

Plan de formación del personal beneficiario del contrato predoctoral

Programa de actividades de formación

Se establece un plan de formación progresivo y extenso para el doctorando, que incida en la formación del estudiante en el ámbito de la física médica desde un punto de vista tanto de detectores, software e instrumentación, así como de aplicación clínica y contacto con el hospital. Consistirá en la adquisición de diferentes habilidades y competencias:

Competencias transversales

Se agrupan a continuación aquellos aspectos de formación que están orientados a reforzar la base de conocimiento del estudiante, englobando temas más allá de los concretos de su tesis doctoral.

- Presentación inicial al estudiante sobre los distintos grupos del IFIC, las [Comisiones del Instituto](#) (Igualdad, Jóvenes Investigadores, Sostenibilidad, ...), apoyándose en las Jornadas de Introducción del Instituto así como en el [Welcome Pack](#), para una buena integración.
- Participación en el [Programa de Doctorado en Física](#) de la Escuela de Doctorado de la Universitat de València (que incluye asistencia a un mínimo de 75 horas de seminarios impartidos por expertos sobre estadística, inteligencia artificial, Linux, ...).
- Asistencia a los [seminarios de física médica](#) mensuales (1 hora) organizados por el IFIC, para conocer diferentes grupos y ámbitos de la investigación médica y su translación clínica. Se propondrá al estudiante a asistir adicionalmente a otros realizados en el [Mass General Hospital](#) para trabajar en su dominio de la comprensión de hablantes nativos del inglés.
- Asistencia a los [seminarios entre estudiantes](#) mensuales organizados por el IFIC (al menos 25 horas), para aprender las habilidades de su propia exposición oral y de discusión.
- Participación puntual en el [ROOT Users Workshop](#) para aprender a exponer resultados científicos ante un público especializado (4 días).
- Estancia de tres meses en OncoRay – National Center for Radiation Research in Oncology (Dresden, Alemania), donde familiarizarse con un centro de protonterapia clínico, presenciar tratamientos y sesiones de control de calidad, así como interaccionar con sus grupos de investigación.
- Cursos del CSIC de “writing”, protección radiológica y de salud emocional (30 horas).
- Participación puntual como mentor de jóvenes estudiantes en el “[IFIC Summer Student Program](#)”, para iniciarse en tareas de supervisión (1 semana).
- Asistencia a charlas mensuales online (1 hora) sobre hadronterapia con iones pesados ([HITRIPLUS](#)) y aprendizaje a discutir críticamente la literatura científica reciente.

Habilidades específicas

En esta categoría se incluyen las técnicas y habilidades que el doctorando debe adquirir específicamente para desarrollar correctamente las tareas de su tesis.

- Curso intensivo sobre protonterapia (1 semana) por [Clínica Universidad de Navarra](#) (CUN).
- Curso fundamental de [C++ en High Energy Physics](#) organizado por el CERN (1 semana).
- Asistencia al [Workshop anual de Loma Linda](#) en torno a Particle Imaging and Radiation Treatment Planning (2 días).
- Participación en el [ROOT Student Workshop](#) para aprender a utilizar ROOT (3 horas).
- Participación en el [curso de Geant4](#) (1 semana) sobre simulaciones de Monte Carlo organizado por el CERN.
- Participación en el [curso de Gate](#) (a Monte Carlo simulation platform for imaging and therapy) organizado durante la conferencia IEEE NSS (1 día).
- Seminario de [gestión y automatización de desarrollos de software](#) (Gitlab CI) de 3 días.
- [Programación en SYCL](#) para GPUs y FPGAs con el IP (10 semanas) y cursos de Codeplay.
- Participación (y cursillos) en las conferencias [PTCOG](#), [IEEE NSS/MIC](#) y [RSEF-IFIMED](#).
- Organización logística de testbeams ([OncoRay](#), [ELBE](#)) donde validar software desarrollado.

Proyecto científico-técnico

Relevancia

El proyecto en el seno del cual se va a formar al doctorando se enmarca en la línea de investigación de verificación de tratamientos en protonterapia en tiempo real, de la que el supervisor Fernando Hueso González tiene dilatada experiencia, en especial gracias a su paso de varios años por centros clínicos de calado internacional como OncoRay (Dresden, Alemania) y Massachusetts General Hospital / Harvard Medical School (Boston, USA). La protonterapia es un arma más en el arsenal de los oncólogos para tratar el cáncer. Si bien la cirugía, la braquiterapia y la radioterapia convencional abarcan la mayor parte de los tratamientos, no es menos cierto que la protonterapia ha demostrado una tasa de supervivencia mayor que las técnicas convencionales para tumores cerebrales, así como para pacientes pediátricos. Además, se reducen los efectos secundarios a largo plazo: niños y niñas tratados con radioterapia convencional sufren un declive de su coeficiente intelectual, a diferencia de aquellos tratados con protonterapia ([Kahalley et al 2020](#), [Mash et al 2023](#), [Merchant et al 2023](#)).

Uno de las limitaciones a las que se enfrenta la protonterapia es la incertidumbre en el rango de penetración de los protones. A día de hoy existen dos prototipos basados en prompt gamma-rays que monitorizan la profundidad de penetración en pacientes clínicos ([Richter et al 2016](#), [Hueso-González et al 2020](#)). Con ellos, se espera evitar errores en la irradiación, y así reducir por ejemplo el riesgo de ceguera en un 40% para tumores que colindan con el nervio óptico ([Tattenberg et al 2020](#) y [2021](#)). Sin embargo, dichos aparatos se enfrentan al problema de que necesitan apoyarse en simulaciones de Monte Carlo que tardan varias horas para dar su ‘veredicto’ sobre si el punto irradiado es el correcto. En consecuencia, no existe la posibilidad de levantar una bandera roja durante el tratamiento si se encuentra un error, esto sólo sucede a posteriori. La aceleración de dichas simulaciones abriría la puerta a que dichos prototipos de verificación de rango trabajasen a tiempo real y no en diferido. De forma que sirviesen de monitor activo de la terapia, e incluso señalizasen la necesidad de adaptación del haz ([Paganetti et al 2021](#)). Esto haría explotar el máximo potencial de la protonterapia, mejorando así la probabilidad de supervivencia y la reducción de efectos secundarios, por ejemplo cognitivos, que son tan relevantes en pacientes pediátricos con toda su vida por delante.

Objetivos

En el proyecto a realizar por el doctorando, se propone desarrollar simulaciones de Monte Carlo rápidas de tratamientos de protonterapia, que sean de código fuente abierto y que se ejecuten directamente en hardware paralelo, como es el caso de las Field Programmable Gate Arrays (FPGAs). El **objetivo principal** es que la **duración de la simulación de Monte Carlo** de los ~1000 haces de protones con los que se ‘pinta’ el tumor sea del orden de **10 céntesimas de segundo por haz**. Es decir, que la simulación completa dure algo menos de dos minutos. Este valor es comparable al tiempo completo de irradiación de un paciente en cada sesión de tratamiento. De esta manera, la simulación de cada haz estaría sincronizada con la irradiación del mismo, con lo que se podría dar una señal de alarma antes de continuar con el siguiente haz, si se observase una desviación grande entre la medida experimental y la simulación. Para obtener una simulación de tal velocidad, se propone el uso de FPGAs de última generación, que ya han alcanzado una memoria suficiente para que hacer simulaciones de Monte Carlo precisas y competitivas. El lenguaje de programación será C++20 y la paralelización se basará en SYCL (SYstem-wide Compute Language), que es un sistema multiplataforma agnóstico respecto al fabricante del hardware de paralelización, y soporta tanto GPUs como [FPGAs](#).