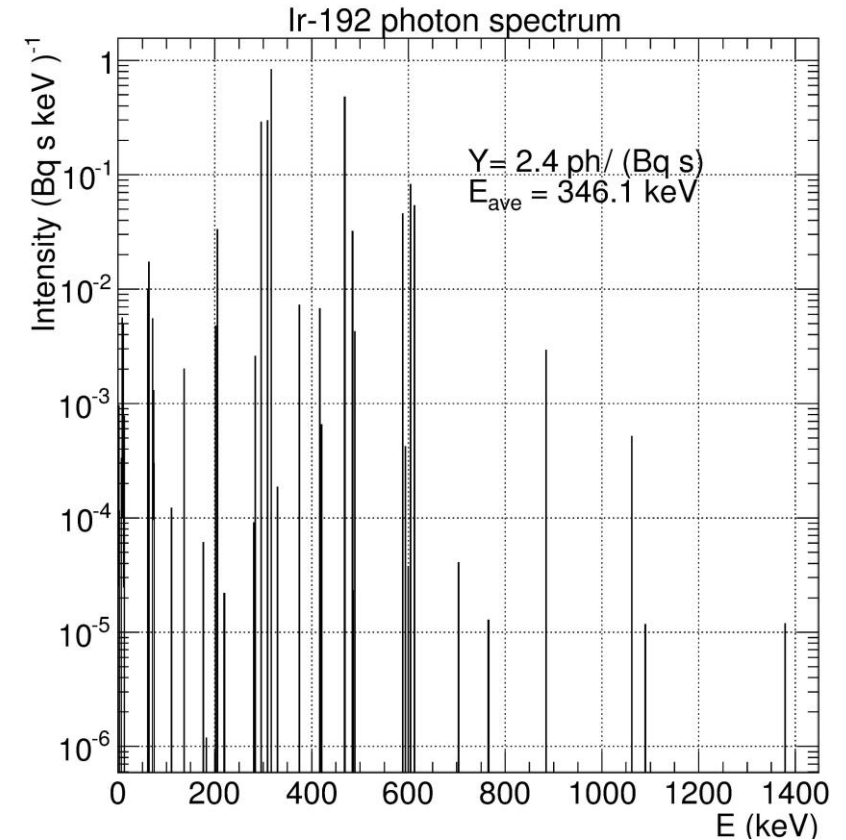
2.2. Método Montecarlo: Penélope

- Electrones de la emisión β^- y los producidos en la cápsula: apreciables en los 2 primeros mm.

- Consideramos solamente la emisión de fotones:

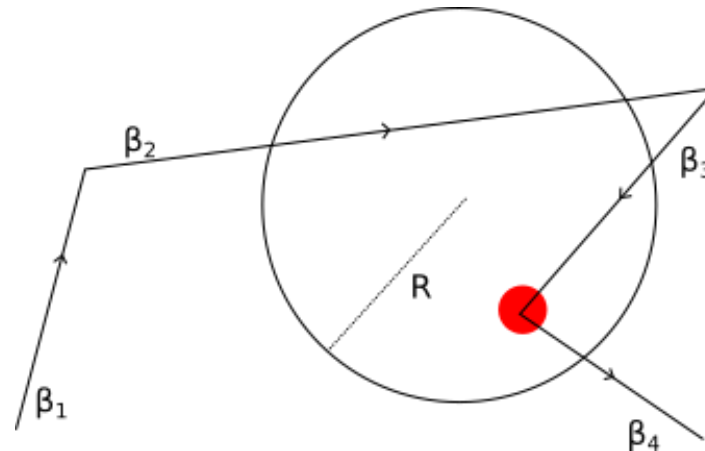


- Energía E_0 en función del espectro de emisión del Ir-192.



2.2. Método Montecarlo: Penélope

- Se simula la emisión e interacción de un fotón con el medio.
- Dosis \rightarrow energía perdida en cada interacción.
- Se repite este proceso para cierto número de fotones.



2.3. Kerma de colisión. *Track Length Estimator*

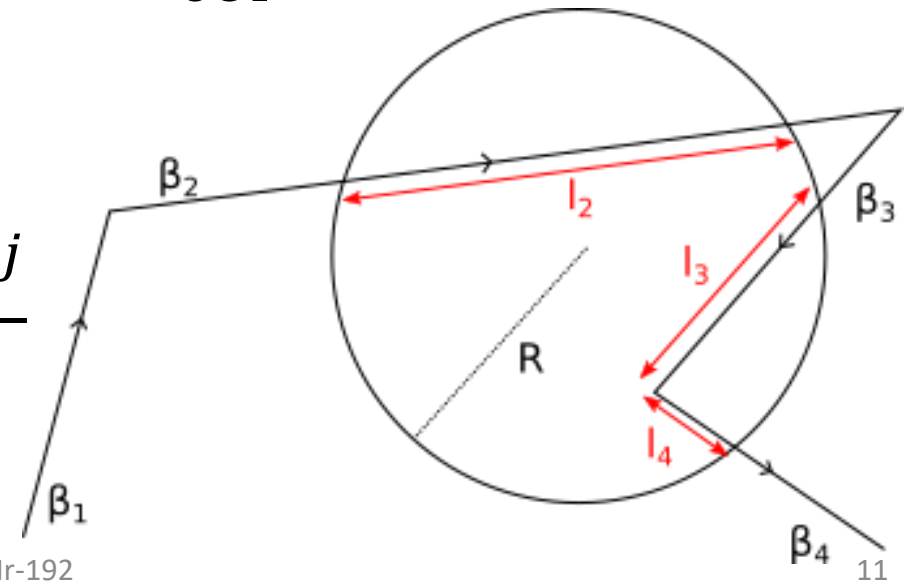
- **Kerma de colisión:** “energía cinética inicial de todas las partículas cargadas liberadas por la radiación por unidad de masa, excluyendo pérdidas por radiación”.

(Williamson, 1987)

- Equilibrio de fluencia de electrones $\Rightarrow \dot{D} = \dot{K}_{\text{col}}$

- *Track Length Estimator:*

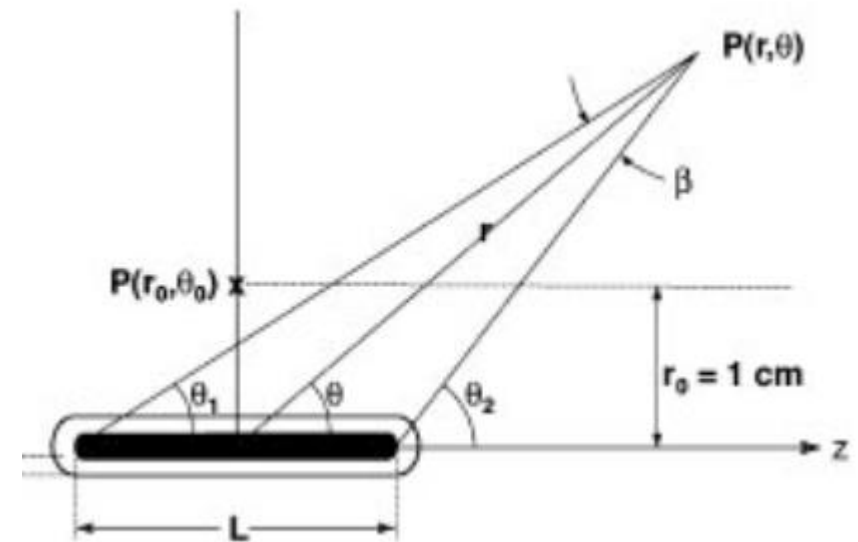
$$\dot{K}_{\text{col}} \rightarrow k(r_{ij}, \Omega_{ij}, E_{ij}) = \frac{W_{ij} E_{ij} \left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right) l_{ij}}{V_{\text{voxel}}}$$



2.4. El formalismo TG-43

(AAPM, 2004)

- Tasa de dosis: $\dot{D}(r, \theta) = S_K \Lambda \frac{G_L(r, \theta)}{G_L(r_0, \theta_0)} g(r) F(r, \theta)$
- Constantes:
 - Air kerma strength: $S_K = \dot{K}(d)d^2$
 - $d \approx 10$ cm
 - Proporcional a la actividad de la semilla
 - Medida experimental
 - Dose-rate constant: $\Lambda = \frac{\dot{D}(r_0, \theta_0)}{S_K}$
 - Independiente de la actividad
 - Simulaciones



2.4. El formalismo TG-43

- Funciones:

- Función geométrica:
$$G(r, \theta) = \frac{\int_V dV' \frac{\rho(r')}{|r' - r|^2}}{\int_V dV' \rho(r')} \approx \frac{\beta}{L r \sin \theta} , \quad \beta \equiv \theta_2 - \theta_1$$

- Función radial:
$$g(r) = \frac{\dot{D}(r, \theta_0)}{\dot{D}(r_0, \theta_0)} \frac{G_L(r_0, \theta_0)}{G_L(r, \theta_0)}$$

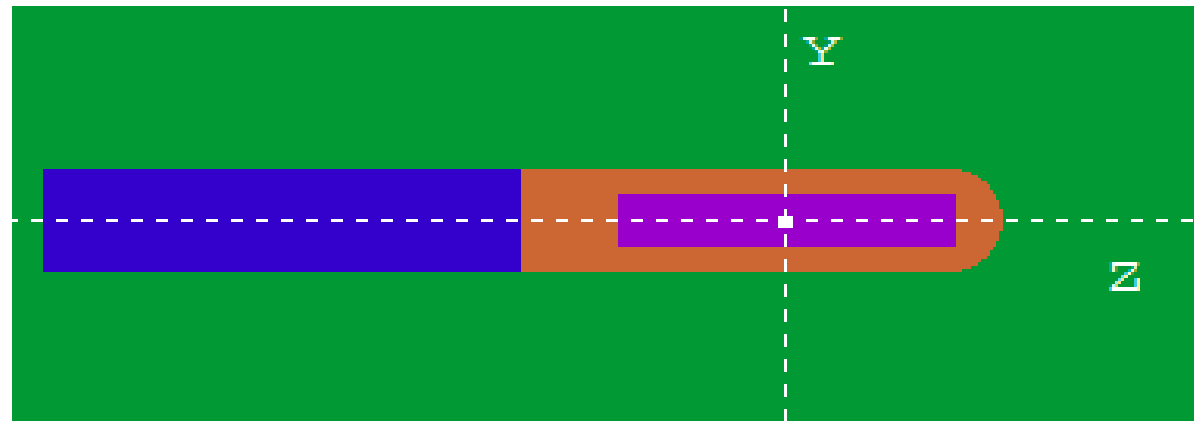
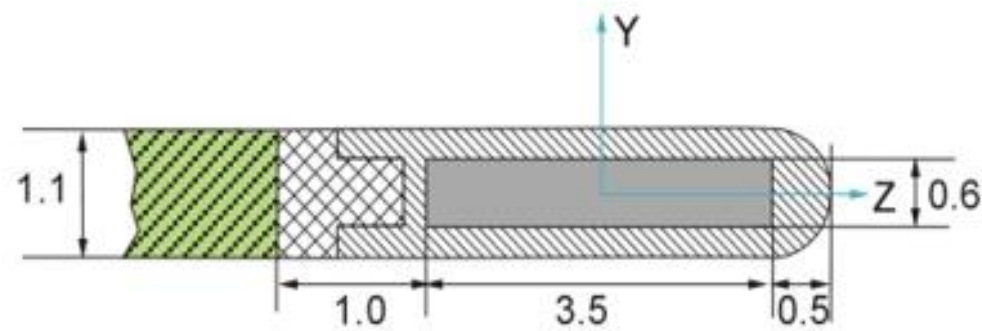
- Función de anisotropía:
$$F(r, \theta) = \frac{\dot{D}(r, \theta)}{\dot{D}(r, \theta_0)} \frac{G_L(r, \theta_0)}{G_L(r, \theta)}$$

3. RESULTADOS

- Geometrías utilizadas
- Dosis-kerma de colisión
- Constantes y funciones del formalismo TG-43

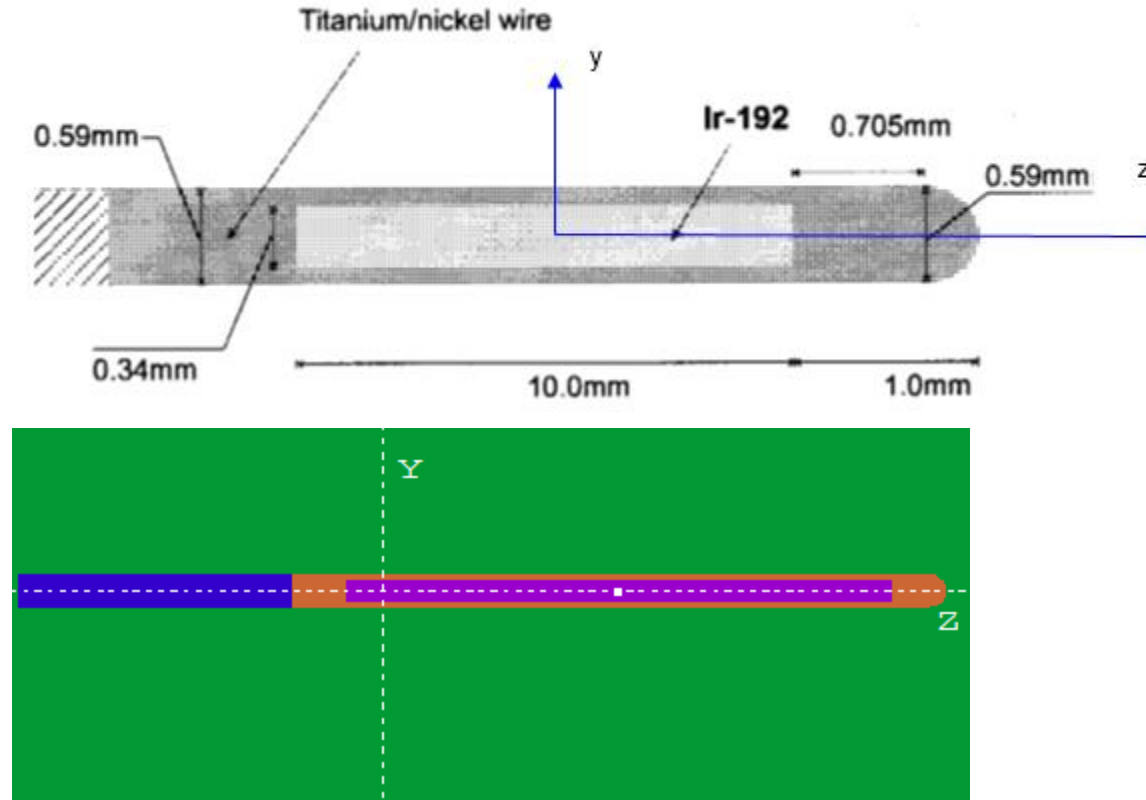
3.1. Geometrías utilizadas

- microSelectron-v1



3.1. Geometrías utilizadas

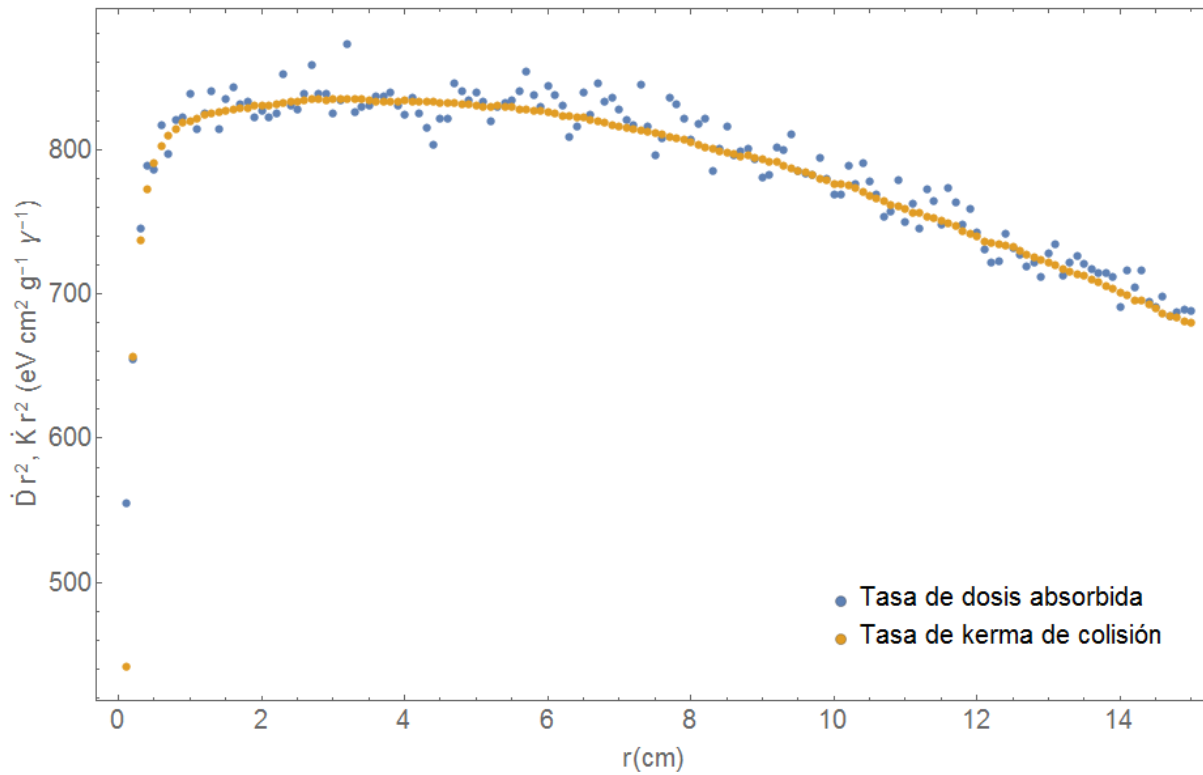
- variSource-classic



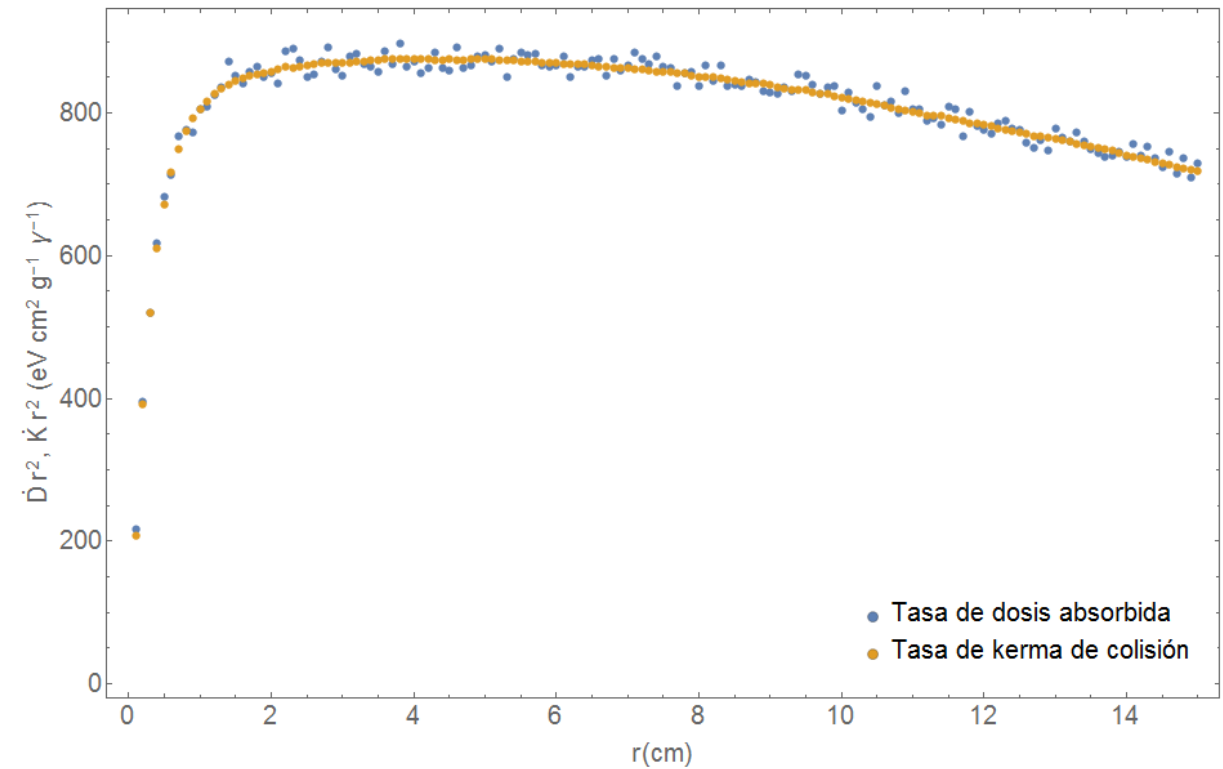
- Rodeadas por una esfera de agua de 40 cm de radio

3.2. Dosis-kerma ($\theta = 90^\circ$)

microSelectron-v1



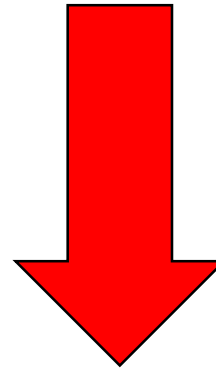
variSource-classic



3.3. Constantes y funciones del TG-43

$$S_K(\text{microSelectron-v1}) = 727 \pm 3 \text{ eV cm}^2 \text{ g}^{-1} \gamma^{-1}$$

$$S_K(\text{variSource-classic}) = 762 \pm 4 \text{ eV cm}^2 \text{ g}^{-1} \gamma^{-1}$$



$$\Lambda = \frac{\dot{D}(r_0, \theta_0)}{S_K}$$

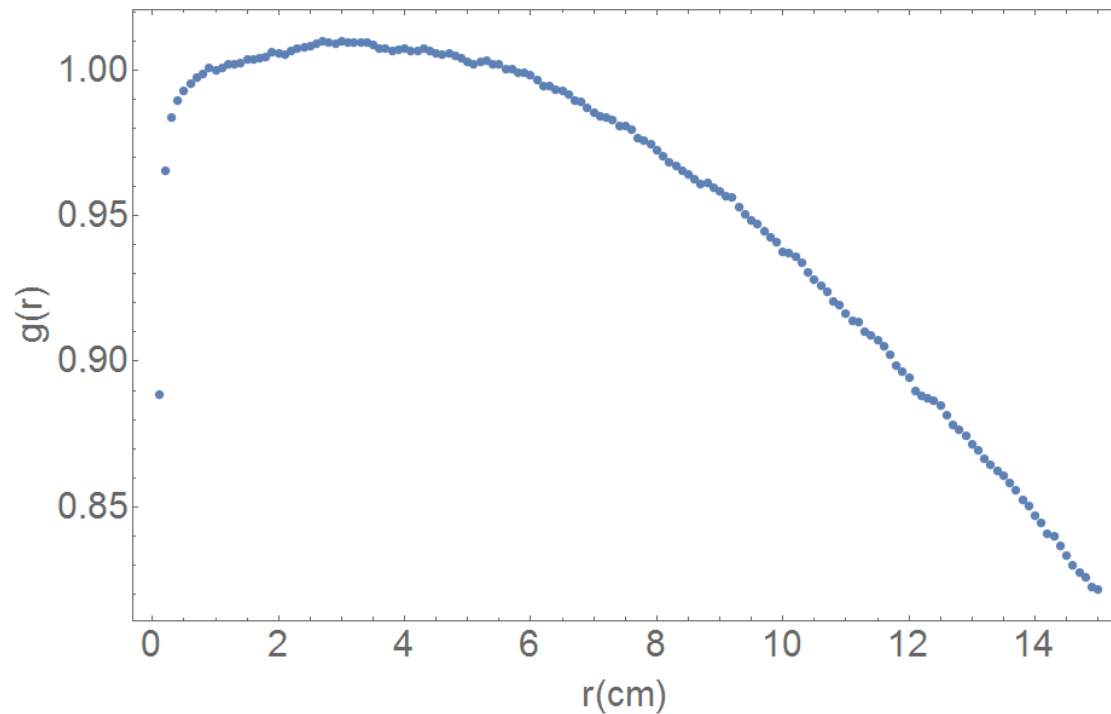
$$\Lambda(\text{microSelectron-v1}) = 1.127 \pm 0.009 \text{ cGy h}^{-1} \text{ U}^{-1}$$

$$\Lambda(\text{variSource-classic}) = 1.057 \pm 0.009 \text{ cGy h}^{-1} \text{ U}^{-1}$$

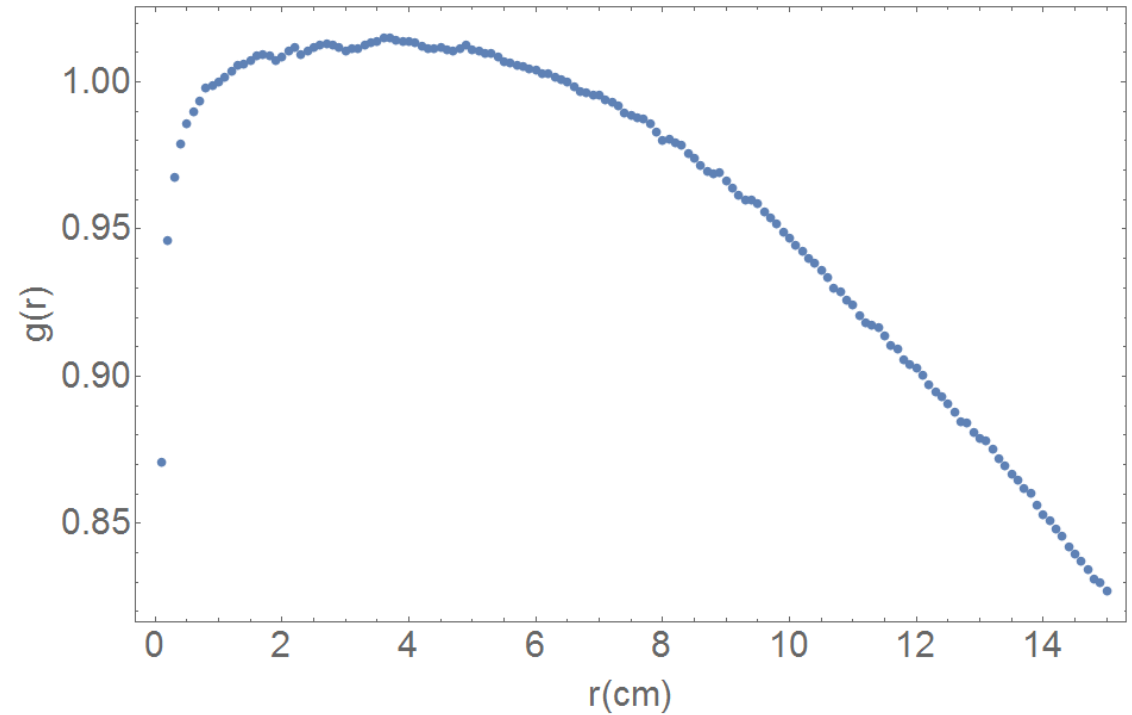
3.3. Constantes y funciones del TG-43

- Función radial

microSelectron-v1

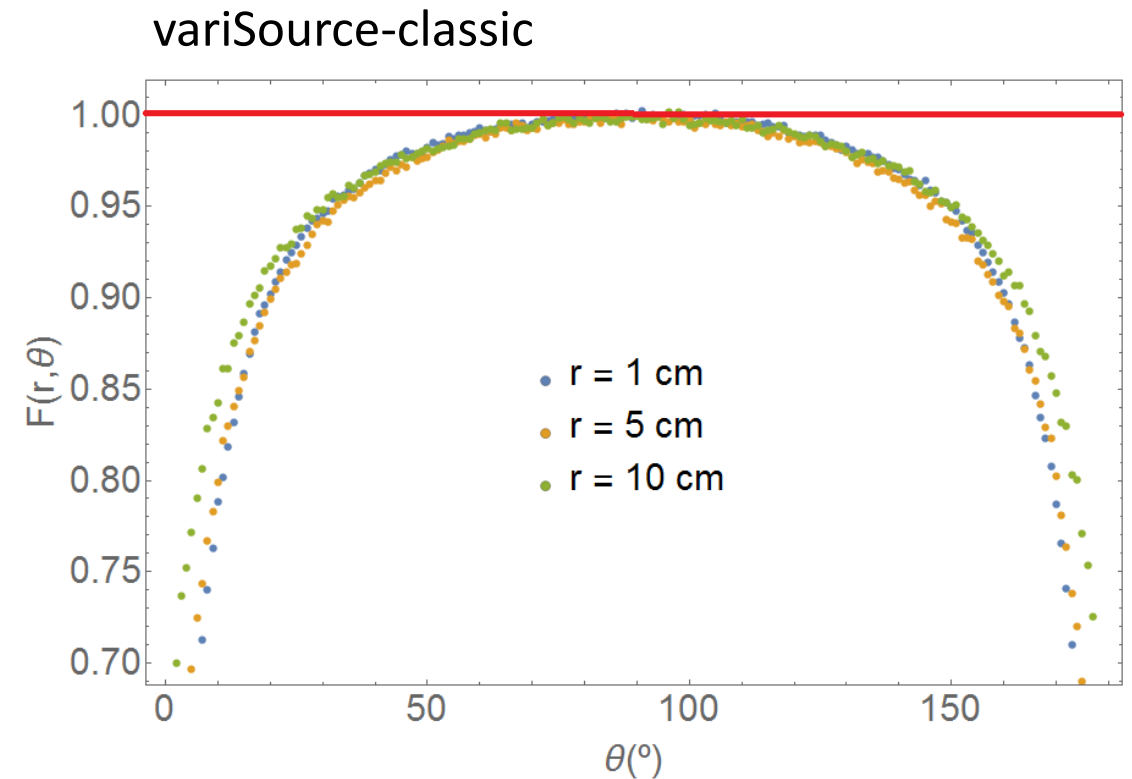
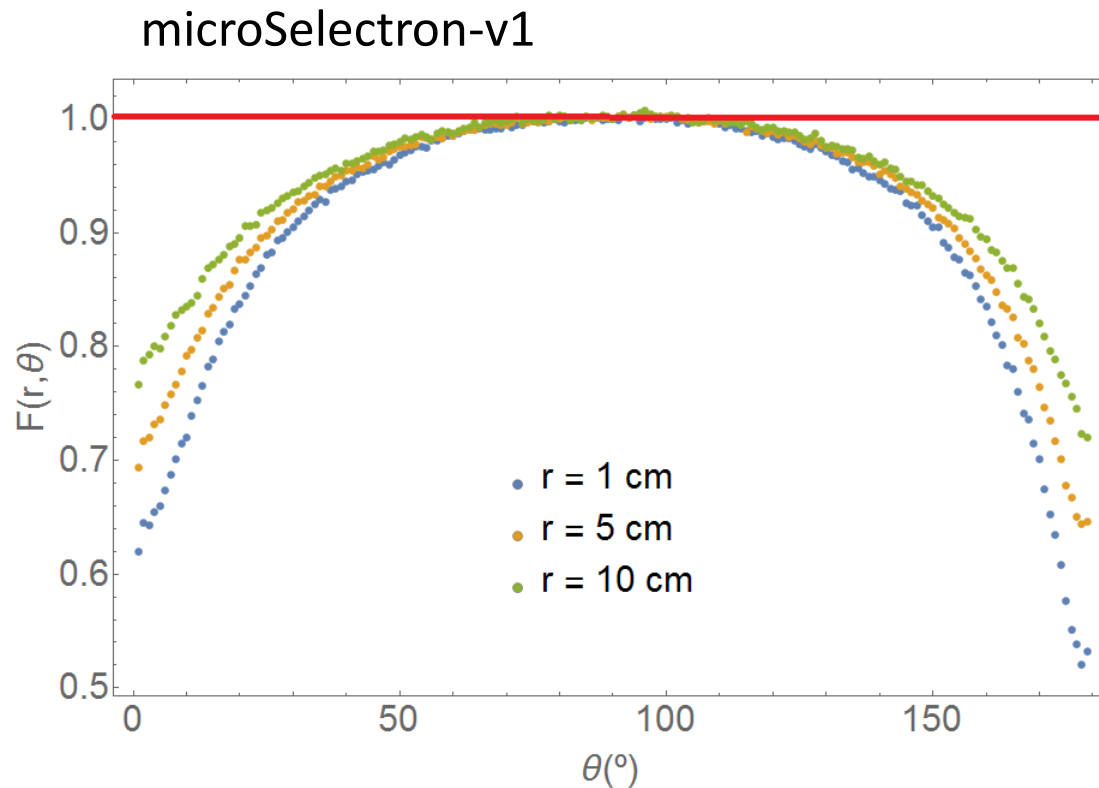


variSource-classic



3.3. Constantes y funciones del TG-43

- Función de anisotropía

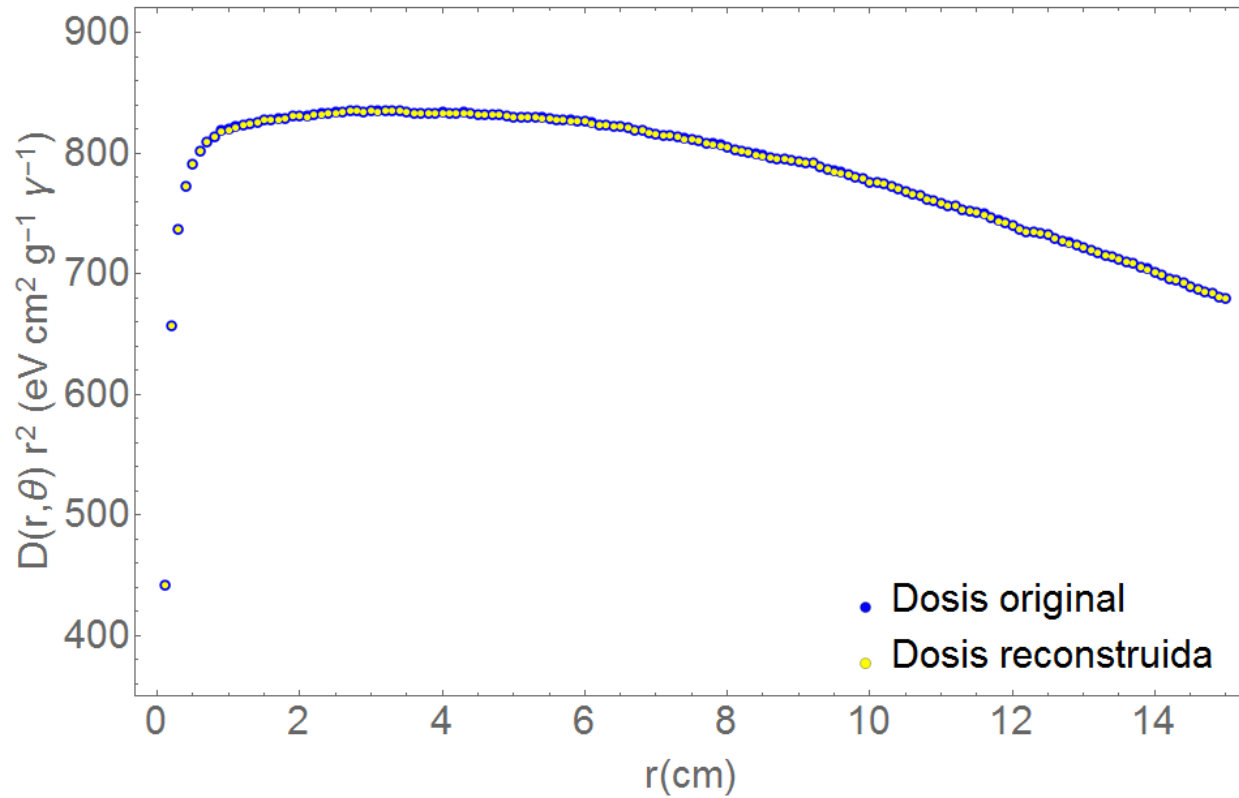


4. DISCUSIÓN

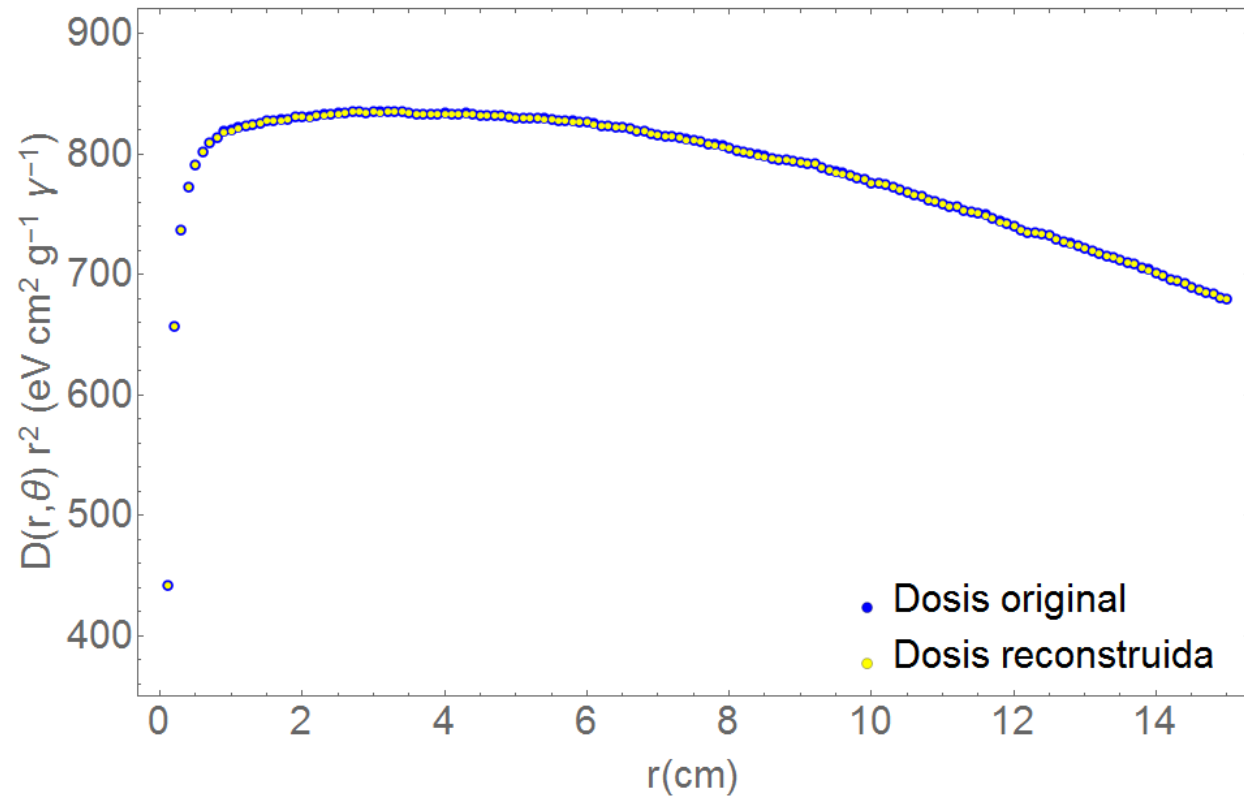
- Reconstrucción de la dosis
- Análisis de errores
- Comparación de resultados con AAPM-ESTRO

4.1. Reconstrucción de la dosis $\dot{D} \rightarrow \text{TG-43} \rightarrow \dot{D}$

microSelectron-v1



variSource-classic



4.2. Análisis de errores

(Ballester et al., 2015)

Componente (%)	$\dot{D}(r_0, \theta_0)$	S_K
Física del método Montecarlo	0.05	0.05
Composición del agua	0.01	0.01
Secciones eficaces	0.01	0.001
Track Length Estimator (μ_{en}/ρ)	0.07	0.07
Tamaño de los voxels	0.20	0.02
Incertidumbre estadística	0.31	0.45
Incertidumbre total	0.38	0.46

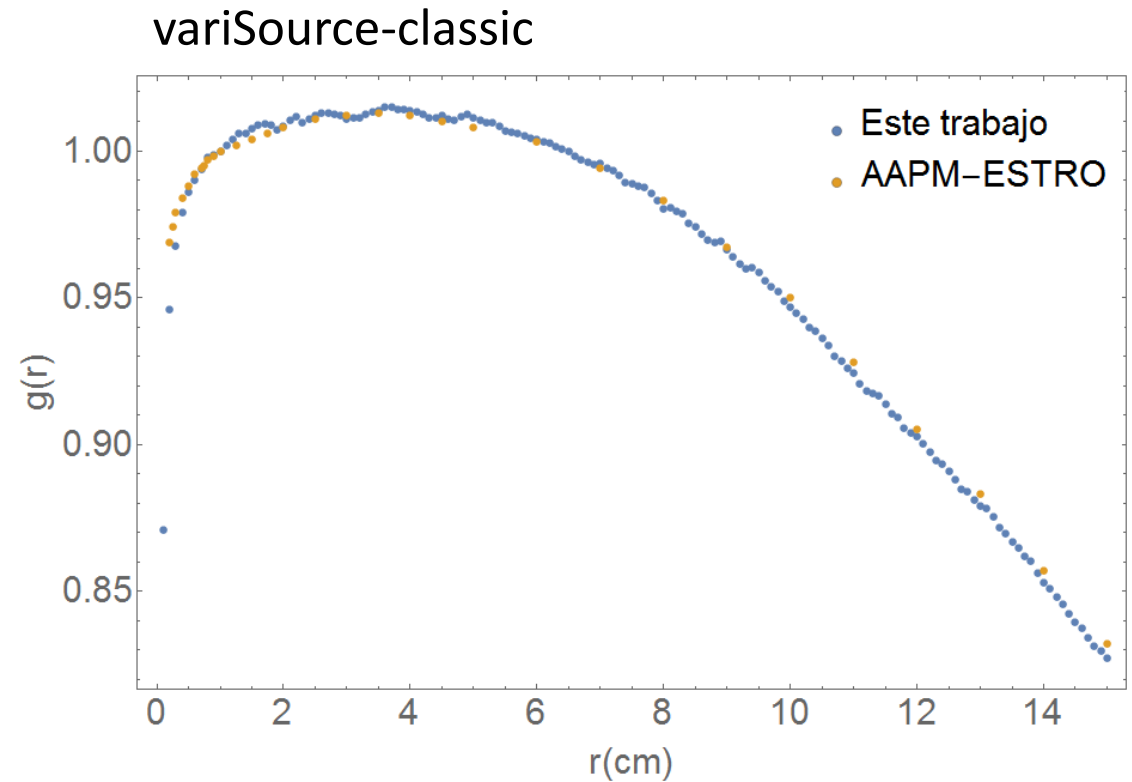
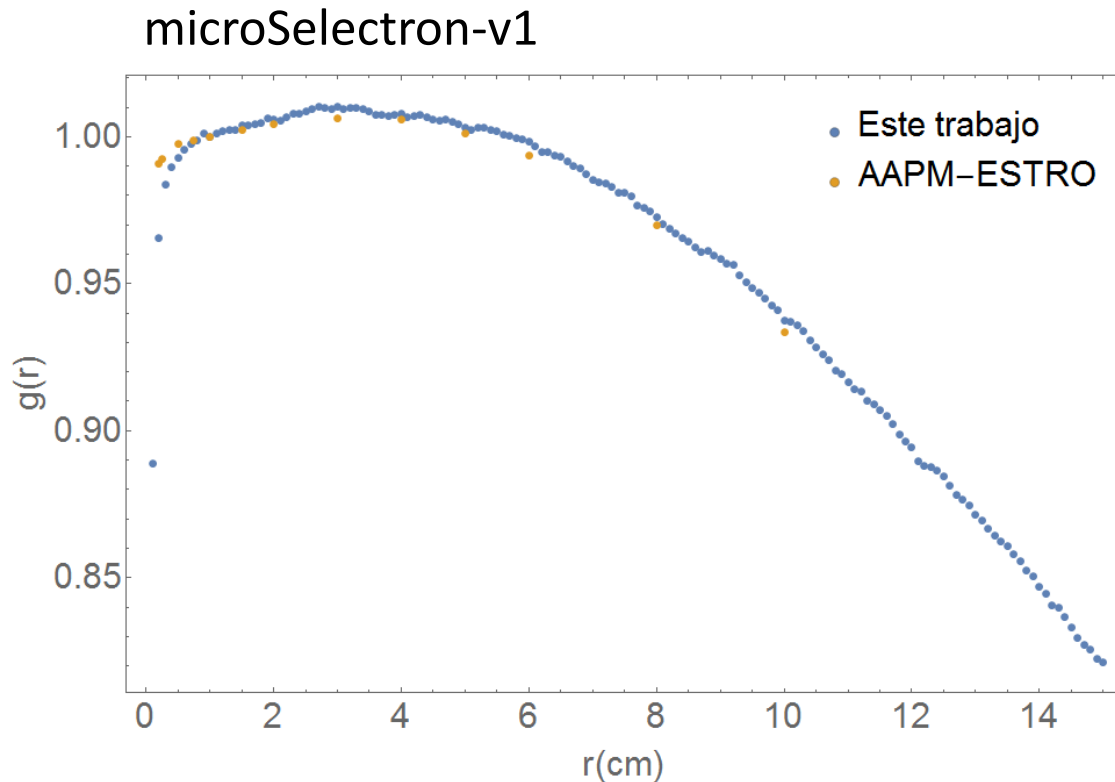
4.3. Comparación de resultados

- Constante de tasa de dosis

Semilla	Λ_{con} (cGy h ⁻¹ U ⁻¹) (HEBD, 2012)	Λ (cGy h ⁻¹ U ⁻¹)
microSelectron-v1	1.116	1.127 ± 0.009
variSource-classic	1.044	1.057 ± 0.009

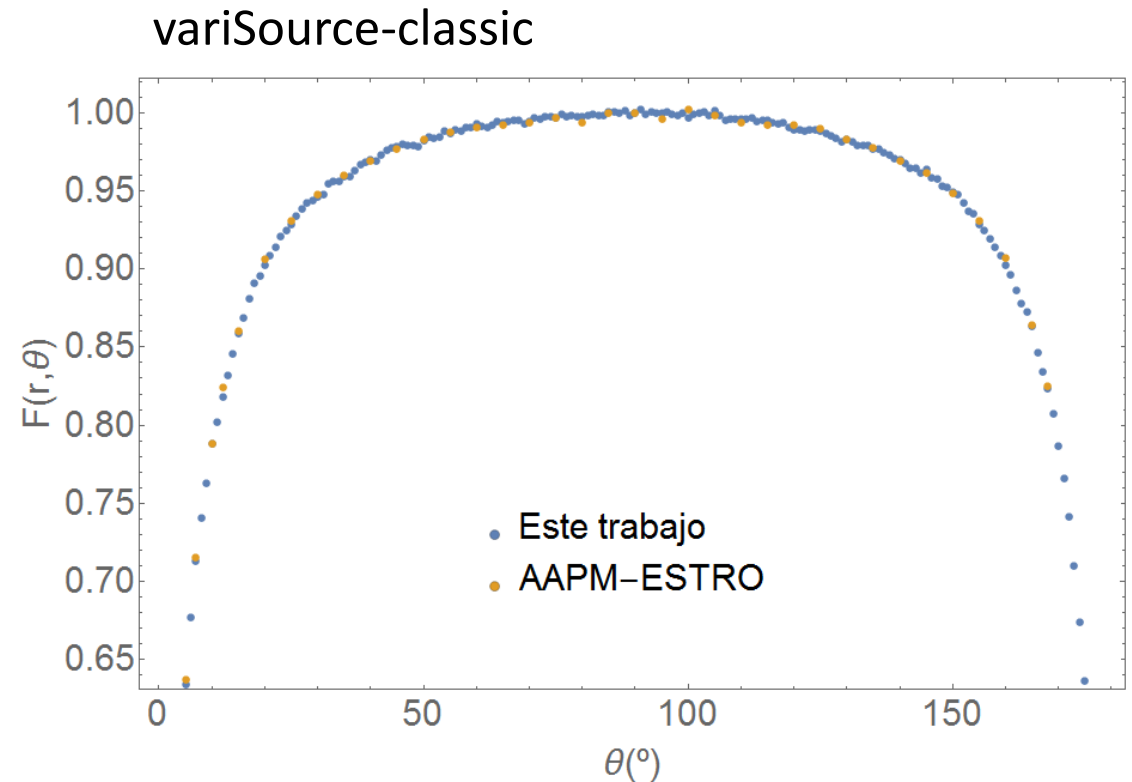
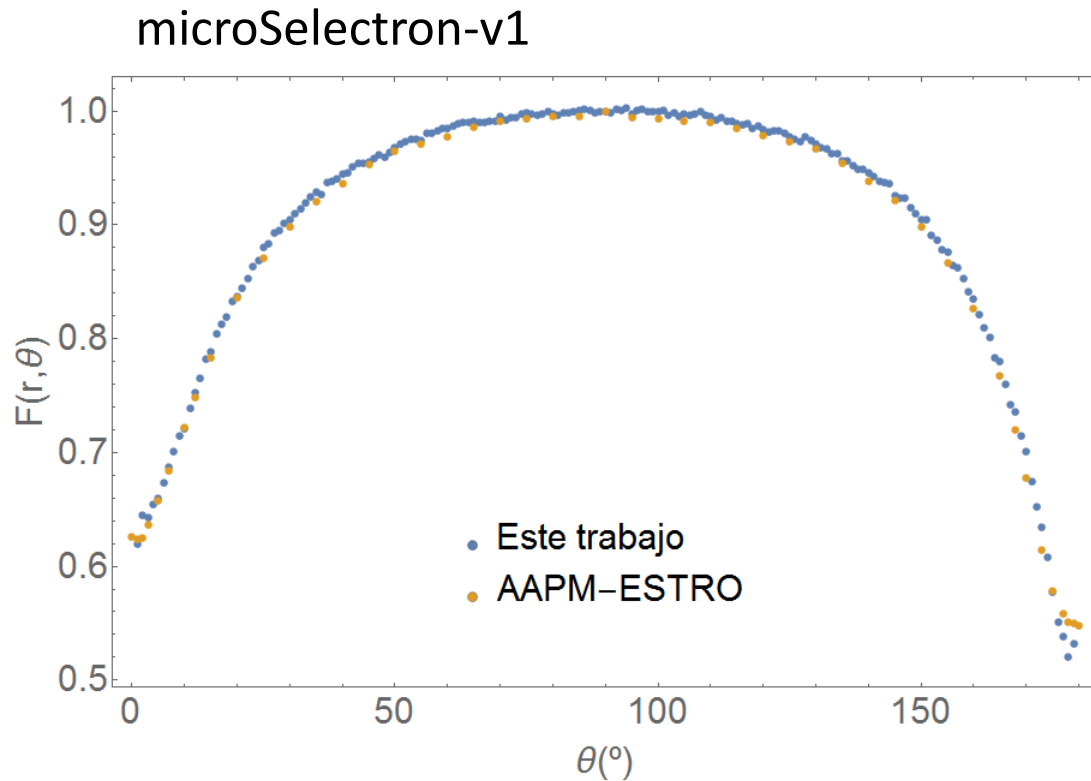
4.3. Comparación de resultados

- Función radial



4.3. Comparación de resultados

- Función de anisotropía



5. CONCLUSIONS

5. Conclusions

- Efficient way to reconstruct the absorbed dose distribution.
 - Powerful tool: TG-43 + Penelope
- Notable features:
 - Electronic equilibrium
 - Phantom size
- Successful comparison with AAPM-ESTRO results
- Aspect to improve: statistical uncertainty

Gracias por su atención

Bibliografia

- J.F. Williamson. *Monte Carlo evaluation of kerma at a point for photon transport problems*. Medical Physics, 14(4): 567-576, 1987.
- M.J. Rivard, B.M. Coursey, L.A. DeWerd, W.F. Hanson, M.S. Huq, G.S. Ibbott, M.G. Mitch, R. Nath, and J.F. Williamson. Update of AAPM Task Group No. 43 Report: *A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations*. Medical Physics, 31(3): 633-674, 2004.
- AAPM-ESTRO (HEBD Working Group): *Dose calculation for Photon-Emitting Brachytherapy Sources with Average Energy Higher than 50 keV*.
- F. Ballester, A.C. Tedgren, D. Granero, A. Haworth, F. Mourtada, G.P. Fonseca, Z. Zourari, P. Papagiannis, M.J. Rivard, F.A. Siebert, R.S. Sloboda, R.L. Smith, R.M. Thomson, F. Verhaegen, J. Vijande, Y. Ma, and L. Beaulieu. *A generic high-dose rate Ir-192 brachytherapy source for evaluation of model-based dose calculations beyond the TG-43 formalism*. Medical Physics, 45(6): 3048-3062, 2015