



## 1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

**Título:** Estudio de las características básicas de haces de iones de  $4\text{He}$  de interés en radioterapia mediante el código Monte Carlo PENHAN

### Descripción general (resumen y metodología):

Actualmente, la mayoría de los centros de radioterapia que usan haces de partículas se centran en el uso de protones o bien iones de  $^{12}\text{C}$  para tratar a los pacientes. A día de hoy, más de 90000 pacientes se han beneficiado de la protonterapia, y más de 10000 del tratamiento con iones de carbono. Por tanto, se dispone de datos clínicos de ambos tipos de tratamientos, pero se siguen realizando ensayos clínicos para poder analizar la eficacia de dichas terapias. Sin embargo, desde un punto de vista físico, no está claro si protones e iones de carbono son las partículas óptimas. Por ejemplo, se sabe que los protones muestran una penumbra del haz relativamente grande. Por otra parte, los iones de carbono dan lugar a una mayor fragmentación, lo que conduce a una deposición de dosis no despreciable detrás del pico de Bragg. Además, los iones de carbono son biológicamente mucho más eficaces que la irradiación convencional de fotones o protones. Aunque esto podría suponer una ventaja clínica, es necesario un conocimiento detallado de la efectividad biológica relativa (RBE, por sus siglas en inglés) de los iones ligeros. Esto es más importante aún cuando se trata de pacientes pediátricos, en los que los posibles efectos secundarios pueden tener un impacto mucho mayor en su futura calidad de vida. Los iones más pesados que los iones de oxígeno ( $Z > 8$ ) se estudiaron en los años 70 en Berkeley, pero debido a la fragmentación nuclear y a la producción de partículas secundarias, se consideró que tenían una ventaja terapéutica limitada. En la actualidad, los datos experimentales y biológicos sobre otros iones, como los de helio, son escasos, ya que no se han realizado estudios sistemáticos en las últimas décadas.

Las desventajas de los protones, es decir, la dispersión en el valor del alcance efectivo, así como las grandes penumbras del haz, podrían verse reducidas si se usaran iones ligeramente más pesados, como los iones de helio. Esto podría llevar a una caída de dosis más pronunciada, lo que aumentaría la posibilidad de preservar los órganos de riesgo (OAR, por sus siglas en inglés) mejor que los protones. Por otro lado, aunque la cola debido a la fragmentación es visible para los iones de helio, sería menos pronunciada en comparación con los iones de carbono.

En este trabajo se pretende hacer un análisis mediante Monte Carlo de las ventajas que ofrecen los haces de iones de helio frente a los de protones, estudiando varias características básicas de dichos haces en lo que respecta a ciertas magnitudes dosimétricas. Además, se estudiarán los diferentes modelos radiobiológicos que permiten obtener el valor de RBE dinámico para el caso de este tipo de iones, en contraposición a considerar un valor constante e igual a 1.3.

**Tipología:** Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

### Objetivos planteados:

1. • Estudio de la interacción de partículas cargadas pesadas con la materia.
2. • Obtención de curvas de dosis en profundidad para haces de protones e iones de helio en un maniquí de agua o PMMA: simulación mediante PENHAN.
3. • Estudio de parámetros como el alcance, anchura del pico de Bragg y de la caída de dosis y la cola de fragmentación, en función de la energía del haz: comparación entre el caso de protones e iones de helio.
4. • Estudio de los perfiles laterales de dosis
5. • Análisis de maniquíes heterogéneos.

6. • Obtención de la dosis biológica para diferentes modelos de RBE.

**Metodología:**

En primer lugar, se analizará el proceso de interacción de haces de partículas cargadas con la materia y se simulará cómo es dicho proceso en un caso sencillo, usando el código Monte Carlo PENHAN. Se estudiarán las curvas de dosis en profundidad para el caso de protones e iones de helio, y se compararán diferentes cantidades básicas en dosimetría para los casos. El estudio se hará para varias energías de interés clínico. También se analizarán los perfiles laterales de dosis, y se compararán para ambos tipos de haces. Por otro lado, en el caso de iones de helio, se estudiarán también varios maniqués heterogéneos, para analizar qué diferencias se producen en la deposición de dosis. Por último, se estudiarán diferentes modelos radiobiológicos que permiten obtener el valor de RBE, y por consiguiente, la dosis biológica.

**Bibliografía básica:**

- [1] J.E. Turner, Atoms, radiation and radiation protection (John Wiley and Sons, 1995).
- [2] F. Salvat, J.M. Fernández-Varea and J. Sempau, "PENLOPE- A code system for Monte Carlo simulation of electron and photon transport". Nuclear Energy Agency, Paris (2014).
- [3] F. Salvat and C. Heredia, "Electromagnetic interaction models for Monte Carlo simulation of protons and alpha particles", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 546 (2024) 165157.
- [4] F. Salvat, "PENHAN: Monte Carlo simulation of the coupled transport of electrons, photons, nucleons and alphas". Nuclear Energy Agency, Paris (2024).
- [5] H.D. Suit, "Protons to replace photons in external beam radiation therapy?". Clinical Oncology 15 (2003) S29.
- [6] J. Ströbele et al., "Comparison of basic features of proton and helium ion pencil beams in water using GATE", Zeitschrift für Medizinische Physik, 22 (2012) 170.
- [7] H. Fuchs et al., "A pencil beam algorithm for helium ion beam therapy", Med. Phys. 39 (2012) 6726.
- [8] M. Rovituso et al., "Fragmentation of 120 and 200 MeV  $u^{-1}$   $^4\text{He}$  ions in water and PMMA targets", Phys. Med. Biol. 62 (2017) 1310.

**Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:**

**Plazas:** 1

**2. DATOS DEL TUTOR/A:**

**Nombre y apellidos:** MARTA ANGUIANO MILLÁN

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** FÍSICA ATÓMICA, MOLECULAR Y NUCLEAR

**Correo electrónico:** mangui@ugr.es

**3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):**

**Nombre y apellidos:** LIDIA PALENCIANO CASTRO

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** FÍSICA ATÓMICA, MOLECULAR Y NUCLEAR

**Correo electrónico:** lpalenciano@ugr.es

**4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):**

**Nombre y apellidos:**

**Correo electrónico:**

**Nombre de la empresa o institución:**

**Dirección postal:**

**Puesto del tutor en la empresa o institución:**

**Centro de convenio Externo:**

**5. DATOS DEL ESTUDIANTE:**

**Nombre y apellidos:** NOELIA LOPEZ REY

**Correo electrónico:** noelialopezrey@correo.ugr.es