MEMORIA ABREVIADA

MÁSTER UNIVERSITARIO EN NEUTRÓNICA COMPUTACIONAL

/

UNIVERSITY MASTER'S DEGREE IN COMPUTATIONAL NEUTRONICS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA (UNED)

Octubre 2025

ÍNDICE

PARTE I: JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA 3
I.1 Detalles del Máster Universitario 3
I.2 Grupo provisional de coordinación del título 3
I.3 Justificación 4
I.4 Objetivos 8
I.5 Plan de estudios 8
I.6 Acceso y admisión 10
I.6.1 Requisitos de acceso 10
I.6.2 Criterios de admisión 12
I.7 Profesorado 13
I.8 Cronograma de implantación 13
I.9 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 13
PARTE II: MEMORIA ECONÓMICA 15
II.1 Previsión de alumnado 15
II.2 Contexto académico 17
II.3 Adecuación del título a la demanda social 19
II.4 Capacidad competitiva de la UNED 23
II.5 Viabilidad económica 25
II.6 Criterios adicionales 26
REFERENCIAS 28
Anexo I 29

PARTE I: JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

I.1 Detalles del Máster Universitario

Título: Máster Universitario en Neutrónica Computacional / University Master's Degree in Computational Neutronics

Facultad o escuela responsable: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Facultad o escuela a la que se adscribe: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Carácter nacional o internacional de la titulación: Nacional

Número de plazas ofertadas:

- Plazas que se ofertan cada año: 50

Número de créditos: 60 ECTS

Ámbito de conocimiento (Anexo I- RD 822/2021)

Ingeniería industrial, ingeniería mecánica, ingeniería automática, ingeniería de la organización industrial e ingeniería de la navegación

I.2 Grupo provisional de coordinación del título

La Comisión de Coordinación del Máster Universitario en Neutrónica Computacional (en adelante, MUNC) estará compuesta por:

- Presidente/a: El/La directora/a de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
- Coordinador/a: Un profesor del MUNC miembro del Departamento de Ingeniería Energética
- Secretario/a: Un profesor del MUNC miembro del Departamento de Ingeniería Energética
- Un Profesor de cada departamento que imparta docencia más allá del Departamento de Ingeniería Energética
- Un miembro PTGAS del personal de administración y servicios vinculado a la gestión académica del título
- Un/a representante de estudiantes del MUNC

De manera provisional, y hasta la entrada en vigor del MUNC, la Comisión de Coordinación está formada por:

- Presidente/a: Dña. Cristina González Gaya
- Coordinador/a: D. Patrick Sauvan
- Secretario/a: D. Rafael Juárez Mañas
- Miembro PTGAS: D. Miguel Ángel Núñez de Arenas Naranjo

I.3 Justificación

La Neutrónica Computacional, o análisis nuclear, es la disciplina que permite predecir los campos de radiación y la evolución del inventario isotópico mediante métodos de simulación computacional. Es un apoyo necesario y de creciente demanda durante el diseño, la operación y el desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas de toda índole. En esta sección de la memoria se detalla el contexto y la justificación para implementar un programa de máster universitario, impartido enteramente en inglés, en esta disciplina altamente especializada.

De este modo, el estudio neutrónico permite predecir la distribución espacial y energética de los campos radiación; de ahí, se anticipa información valiosa, como la garantía de cumplimiento de límites de exposición de trabajadores y público, las características de la irradiación de distintos componentes, o la respuesta de detectores de radiación. Durante la fase de diseño, esta información permite optimizar sistemas, y asegurar el licenciamiento frente al regulador nuclear, así como guiar acciones para minimizar la producción de residuos radiactivos que serán un problema en el futuro. En la operación y desmantelamiento los análisis nucleares también son importantes. Entre otros, para a planificar acciones de mantenimiento reduciendo la exposición a radiaciones ionizantes; para optimizar la configuración de la instalación para aplicaciones específicas; o para realizar diagnósticos sobre la operación de la instalación sin acceder a regiones con entrada restringida. El desarrollo creciente de actividades en las que los campos de radiación están presentes, o, directamente, desempeñan un papel central —principalmente llevadas a cabo en instalaciones nucleares y radiactivas— implica la necesidad de perfiles profesionales con formación en neutrónica computacional.

En primer lugar, el ámbito de principal aplicación del análisis nuclear es la producción energética de origen nuclear. Es necesario mencionar, en el contexto de la crisis energética, la confluencia de dos situaciones. Por un lado, el mundo en vías de desarrollo aumenta su consumo de energía de manera acelerada dado su desarrollo económico. A la vez, el cambio climático se va manifestando como una realidad frente a la que existe un compromiso mundial de lucha concretado en la electrificación del consumo energético y abandono de los combustibles fósiles. Así, la OCDE estima que el consumo de electricidad se va a duplicar en los próximos 20 años, con previsión de seguir aumentando, más allá. Cuando se añade el despliegue de grandes infraestructuras para la inteligencia artificial o la previsible necesidad de desalinización masiva del agua de mar, el crecimiento en la demanda de producción energética esperada es aún mayor. Esto es un reto formidable de gran escala que requiere el despliegue de todo tipo de fuentes de energía, entre las que se cuenta a la fusión y a la fisión nuclear.

Los avances de las dos últimas décadas en el desarrollo de la fusión nuclear como futura fuente de energía han propiciado que la neutrónica haya sufrido una revolución. La fusión nuclear es una fuente energía que promete ser virtualmente ilimitada, intrínsecamente segura, y con una producción de residuos radiactivos significativamente menor en cantidad, duración e intensidad que la fisión nuclear. Y lo será, en la medida que la neutrónica computacional se emplee de manera certera en el diseño de los reactores. Porque en un buen diseño neutrónico reside la reproducción de tritio (combustible de la fusión) a una tasa suficiente; el manejo correcto de los campos de radiación que emergen de la reacción de fusión que debe resultar en el cumplimiento de la normativa de protección a los trabajadores y al público; y una selección de materiales y especificación de impurezas que minimice la generación de residuos radiactivos a niveles comparables con los de otras actividades industriales, como las terapias médicas, por ejemplo.

El despliegue de grandes instalaciones de investigación como (ITER [1], IFMIF-DONES [2], JT-60 [3], DTT [4], la previsible *Volumetric Neutron Source*), y el surgimiento de numerosas *start-ups* (Xcimer Energy, Commonwealth Fusion Systems, Helion Energy, TAE systems, Gauss Fusion, Proxima Fusion, o Tokamak Energy), ha hecho aumentar de manera significativa la demanda de la neutrónica computacional en la fusión nuclear. El alto grado de complejidad de estas instalaciones de fusión ha propiciado que la neutrónica se haya transformado fuertemente. Algunos ejemplos de la evolución en este campo del conocimiento en las dos últimas décadas son: (i) el desarrollo de metodologías para el acoplamiento entre los cálculos de transporte de radiación y activación, y, (ii) el manejo de geometrías con una complejidad sin precedentes.

Estos nuevos flujos de trabajo en Neutrónica Computacional están empezando a generar también un impacto transversal en múltiples ámbitos científicos e industriales en los que es necesario estimar los campos de radiación. El ejemplo más claro se encuentra en la fisión nuclear, la tecnología nuclear de producción de electricidad actualmente en explotación. La fisión nuclear ha sufrido un parón significativo durante décadas a nivel mundial derivado de accidentes (e.g. Three Mile Island, Chernóbil, Fukushima), así como del despliegue masivo de energías renovables como la solar y la eólica. Sin embargo, y dado el contexto actual de voracidad eléctrica, la fisión nuclear ha recibido una atención renovada en todo el planeta, referida como renacer nuclear. En total, en la actualidad operan 423 reactores a nivel mundial. Con pocas excepciones (entre las que se cuenta a España, de momento), las naciones económicamente desarrolladas, o en vías de serlo, están articulando programas expansivos de producción de electricidad de origen nuclear. De momento hay 63 nuevos reactores en construcción, la mayoría en países emergentes y con la tecnología tradicional. Los países desarrollados están trabajando en una nueva tecnología (4ª generación y reactores pequeños modulares) que aborden una revolución en el sector. Buscan alcanzar nuevos estándares de seguridad, competitividad económica de fabricación y explotación y minimización de residuos radiactivos. Se observa una actividad intensa de empresas *start-up* en el ámbito, tanto en EEUU (NuScale, Kairos Power, X-energy u Oklo, por ejemplo) como en Europa (Newcleo, Hexana, o ThorCon, por ejemplo), que se espera que logren licenciamiento de nuevos reactores y un despliegue comercial a nivel mundial durante los próximos 10 años. La previsión de la OCDE es de, como mínimo, el reemplazo de la flota completa de reactores conforme alcance el fin de su vida útil.

Dado que el sector industrial nuclear ha quedado diezmado por décadas de inactividad, esto representa una notable expansión de la fuerza de trabajo a nivel mundial, y también en Europa. En el caso de España, aunque no se diese dicho remplazo en la flota de reactores, también se va a hacer necesaria la expansión de la fuerza de trabajo. El desmantelamiento de las centrales actuales, por sí mismo, requiere un volumen de trabajadores cualificados que no está disponible en la actualidad. Si el camino nuclear de España es el desmantelamiento, será necesario abordar instalaciones equivalentes a las que ya se han planteado en el pasado: almacenes temporales centralizados, almacén geológico profundo, y otras tantas. En todos estos caminos, tanto de renacer como de abandono de la energía nuclear, los avances en neutrónica computacional alcanzados durante los últimos años tienen un previsible desempeño considerable. La predicción avanzada de los campos de radiación permite diseñar instalaciones y procedimientos con una economía y seguridad optimizadas.

Los avances en la Neutrónica Computacional también tienen aplicación en otros sectores no relacionados con la producción energética. Por un lado, la radiofísica médica se beneficia de las mismas metodologías de simulación de transporte de radiación y activación. En este sentido se puede destacar la protón-terapia, una terapia a la vanguardia del tratamiento moderno contra el cáncer. Cuando es aplicable, la protón-terapia ofrece un enorme potencial para mejorar los

resultados clínicos y reducir los efectos secundarios en pacientes oncológicos. Permite dañar el tejido cancerígeno minimizando la irradiación del tejido sano circundante. La neutrónica computacional permite estimar el alcance de los protones y optimizar la irradiación por protones en el paciente. Al mismo tiempo permite estimar la exposición a neutrones secundarios del paciente y de los profesionales involucrados, así como la activación del material o del propio acelerador. Con esta información, se desarrollan guías operacionales y se dimensionan y diseñan búnkeres para minimizar la exposición indeseada. Otras terapias aun en investigación, como la terapia por captura neutrónica en boro, también necesitan de análisis nucleares y por tanto de profesionales formados en neutrónica computacional. Por otro lado, grandes proyectos científicos basados en aceleradores, como la *European Spallation Source* (ESS) [5] también necesitan de la aplicación de técnicas avanzadas de neutrónica. Se emplea para modelar con precisión la producción de neutrones y su interacción con los materiales y garantizar la seguridad operacional y la contención de costes de construcción y operación.

En definitiva, la Neutrónica Computacional ha alcanzado un punto de desarrollo y consolidación que puede trasladarse a la cadena de suministro y permitir un desarrollo comercial y de ingeniería. Esto se traducirá en empleos de alta cualificación, generación de contratos internacionales y posicionamiento de España como proveedor de ingeniería avanzada en el sector nuclear. Con este fin, las herramientas computacionales y el conocimiento generado deben transferirse mediante acuerdos de licencias y programas docentes. Pero, hoy en día, existe un vacío formativo global: no existe, un programa académico que cubra de manera exhaustiva y completa el ámbito de la neutrónica computacional. Actualmente, las personas interesadas solo pueden formarse a través de programas de doctorado que exigen entre tres y cuatro años de investigación. Además, para cubrir un período formativo tan largo es habitual la necesidad de conseguir becas, lo que desincentiva a muchos potenciales candidatos. El resultado es una brecha creciente entre la demanda de perfiles especializados y la oferta real disponible en el mercado laboral; lo que conduce a una pérdida de competitividad en sectores que se consideran estratégicos para el futuro: producción energética y salud. Gracias a la posición de liderazgo alcanzada, la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED se encuentra en una posición privilegiada para impulsar un máster que mitigue dicha brecha.

En este punto, es importante destacar que el papel de la ETS de Ingenieros Industriales, en adelante Escuela, en esta consolidación de la Neutrónica Computacional ha sido central a nivel mundial. los profesores del departamento de Ingeniería Energética de la Escuela han desarrollado y consolidado un flujo de trabajo completo para abordar los análisis nucleares integrales más sofisticados de manera exitosa. Dicho flujo de trabajo se articula en torno a cuatro pilares principales:

- <u>Herramientas computacionales:</u> Conjunto de códigos y scripts (software) que cubren prácticamente la totalidad del proceso de análisis nuclear. Este conjunto incluye tanto códigos propios, como GEO-UNED [6] —empleado para la traducción de geometría a un formato apropiado para este ecosistema de códigos— o ACAB [7] —que simula la evolución del inventario isotópico—, como extensiones de códigos como MCUNED+ —extensión de MCNP que permite la simulación de sistemas detallados como ITER, así como soportar las implementaciones de las metodologías D1S y R2S (D1SUNED [8] y R2SUNED [9]) para cálculo de dosis residual—, o FLUNED [10] —extensión de OpenFOAM para la simulación de la activación de agua—, o scripts que permiten el acoplamiento automatizado entre los distintos códigos.
- <u>Procedimientos</u>: Flujos de trabajo que garantizan que los cálculos realizados con las herramientas mencionadas sean fiables, reproducibles y coherentes entre diferentes

usuarios e instituciones trabajando en proyectos comunes, garantizando el avance seguro en estos.

- Demostraciones: Estudios de validación y verificación realizados para demostrar la fiabilidad y precisión de las herramientas y procedimientos desarrollados, y que permiten establecer el rango de aplicabilidad de estas.
- Aplicaciones: Uso de las herramientas y procedimientos en problemas de alta complejidad y relevancia tecnológica que han contribuido a la solución de problemas reales, tales como el diseño de instalaciones relevantes en el campo de la fusión.

El principal reconocimiento al trabajo realizado por los profesores de la Escuela en el campo de la Neutrónica Computacional, y que ha permitido a la Escuela establecer una posición de liderazgo dentro del campo, reside en la consolidación de este flujo trabajo, reconocido como uno de los referentes internacionales. Está presente en instalaciones como ITER — uno de los proyectos de investigación más ambiciosos de la humanidad (25.000 M€), y del cual ha recibido un agradecimiento expreso y explícito de su director general— o IFMIF-DONES—una de las mayores instalaciones singulares a nivel mundial, actualmente en construcción en España— entre otras. Lo cual significa que, no solo la Escuela, como principal proveedor de neutrónica de estas instalaciones, pueda utilizar este flujo, sino que el resto de los proveedores ha de adoptar este flujo de trabajo para contribuir al análisis neutrónico para el diseño de estas instalaciones.

En suma, este flujo de trabajo de relevancia internacional, sustentado en la integración coherente de herramientas y procedimientos desarrollados en la Escuela, y reforzado por la extensa demostración de aplicabilidad, así como por su uso en aplicaciones reales de alta significación tecnológica y científica, constituye el núcleo de conocimiento especializado sobre el que se apoya este máster. Ha de aclararse que, aunque este flujo de trabajo se haya desarrollado y consolidado principalmente en el contexto del diseño de fusión, es altamente versátil, habiéndose aplicado a un extenso rango de situaciones dentro del contexto de la neutrónica computacional dado en esta sección.

Además de este reconocimiento, el trabajo de los profesores del Departamento de Ingeniería Energética en Neutrónica Computacional ha sido reconocido a nivel tanto nacional como internacional por su excelencia técnica, científica y formativa, como se muestra con los siguientes ejemplos. En los últimos 5 años ha recibido los siguientes premios: el Premio Margarita Salas del Ayuntamiento de Madrid (2021) a la mejor tesis doctoral, el Premio de la Sociedad Nuclear Española (2022) a la mejor tesis doctoral en ingeniería nuclear, el *2nd SOFT innovation prize* de la Comisión Europea (2022), y el *Miya-Abdou Award* del congreso ISFNT (2023). Los doctores egresados se encuentran todos empleados por el Ciemat, el Consejo de Seguridad Nuclear, el *Massachussetts Institute of Technology* o *Fusion for Energy*. Se han publicado sendos artículos en las prestigiosas revistas Nature Energy [11] y Nature Communications [12]. En 2025 la Escuela acogió a la comunidad de neutrónica de fusión en su congreso temático anual.

En resumen, el desarrollo de las aplicaciones nucleares y radiactivas, y la creciente necesidad de perfiles con formación en neutrónica computacional, junto con el liderazgo consolidado de la Escuela en este ámbito—respaldado con su gran experiencia en el desarrollo consolidación y aplicación de un flujo de trabajo propio, con un alto reconocimiento internacional, para realizar análisis nucleares integrales en situaciones diversas—, justifican la creación de este máster especializado en neutrónica computacional en la Escuela. En un ámbito de aplicación de índole principalmente internacional, el MUNC, impartido netamente en inglés, este máster permitirá formar profesionales altamente especializados demandados por el mercado laboral. También permitiría consolidar un ecosistema de conocimiento que refuerce la transferencia tecnológica

hacia la industria, promueva la creación de *spin-offs* y startups de base científica, y potencie la colaboración público-privada en un sector de alto valor añadido.

I.4 Objetivos

Los objetivos principales sirven como vector en el diseño del máster:

Objetivo #1: Satisfacer la demanda del mercado: La Neutrónica Computacional ha alcanzado un desarrollo y consolidación que debe ahora trasladarse a la cadena de suministro para permitir así cumplir con las necesidades crecientes del mercado laboral. La justificación detallada del número de perfiles que se espera que sean necesarios para cubrir esta demanda (del orden de unos 1000 perfiles en 20 años) se desarrolla en el apartado Previsión de alumnado de la Parte II de esta memoria abreviada. Sin embargo, a día de hoy, no existe un programa en todo el mundo que cubra dichos contenidos de manera exclusiva y completa sin necesidad de hacer el doctorado, tal y como se analiza en el apartado Contexto académico de la Parte II. La EScuela está posicionada de manera excepcional para satisfacer esa carencia de formación altamente especializada.

Objetivo #2: Transferir conocimiento y herramientas: La Escuela ha contribuido de manera singular a la transición del ámbito de la investigación a la cadena de suministro de la neutrónica computacional. Ha producido herramientas computacionales, procedimientos, demostraciones y aplicaciones de referencia a nivel mundial. Forma parte de la misión de la universidad transferir a la sociedad el conocimiento generado. Más allá de un conjunto de las herramientas y sus licencias de uso, es necesario un máster en el que los alumnos puedan asimilar las oportunidades que ofrece la renovada disciplina, y cómo abordarlas en el día a día.

Esta propuesta de máster presenta, además, impactos adicionales previstos que merece la pena explicitar:

Impacto adicional #1: Formación de relevancia para doctorados: Este máster es una presentación ordenada y sistemática de unos conocimientos que se encuentran en la base de varias líneas de investigación vigentes en España y en el extranjero. Dado su formato, representa un paquete formativo que prepara de manera óptima a una serie de futuros estudiantes de doctorado de la UNED y otras muchas universidades.

Impacto adicional #2: Méritos complementarios a oposiciones: Los contenidos del máster son relevantes y de aplicación en el día a día de técnicos funcionarios, tantos radiofísicos hospitalarios, como inspectores del Consejo de Seguridad Nuclear. Como tal, representa, además de un conocimiento interesante para los mismos, y un complemento formativo para las respectivas oposiciones.

I.5 Plan de estudios

El MUNC se plantea con un enfoque profesional altamente especializado y muy aplicado. Se ofertan 7 asignaturas obligatorias de 6 ECTS. Se culmina con un Trabajo Final de Máster (TFM) amplio, de 18 ECTS, en el que reside un gran valor de este programa, que completan los 60 ECTS que conforman el Máster. Todo el máster se imparte, exclusivamente, en inglés.

En las asignaturas del primer cuatrimestre se explican los contenidos teóricos de la disciplina, así como la introducción al uso de diferentes herramientas computacionales. En el segundo cuatrimestre las asignaturas plantean las situaciones cotidianas de la Neutrónica Computacional

con toda su complejidad, y se despliegan todas las herramientas computacionales en profundidad para abordarlas.

Por último, también en el segundo cuatrimestre, se lleva a cabo el Trabajo Fin de Máster (TFM). Es aquí donde se aplican todos los conocimientos adquiridos en las asignaturas de manera coordinada. Se trata de uno de los aspectos más interesantes del máster para el estudiante, ya que sigue una aproximación de aprendizaje basado en la práctica. Se presenta como un trabajo fuertemente aplicado a las situaciones reales del mercado nuclear, o bien basado en la investigación aplicada que caracteriza este campo. Una opción de contenidos para este TFM de 18 ECTS consistirá en un análisis nuclear, de aplicación real, ejecutado en su totalidad por el estudiante. Otra opción será un desarrollo computacional en un área que se identifique como puntera, que complemente las herramientas explicadas en el máster, o aborde problemática nueva; o la exploración de una nueva vía que amplíe o complemente la neutrónica computacional. En cualquier opción, se buscará la existencia de un interés real por parte de alguna empresa, universidad o proyecto internacional en el contenido del TFM. En este punto se considera relevante la red internacional de contactos que sostiene la Escuela acumulada durante dos décadas de vanguardia investigadora. Abarca empresas, universidad y grandes centros de investigación. De esta manera, el estudiante adquiere una experiencia y contactos que poner en valor en los siguientes pasos de su carrera profesional.

A continuación, en la siguiente tabla se resume el Plan de Estudios. Todas las asignaturas serán impartidas por personal del Área de Ingeniería Nuclear del Departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED. El profesorado de dicho departamento cuenta con una sobrada capacidad y experiencia en el campo de la neutrónica computacional para impartir estas asignaturas. Por un lado, dada su experiencia y conocimiento derivado de la impartición de asignaturas de temática relacionada en otros Grados y Másteres; y por otro lado, por su amplia y fructífera trayectoria en el campo de la neutrónica computacional.

Tabla 1. Plan de estudios de MUNC.

ASIGNATURA	**CONTENIDOS**
Primer cuatrimestre	
Basics of radiation transport / Fundamentos del transporte de radiación (6 ECTS)	• Interacción radiación–materia y física nuclear • Librerías de datos nucleares y estándares • Dosimetría y medidas en neutrónica • Formulación y soluciones de la Ecuación de Transporte de Radiación relevante en ingeniería nuclear
Data analysis for computational neutronics / Análisis de datos en neutrónica computational (6 ECTS)	• Introducción a la programación en neutrónica computacional. Utilización del entorno Python • Uso de librerías de programación orientadas a la ingeniería • Herramientas para el análisis de datos en neutrónica computacional

Monte Carlo method for radiation transport / Método Monte Carlo para transporte de radiación (6 ECTS)	• Fundamentos del método Monte Carlo • Simulación del transporte de partículas neutras • Revisión de códigos Monte Carlo para transporte de radiación
Evolution of isotopic inventory / Evolución del inventario isotópico (6 ECTS)	• Ecuaciones de inventario isotópico • Métodos numéricos para la resolución de EDOs • Código ACAB • Acoplamiento de transporte y activación: métodos D1S y R2S • Activación de fluidos en movimiento con FLUNED
Modeling for radiation transport simulations / Modelado para simulaciones de transporte de radiación (6 ECTS)	• Simplificación de geometrías, traducción y depuración con GEO-UNED • Definición de materiales y fuentes en MCNP • Introducción a MCNP
Segundo cuatrimestre	
Advanced nuclear analysis / Análisis nuclear avanzado (6 ECTS)	• Computación de alto rendimiento para MCNP • Reducción de varianza en MCNP • Postprocesado y análisis de resultados • Transporte de partículas cargadas • Herramientas R2SUNED & D1SUNED
Neutronics for nuclear fusion facilities / Neutrónica para instalaciones de fusión nuclear (6 ECTS)	• Visión general de la neutrónica en ITER y IFMIF-DONES • Modelos de referencia de MCNP en ITER • Fuentes de radiación en ITER y su impacto • Fuentes de radiación en IFMIF-DONES y su impacto
Trabajo Final de Máster (18 ECTS)	• Opción 1: Ejecución de un análisis nuclear integral de relevancia • Opción 2: Desarrollo computacional • Opción 3: Investigación sobre nuevos aspectos de la neutrónica computacional

I.6 Acceso y admisión

I.6.1 Requisitos de acceso

Los requisitos generales de acceso a las enseñanzas oficiales de Máster Universitario son los establecidos en el artículo 18 del Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se

establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad. Dicho artículo establece:

1. La posesión de un título universitario oficial de Graduada o Graduado español o equivalente es condición para acceder a un Máster Universitario, o en su caso disponer de otro título de Máster Universitario, o títulos del mismo nivel que el título español de Grado o Máster expedidos por universidades e instituciones de educación superior de un país del EEES que en dicho país permita el acceso a los estudios de Máster.
2. De igual modo, podrán acceder a un Máster Universitario del sistema universitario español personas en posesión de títulos procedentes de sistemas educativos que no formen parte del EEES, que equivalgan al título de Grado, sin necesidad de homologación del título, pero sí de comprobación por parte de la universidad del nivel de formación que implican, siempre y cuando en el país donde se haya expedido dicho título permita acceder a estudios de nivel de postgrado universitario. En ningún caso el acceso por esta vía implicará la homologación del título previo del que disponía la persona interesada ni su reconocimiento a otros efectos que el de realizar los estudios de Máster.
3. Las universidades garantizarán una información transparente y accesible sobre los procedimientos de admisión, y deberán disponer de sistemas de orientación al estudiantado. Asimismo, asegurarán que dicha información y los procedimientos de admisión tengan en cuenta al estudiantado con discapacidad o con necesidades específicas, y dispondrán de servicios de apoyo y asesoramiento adecuados.
4. Las universidades podrán excepcionalmente establecer, a partir de normativas específicas aprobadas por sus órganos de Gobierno, procedimientos de matrícula condicionada para el acceso a un Máster Universitario. Esta consistirá en permitir que un o una estudiante de Grado al que le reste por superar el TFG y como máximo hasta 9 créditos ECTS, podrá acceder y matricularse en un Máster Universitario, si bien en ningún caso podrá obtener el título de Máster si previamente no ha obtenido el título de Grado. Las universidades garantizarán la prioridad en la matrícula de los y las estudiantes que dispongan del título universitario oficial de Graduada o Graduado. En este procedimiento podrán ser tenidos en cuenta los créditos pendientes de reconocimiento o transferencia en el título de Grado, o la exigencia de superación de un determinado nivel de conocimiento de un idioma extranjero para la obtención del título.
5. Las universidades o los centros regularán la admisión en las enseñanzas de Máster Universitario, estableciendo requisitos específicos y, en caso de ser necesarios, complementos formativos, cuya carga en créditos no podrá superar el equivalente al 20 por ciento de la carga crediticia del título. Los créditos de complementos formativos tendrán la misma consideración que el resto de los créditos del plan de estudios del título de Máster Universitario.
6. Las universidades reservarán, al menos, un 5 por ciento de las plazas ofertadas en los títulos universitarios oficiales de Máster Universitario para estudiantes que tengan reconocido un grado de discapacidad igual o superior al 33 por ciento, así como para estudiantes con necesidades de apoyo educativo permanentes asociadas a circunstancias personales de discapacidad, que en sus estudios anteriores hayan precisado de recursos y apoyos para su plena inclusión educativa.

Dada la naturaleza del MUNC, será requisito de acceso que los/las estudiantes estén en posesión de algunas de las siguientes titulaciones:

- Grado en Ingeniería Industrial, Ingeniería de la Energía o Ingeniería Nuclear, así como la titulación de Ingeniero Industrial correspondiente a los planes de estudios anteriores al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), de 5 y 6 años.
- Grado o Licenciatura en Física.
- Otras titulaciones de la rama de Ciencias o Ingeniería con una formación básica similar a la de las anteriores titulaciones en física, matemáticas y otras disciplinas ingenieriles.

Además, dado que el MUNC se impartirá completamente en inglés, los estudiantes deberán acreditar la posesión de un nivel de inglés equivalente al nivel B2.

I.6.2 Criterios de admisión

La admisión de los/las estudiantes en el MUNC se ejecutará en base a la Adecuación al Máster de la titulación académica que da acceso a él. En concreto, se priorizarán las titulaciones directamente relacionadas con la ingeniería industrial, nuclear y las ingenierías del ámbito energético, así como la titulación de física. Además, los estudiantes deberán acreditar la posesión de un nivel de inglés equivalente al nivel B2.

Asimismo, la Comisión de Coordinación del Máster podrá tener en cuenta otros criterios de admisión adicionales especificados a continuación:

- Expediente académico. Se podrá valorar la nota media del título que da acceso al MUNC.
- Currículum vitae. Se podrá tener en cuenta la experiencia investigadora, docente o profesional que sea relevante para el MUNC.
- Otros méritos. Se podrá valorar, por ejemplo, la formación adicional en programación, la participación en proyectos de investigación, las estancias en centros de referencia, posibles publicaciones o premios académicos.

Adicionalmente, y en función de las solicitudes recibidas, se podrá solicitar la realización de una prueba de acceso y/o una entrevista, presencial o telemática, con los/as candidatos/as. Se buscará evaluar los conocimientos, las cualidades, las actitudes, y las aptitudes apropiadas para la realización del MUNC.

En el caso de estudiantes con necesidades educativas especiales derivadas de discapacidad, se les brindarán los servicios de apoyo y asesoramiento adecuados, que evaluarán la necesidad de posibles adaptaciones curriculares, itinerarios o estudios alternativos. Para estos estudiantes, la UNED dispone de un Centro de Atención a Universitarios con Discapacidad (UNIDIS), servicio dependiente del Vicerrectorado de Estudiantes de la UNED. Su objetivo principal es que los estudiantes con discapacidad que deseen cursar estudios en esta Universidad puedan gozar de las mismas oportunidades que el resto de los/as estudiantes de la UNED. La Unidad coordina y desarrolla una serie de acciones orientadas a la asistencia, apoyo y asesoramiento que les permita, en la medida de lo posible, un desenvolvimiento pleno en el ámbito de la vida universitaria. La Unidad sirve de interlocutor a los estudiantes con necesidades educativas especiales, solicitando al profesorado la preparación de material didáctico específico o de exámenes especiales (con respuesta en cinta de audio, escrito con ordenador, etc.).

I.7 Profesorado

Todos los profesores del MUNC pertenecen al Área de Ingeniería Nuclear del Departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED, y se detallan en la siguiente tabla. El profesorado de dicho departamento cuenta con una sobrada capacidad y experiencia en el campo de la neutrónica computacional. Por un lado, dada su experiencia y conocimiento derivado de la impartición de asignaturas de temática relacionada en otros Grados y Másteres; y por otro lado, por su amplia y fructífera trayectoria en el campo de la neutrónica computacional.

Tabla 2. Profesorado del MUNC.

Profesor	**Categoría**	**Departamento / Área de especialización**
Javier Sanz Gozalo	Catedrático de Universidad	Dpto. Ingeniería Energética / Ingeniería Nuclear
Patrick Sauvan	Catedrático de Universidad	Dpto. Ingeniería Energética / Ingeniería Nuclear
Francisco Ogando Serrano	Profesor Titular de Universidad	Dpto. Ingeniería Energética / Ingeniería Nuclear
Rafael Juárez Mañas	Profesor Contratado Doctor	Dpto. Ingeniería Energética / Ingeniería Nuclear
Juan P. Catalán Pérez	Profesor Permanente Laboral	Dpto. Ingeniería Energética / Ingeniería Nuclear
Antonio J. López Revelles	Profesor Ayudante Doctor	Dpto. Ingeniería Energética / Ingeniería Nuclear

I.8 Cronograma de implantación

El MUNC entrará en vigor en el curso 2026-2027.

I.9 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

El MUNC integra aspectos de Responsabilidad Social y Sostenibilidad, adecuándose a la agenda global de la ONU para 2030 [13]. Entre otros, el MUNC está alineado con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

- ODS 3. Salud y bienestar. En primer lugar, la neutrónica computacional permite dar soporte al desarrollo e implementación de radioterapias como la protón-terapia o la terapia por captura neutrónica en boro. El MUNC se alinea así con la optimización en tratamientos médicos de vanguardia contra el cáncer. Además, una de las principales aplicaciones de la neutrónica computacional es la aplicación del principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) en el diseño de instalaciones nucleares y radiactivas. De este modo, el MUNC promueve la minimización de la exposición a radiaciones ionizantes, y por tanto al efecto adverso sobre la salud de los trabajadores.

- ODS 4. Educación de calidad. La implementación de este máster en la UNED, como universidad pública, garantiza "una educación inclusiva, equitativa y de calidad" y promueve "oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos".
- ODS 7. Energía asequible y no contaminante. El desarrollo de la fusión y fisión como fuentes de energía limpias y asequibles se fundamenta en el control de los campos radiación para impulsar sus efectos positivos, como son la generación de electricidad o la reproducción de combustible, mitigando los efectos negativos (contaminación por radiación). La neutrónica computacional, como herramienta para caracterizar y estudiar los campos de radiación, se alinea claramente con este objetivo.
- ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras. El MUNC impulsa la investigación, innovación y desarrollo de infraestructuras en diversos ámbitos. Sólo en el plano de la fusión nuclear, por ejemplo, el MUNC apoyará la creación de instalaciones estratégicas a nivel nacional, como puede ser el IFMIF-DONES (Granada), el cual será un acelerador de partículas que servirá de banco de pruebas de materiales sometidos a irradiación neutrónica con espectros típicos de un reactor de fusión. A nivel internacional, el MUNC también contribuirá al desarrollo de instalaciones como ITER o DEMO que representan la vanguardia tecnológica mundial en fusión. Todas estas infraestructuras requieren un alto nivel de innovación tecnológica, impulsan el desarrollo industrial asociado (desde la fabricación de componentes de precisión hasta el software científico avanzado) y contribuyen a consolidar un tejido industrial capaz de sostener energías limpias y sostenibles en el futuro.
- ODS 10. Reducción de las desigualdades entre países. La modalidad de educación a distancia en lengua inglesa actúa como puente internacional y dan acceso al máster a personas en distintos contextos laborales y geográficos.
- ODS 13. Acción por el clima. La implementación del título propuesto contribuye a la formación de profesionales en el ámbito de la fusión y fisión nuclear, fuentes de energía con cero emisiones de gases de efecto invernadero, combatiendo así el cambio climático.

PARTE II: MEMORIA ECONÓMICA

II.1 Previsión de alumnado

Tal y como se ha explicado en el apartado Justificación de la Parte I de esta Memoria Abreviada, en la actualidad se dan dos circunstancias relevantes para este máster. La primera circunstancia es que las aplicaciones nucleares, principalmente en el terreno energético, pero también en medicina y otros ámbitos de investigación, se encuentran en expansión. El grado de esta expansión dependerá en buena parte de la disponibilidad de perfiles expertos en neutrónica computacional para asistir en el diseño, operación y desmantelamiento de todas las aplicaciones. Debido principalmente a los avances en fusión nuclear, la disciplina ha transitado del ámbito de la investigación a la ingeniería aplicada, con una demanda creciente en el mercado laboral. La segunda circunstancia es que la Escuela ha contribuido notablemente al desarrollo y consolidación de dichos avances.

La consolidación de la disciplina debe ahora trasladarse a la cadena de suministro y permitir un desarrollo comercial y de ingeniería. Esto se traduciría en empleos de alta cualificación, generación de contratos internacionales y posicionamiento de España como proveedor de ingeniería avanzada en el sector nuclear. Gracias a la posición de liderazgo alcanzada, la Escuela se encuentra en una posición privilegiada para impulsar un máster que mitigue dicha brecha.

De este modo, la previsión de alumnado se ha realizado a la vista de las necesidades laborales estimadas para los próximos años. Se desglosan las necesidades según los siguientes cinco epígrafes.

La fusión nuclear como motor principal de demanda

La fusión nuclear se perfila como una fuente de energía prácticamente ilimitada, intrínsecamente segura y libre de residuos radiactivos de vida larga. Pero su éxito depende en gran medida de un diseño neutrónico preciso. En España, el sector de la fusión emplea actualmente a unas 300 personas en puestos públicos, funcionarios o indefinidos (Ciemat, y universidades como UNED, UPM, US, UPC, UGR, o USAL), con otros tantos en la cadena de suministro (empresas como IDOM, Elytt, Esteyco, Empresarios Agrupados, Técnicas Reunidas, Fusion for Energy, Iberdrola Ingeniería, NATEC, ENUSA y otros). El panorama se completa con un ecosistema de grandes proyectos e inversiones que colocan a España en una posición estratégica:

- la construcción y operación de la instalación IFMIF-DONES en Granada, con una inversión de 700 millones de euros;
- la sede de Fusion for Energy (F4E) en Barcelona, con 400 funcionarios y un presupuesto anual de unos 1.000 millones de euros (se prevé duplicar) para la adjudicación de contratos;
- el proyecto internacional ITER, en el que España participa a través de la UE y F4E;
- la operación del tokamak JT-60 en Japón, de propiedad europea;
- y la posible construcción de la *Volumetric Neutron Source* en nuestro país

Como parte de la incipiente estrategia nacional de fusión, se plantea al Ministerio de Ciencia y Universidades triplicar esta cifra en veinte años. En este contexto, los perfiles de neutrónica computacional pasarán de, alrededor de 30, a más de 100 a nivel nacional. Si tenemos en cuenta que el sistema nacional solo retiene un 20% de los perfiles formados, la cifra de especialistas que habrá que preparar se eleva a, al menos, 350 en los próximos veinte años, lo que equivale a unos 18 al año.

El renacer de la fisión y la oportunidad industrial

La Fisión Nuclear, por su parte, vive un renovado interés global. Actualmente hay 423 reactores en funcionamiento y 63 en construcción a nivel mundial, la mayoría en países emergentes. La OCDE prevé que, como mínimo, se sustituya toda la flota actual de reactores en los próximos veinte años. En España, incluso si no se construyen nuevos reactores, el desmantelamiento de los existentes exigirá mano de obra cualificada. Será necesario gestionar residuos radioactivos y construir almacenes especializados como almacenes temporales centralizados o el almacén geológico profundo. Dado que el sector industrial nuclear ha quedado diezmado por décadas de inactividad, esto representa una notable expansión de la fuerza de trabajo a nivel mundial y europeo.

La estimación conservadora es que el sector empresarial (ENUSA, ENSA, ENRESA, Tecnatom, Westinghouse Spain, Empresarios Agrupados, IDOM) requerirá unos 160 perfiles con habilidades de neutrónica computacional en dos décadas, unos ocho al año.

Aceleradores de partículas: investigación y medicina nuclear

Los aceleradores de partículas viven un momento de expansión tanto en el ámbito científico como en el médico. En el ámbito sanitario, la radiofísica hospitalaria en España cuenta con unos 900 profesionales activos, con un déficit respecto a las recomendaciones de la OMS. La edad media, cercana a los 50 años, implica que en veinte años se jubilará entre el 40 y el 50 % del colectivo. Sumado a un aumento previsto del 15–25 % en la carga de trabajo por envejecimiento poblacional y nuevas tecnologías, la demanda total en 20 años será de unos 600 nuevos radiofísicos. Se estima que al menos un 20% de ellos, es decir, 120 profesionales, se interesarán por la neutrónica computacional. A ello se suman investigaciones en captura neutrónica de boro, irradiación con iones pesados y otras técnicas avanzadas. Además, el país participa en grandes instalaciones internacionales como el CERN o la *European Spallation Source*, actualmente en construcción.

En total, la demanda prevista en este campo es de unos 180 perfiles en veinte años, es decir, 9 al año, contando todos los hospitales, y en empresas tales como Varian Medical Systems, Elekta, IBA, Accion Systems, Hitachi Medical, Philips Healthcare, ESS Bilbao y Tekniker, entre otros.

Consejo de Seguridad Nuclear

Por último, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), con 430 funcionarios, afronta la jubilación de más de la mitad de su plantilla en los próximos 20 años. La incorporación de técnicas avanzadas como la neutrónica computacional será clave para el licenciamiento, desmantelamiento y verificación de instalaciones previstas en España. Un ejemplo concreto puede ser IFMIF-DONES. Se prevé que unos 140 perfiles, equivalentes a 7 al año, adquieran estas competencias

Atracción internacional

Este máster sería el primer programa de este tipo a nivel mundial, y además se impartía netamente en inglés. La Escuela mantiene colaboraciones de diferente tipo, y contacto regular con numerosas instituciones internacionales de investigación y docencia de prestigio, como Massachussets Institute of Technology (EEUU), University of Wisconsin (EEUU), University of Texas A&M (EEUU), Oak Ridge National Laboratory (EEUU), Karlsruhe Institute of Technology (Alemania), Culham Center for Fusion Energy (Reino Unido), Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo económico sostenible (Italia), la Agencia Internacional de la Energía Atómica (Austria), la Agencia de la Energía Nuclear (Francia), y prominentemente, ITER Organization (Francia). Considerando la reputación internacional de la Escuela en el campo, es razonable suponer la atracción de unos 8 estudiantes internacionales al año, unos 160 en total en 20 años.

En conjunto, se estima una demanda nacional de 1000 perfiles en neutrónica computacional en los próximos veinte años, lo que equivale a unos 50 al año. La distribución por sectores se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Estimación de perfiles que el sistema nacional va a requerir y absorber en los próximos 20 años.

Aplicación final	Egresados al año	Egresados tras 20 años
Fusión nuclear	18	360
Fisión nuclear	8	160
Aceleradores partículas y hospitales	9	180
Consejo de Seguridad Nuclear	7	140
Internacionales	8	160
Total	50	1000

II.2 Contexto académico

La oferta de titulaciones especializadas en el estudio de ciencia y tecnología nuclear no es amplia, especialmente en el contexto nacional.

Los másteres impartidos a nivel nacional que incluyen en su plan de estudios asignaturas dedicadas a la neutrónica computacional están resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 4. Relación de másteres que imparten algunos contenidos de neutrónica en España.

#	Título	Universidad	ECTS neutrónica	ECTS totales
1	Máster Universitario en Ingeniería Industrial	Universidad Nacional de Educación a Distancia	10	120
2	Máster Universitario en Investigación en Tecnologías Industriales	Universidad Nacional de Educación a Distancia	15	60
3	Erasmus Mundus Master in Nuclear Fusion Science and Engineering Physics	Universidad Carlos III de Madrid & Universidad Complutense de Madrid	3	120
4	Master's degree in Nuclear Engineering	Universidad Politécnica de Catalunya	12.5	90
5	Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Nuclear	Universidad Politécnica de Madrid	9	60
6	Máster Universitario en Física: Radiaciones, Nanotecnología, Partículas y Astrofísica	Universidad de Granada	9	60
7	Máster Universitario en Física Nuclear	Universidad de Sevilla (interuniversitario)	6	60
8	Máster Universitario en Seguridad Nuclear y Protección Radiológica	Universitat Politècnica de València	4.5	60
9	Máster Universitario en ingeniería e Instrumentación Nuclear	Universidad de Huelva	4	60

10	Máster en Ingeniería Nuclear y Aplicaciones	Universidad Autónoma de Madrid (Título propio)	6	60
11	Máster Universitario en Ingeniería de la Energía	Universidad Politécnica de Madrid	6	90
12	Máster en Tecnología Nuclear	Universidad Nebrija	3	60
13	Máster Universitario en Protección Radiológica Ambiental	Universitat de les Illes Balears (interuniversitario)	3	60

La revisión de la tabla anterior arroja la conclusión de que ninguno de ellos entra en conflicto o competencia con el MUNC, puesto que cubren demandas diferentes o complementarias. Se observa que son programas formativos de una temática mucho más amplia, y menos especializada. Según el programa, la Neutrónica representa una carga de entre un 2% y un 15% de estas titulaciones, y de manera excepcional (en la UNED), un 25%. Estos enfoques no permiten una alta especialización dado que el alumnado debe dedicar gran parte de la formación a otros aspectos. En todos ellos se imparte Neutrónica a niveles introductorios y teóricos para desarrollar, en mayor medida, otras líneas temáticas. Así, hacen poco, o ningún énfasis en la adquisición de habilidades computacionales de Neutrónica y en las capacidades de la disciplina propias de la evolución especializada de los últimos años que se pretende impartir en el MUNC. A día de hoy, en ningún programa formativo se puede adquirir la formación necesaria para llevar a cabo el ciclo completo del análisis nuclear.

Se ofrece, a continuación, un análisis pormenorizado de estos programas. Comenzando por las titulaciones impartidas por la UNED, se encuentran el Máster Universitario en Ingeniería Industrial y el Máster Universitario en Investigación en Tecnologías Industriales, recogidos en las posiciones #1 y #2 respectivamente. Ambos se componen de una formación en aspectos básicos generales del ámbito de conocimiento “Ingeniería industrial, ingeniería mecánica, ingeniería automática, ingeniería de la organización industrial e ingeniería de la navegación”, contando con un itinerario en el que se incluye contenido específico en la especialidad de Ingeniería Nuclear. En el caso del Máster Universitario en Ingeniería Industrial, las asignaturas en la especialidad de Ingeniería Nuclear son de orientación con un fuerte componente teórico. Están principalmente orientadas al estudio de la estructura y funcionamiento de reactores y centrales nucleares de fisión y fusión, así como a la gestión de residuos. En el caso del Máster Universitario en Investigación en Tecnologías Industriales, el itinerario de Ingeniería Nuclear ofrece una aproximación más cercana a la Neutrónica Computacional concebida como entrada a un programa de doctorado de 4 años con una línea en Neutrónica Computacional. Tal y como se muestra en la tabla, es el máster con más ECTS dedicados a Neutrónica. Aun así, el alcance formativo (15 ECTS) y el enfoque (entrada al doctorado) no son comparables con el MUNC, de 60 ECTS y con enfoque aplicado al sector comercial.

Por su parte, el máster #3 ofrece una extensa formación en Fusión Nuclear como disciplina. Se centra preminentemente en los aspectos de Física Básica necesarios para el desarrollo de la Fusión Nuclear como, la Física de Plasmas, la Física de Materiales o la Física de Láseres. Sólo trata la Neutrónica de manera tangencial en una asignatura dedicada a la producción y manejo de residuos radiactivos.

Los másteres del #4 al #9 ofrecen una introducción al Transporte de Radiación y su Simulación Computacional. El resto de las asignaturas tratan aspectos que complementan el enfoque de los respectivos másteres, no relacionados con la Neutrónica, como puede ser el caso de Termo-hidráulica o la Astrofísica.

Los másteres del #10 al #13 también ofrecen una introducción a la Neutrónica. Sin embargo, se han separado de los anteriores porque, aunque cuentan con asignaturas dedicadas al estudio de Radiaciones Ionizantes y Protección Radiológica, no tienen ninguna asignatura que se dedique a ningún aspecto del Transporte de Radiación.

Por lo tanto, el MUNC llenará un vacío formativo en España. De hecho, el MUNC también llenará este vacío formativo a nivel internacional, dado que tampoco se ha encontrado un programa formativo que aborde la Neutrónica Computacional de manera tan extensiva como lo hará el MUNC. Así, se dará respuesta a una demanda creciente y sostenida en sectores estratégicos para la energía, la investigación y la salud pública. Se impartirá en inglés, con un enfoque netamente práctico y orientado a la empleabilidad inmediata. Contribuirá a la consolidación de empleos de alta cualificación, a la generación de contratos internacionales ya un mayor posicionamiento de España como proveedor de ingeniería avanzada en el sector nuclear. Al mismo tiempo, permitirá que la Escuela no solo mantenga, sino que refuerce, su posición de liderazgo internacional en esta disciplina clave para el futuro.

El Título de MUNC ha tenido en cuenta la reglamentación dispuesta en el Real Decreto 822/2021 [14], de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad. De este modo, la organización y la estructura del presente título se encuadra dentro de los principios generales que definen el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

De acuerdo con estos principios, el MUNC se encuentra focalizado en el estudiantado y en las competencias adquiridas en esta formación. En concreto, permitirá adquirir los conocimientos, capacidades y habilidades necesarios para el estudio de campos de radiación en instalaciones nucleares y radiactivas mediante simulaciones, principalmente en aquellas orientadas a la fusión nuclear. Tal y como se ha explicado en la previsión de las necesidades del mercado laboral desarrollada en el punto anterior, las competencias adquiridas en este título permitirán al estudiantado su inserción en el mundo laboral. Esta titulación supone una formación avanzada de carácter especializado. El MUNC tienen un nivel equivalente al MECES 3 según en el Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior (RD 1027/2011, de 15-7-2011) [15].

II.3 Adecuación del título a la demanda social

En la actualidad, las instalaciones nucleares y radiactivas están presentes en las actividades fundamentales de la sociedad moderna, al sustentar procesos críticos en diversos ámbitos. En el campo científico, proporcionan entornos únicos para la investigación de materiales avanzados y para el desarrollo de tecnologías energéticas de vanguardia, como la fusión. En el ámbito energético, la energía de origen nuclear en España aportó el 20% de la producción en 2024. Permite, por tanto, generar electricidad de forma estable y libre de emisiones de carbono, contribuyendo a los objetivos de sostenibilidad y transición energética. En el ámbito médico, posibilitan la producción de radioisótopos esenciales para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, así como la operación de equipos de radioterapia y de imagen médica. En el sector industrial, la radiación se emplea en procesos de control de calidad, esterilización y mejora de materiales. La neutrónica computacional aporta valor al predecir con exactitud los campos de radiación y sus magnitudes asociadas para garantizar la protección de la operación de la instalación, las personas y del medio ambiente, y optimizar el uso de los recursos disponibles.

Tal como se expone en la justificación, se observa una inversión creciente tanto en la operación y desmantelamiento de las instalaciones en servicio como en el diseño y construcción de nuevas

infraestructuras de referencia en los distintos sectores. Este contexto define la demanda social de trabajadores con conocimientos de neutrónica computacional, así como el nicho de mercado al que accederán los egresados del máster; ya sea en las propias instalaciones nucleares y radiológicas, o en organismos externos —como agencias reguladoras, centros de investigación, universidades o empresas públicas o privadas, tanto a nivel nacional como internacional— que desarrollan su labor en relación directa con ellas.

Para abordar en mayor profundidad el estado presente y futuro de la demanda de trabajo clasificaremos las instalaciones[1] en tres apartados.

Instalaciones de fusión nuclear

En este apartado se incluyen las instalaciones experimentales cuyo objetivo principal es avanzar en la consecución de la fusión como fuente de energía. La hoja de ruta internacional de la fusión nuclear se apoya en proyectos estratégicos de gran escala y en la creciente iniciativa privada.

En Europa, ITER (en construcción) constituye el pilar central para demostrar la viabilidad científica y tecnológica de la fusión. Por su parte, IFMIF-DONES proporcionará datos esenciales sobre el comportamiento de materiales sometidos a campos intensos de radiación. Y DEMO se proyecta como la primera planta de demostración capaz de producir electricidad a la red hacia mediados de siglo.

Paralelamente, en la última década se ha registrado una fuerte inversión en *spin-offs* y *start-ups*, como Xcimer Energy, Commonwealth Fusion Systems o Helion Energy en Estados Unidos, y Tokamak Energy o Proxima Fusion en Europa. Además, existen iniciativas en Asia como Helical Fusion y Kyoto Fusioneering en Japón con calendarios ambiciosos que en algunos casos buscan operar prototipos antes de 2040.

Esta combinación de grandes infraestructuras públicas y dinámicas empresariales privadas está generando una demanda creciente de especialistas en neutrónica computacional capaces de integrarse de manera inmediata en proyectos de diseño, operación y licenciamiento. Merece la pena resaltar que hoy en día esta demanda no encuentra una respuesta suficiente en el mercado laboral. Ocurren retrasos en la planificación y ejecución de dichas instalaciones —y por lo tanto de la fusión como fuente de energía—, como se ha puesto de manifiesto en el propio proyecto ITER.

Por otro lado, existe también una demanda más estable y sostenida de profesionales vinculada a instalaciones actualmente en operación, como el generador de neutrones FNG en Frascati, el stellarator W7-X en Alemania, el tokamak JT-60SA en Japón o el stellarator TJ-II en España, así como en el ámbito del desmantelamiento, ejemplificado por el caso de JET en Culham. Todas estas infraestructuras, junto con otros laboratorios experimentales de referencia internacional, requieren de forma continua especialistas en neutrónica computacional. Se dedican a optimizar el rendimiento de los experimentos y a diseñar estrategias de desmantelamiento seguras y eficientes, además de contribuir al avance de la investigación fundamental y al desarrollo tecnológico en el campo de la fusión y en áreas relacionadas.

Para concluir este apartado merece la pena resaltar que el máster en neutrónica computacional es de carácter transversal para distintas áreas más allá de la fusión nuclear. Sus contenidos más específicos— diseñados para satisfacer los objetivos presentados en el bloque Memoria Académica— responden principalmente a las necesidades de este bloque de instalaciones. Más

[1] Remarcamos que, aunque en esta sección nos refiramos a instalaciones, la demanda de empleo la ofertan también organismos externos que desarrollan su labor en relación directa con ellas.

específicamente, el perfil profesional más alineado con los contenidos y objetivos del máster es el de los trabajos de ingeniería en empresas vinculadas al diseño y licenciamiento de instalaciones emergentes de fusión. Como se ha indicado previamente, este perfil es una parte importante de la demanda laboral de mayor crecimiento en el sector, lo que genera un nicho de mercado en expansión que resulta necesario atender —Objetivo #1: satisfacer la demanda del mercado—. Al mismo tiempo, estos profesionales son absorbidos de manera directa por el sector privado, favoreciendo así la transferencia de conocimiento y herramientas desde el ámbito de la investigación pública al tejido empresarial emergente—Objetivo #2: transferir conocimiento y herramientas—. Por ello, y como se destacará más en profundidad en esta sección, la formación en inglés, y el gran peso del carácter práctico enfocado a la incorporación laboral inmediata de este tipo de perfiles, —además de la formación en neutrónica computacional— toman una gran importancia en el diseño del plan de estudios de este máster.

Instalaciones de fisión nuclear

En este apartado se incluyen las instalaciones de fisión nuclear, tanto en operación como en desarrollo, cuyo objetivo principal es garantizar un suministro energético seguro, sostenible y competitivo, además de avanzar en el conocimiento científico y tecnológico asociado. La hoja de ruta internacional de la fisión se articula en tres grandes ejes: (i) la operación y extensión de vida de las plantas existentes, (ii) el desarrollo de nuevas generaciones de reactores más seguros y eficientes, y (iii) los programas de desmantelamiento de instalaciones que han alcanzado el final de su ciclo de vida.

Entre los nuevos proyectos destacan los reactores modulares pequeños (SMR) y de 3ª y 4ª generación, como Olkiluoto-3 en Finlandia, NuScale en EE.UU., y los reactores rápidos de Rusia y China (BN-800, CFR-600), con una mayor eficiencia y seguridad que los convencionales. Junto con los reactores más convencionales por los que apuestan los países en vías de desarrollo representan el crecimiento de esta área.

Actualmente, más de 400 reactores nucleares permanecen en operación en todo el mundo, muchos de los cuales entrarán en fase de desmantelamiento en los próximos años. Estas actividades, junto con la extensión de vida de las plantas existentes, generan una demanda constante de especialistas en neutrónica computacional para apoyar la operación segura, los programas de I+D y las estrategias de desmantelamiento. En este contexto, la empleabilidad vinculada a la fisión nuclear presenta una tendencia creciente.

Aceleradores experimentales y física médica

En este apartado se incluyen las instalaciones basadas en aceleradores de partículas, cuyo objetivo es tanto el avance del conocimiento científico como sus aplicaciones en campos tecnológicos, industriales y médicos. Actualmente, existen en el mundo alrededor de 30.000 aceleradores en operación, de los cuales solo una pequeña fracción se dedica a investigación fundamental. La mayor parte se orienta a usos médicos (radioterapia, hadrón-terapia, producción de radioisótopos), industriales (irradiación, control de calidad, modificación de materiales) y de seguridad.

La amplia diversidad de tipologías y aplicaciones hace compleja una descripción detallada de su evolución presente y futura. No obstante, este panorama refleja un sector dinámico y en constante expansión, que mantiene una demanda estable y diversificada de especialistas en simulación y modelización radiológica. Entre ellos, los expertos en neutrónica computacional desempeñan un papel relevante tanto en el ámbito de la investigación como en el desarrollo de aplicaciones tecnológicas y médicas.

Concluida esta descripción del estado actual y futuro de la demanda de profesionales, resulta pertinente subrayar que, en el apartado de *Previsión de alumnado*, y en coherencia con el público objetivo de esta titulación, se ha estimado el número de egresados que se prevé formar en los distintos sectores. En total, se calcula una demanda aproximada de 50 perfiles especializados al año, distribuidos mayoritariamente en el ámbito de la fusión, aunque también con una presencia significativa en puestos vinculados a la fisión y a las aplicaciones de aceleradores.

En este contexto, el MUNC surge con el objetivo de formar profesionales altamente cualificados capaces de responder a estas necesidades. Su formación debe ser en inglés, dada la naturaleza internacional del desempeño profesional previsto, así como para fomentar la atracción de talento internacional.

Resulta pertinente destacar en este punto los pilares fundamentales que permiten garantizar el logro de los objetivos sociales del MUNC.

En primer lugar, el MUNC proporciona una formación sólida en la metodología computacional desarrollada en la Escuela para realizar el análisis neutrónico: Un flujo de trabajo integrado, ágil y versátil que abarca todas las fases del estudio neutrónico, desde la modelización inicial de los sistemas, pasando por la aplicación de métodos numéricos avanzados, hasta el post procesado y análisis de resultados con un elevado nivel de precisión. Es de destacar que esta metodología cuenta con un amplio reconocimiento internacional. Especialmente en el ámbito de la fusión nuclear, donde varios de sus componentes se han consolidado como códigos de referencia para el cálculo de campos de radiación en instalaciones de gran relevancia, como ITER, DEMO o IFMIF-DONES, sin que esto limite su aplicación en otros campos como fisión o física médica.

En segundo lugar, el máster incorpora un marcado componente práctico, cuya máxima expresión se materializa en el Trabajo Fin de Máster (TFM). Este se plantea como una actividad aplicada, que se puede orientar tanto a resolver problemas reales del sector nuclear como al desarrollo de investigación de carácter avanzado. Los proyectos estarán enmarcados en líneas activas de trabajo desarrolladas en la Escuela, con posibilidad de interacción con instituciones y agentes externos de prestigio. La red de contactos de la Escuela para este fin abarca: empresas nacionales como Tekniker, IDOM o Esteyco; empresas internacionales como Orano, Wood, Capgemini o Westinghouse; universidad de reconocido prestigio en el ámbito, como la Universidad de Wisconsin, o el Massachusetts Institute of Technology; centros de investigación, como CIEMAT en España, ENEA en Italia, CEA en Francia, CCFE en Reino Unido, KIT en Alemania, y ORNL en EE.UU. Y por último, organismos gestores y ejecutores de grandes instalaciones internacionales, como Fusion for Energy, ITER Organization, o el consorcio IFMIF-DONES. De esta manera, el estudiante no sólo adquiere experiencia práctica en entornos profesionales e investigadores, sino también contactos y vínculos que resultan de gran valor para impulsar su futura trayectoria laboral.

Es importante subrayar que una parte significativa de las oportunidades profesionales a las que accederán los egresados de este máster se encuentran en un entorno internacional. Con el fin de responder a esta realidad, además de favorecer la captación de estudiantes de otros países, el programa se imparte íntegramente en inglés.

Finalmente, tras la implementación del MUNC, la UNED dispone de mecanismos para medir los resultados sociales de la titulación, tales como los servicios estadísticos sobre matriculados, egresados etc. (https://app.uned.es/evacal/) o el nuevo servicio de organización y colaboración con antiguos estudiantes “alumni” (https://blogs.uned.es/alumni/).

II.4 Capacidad competitiva de la UNED

La propuesta del MUNC se apoya en tres factores competitivos de la UNED en general —como universidad pública y proveedora de educación a distancia— y de la ETSI Industriales y el grupo TECF3IR en particular —como eje científico y docente del programa—. Estos factores, claramente identificables, son (i) capacidad institucional para impartir títulos oficiales en modalidad a distancia con garantía de calidad; (ii) infraestructura técnica y de producción docente innovadora y consolidada; y (iii) liderazgo científico y técnico internacional en neutrónica computacional reconocido en proyectos internacionales de fusión nuclear de prestigio.

Estas ventajas sitúan al título propuesto en una posición privilegiada para cubrir una demanda profesional y científica especializada en un campo de alto interés estratégico tanto a nivel nacional como internacional.

En el ámbito de los recursos humanos, la UNED cuenta con una trayectoria consolidada en la impartición de docencia a distancia y semipresencial, con una organización académica y administrativa adaptada a títulos de posgrado, incluyendo máster. A lo largo de décadas, la UNED ha desarrollado una metodología propia para la formación no presencial que combina materiales escritos y multimedia, plataformas virtuales de aprendizaje, foros y canales de tutoría, y sistemas de evaluación adaptados a la heterogeneidad del estudiantado. Estas capacidades resultan directamente aplicables y ventajosas para la impartición de un máster técnico con alto valor estratégico e interés social en el ámbito internacional:

- Trayectoria en posgrado y capacidad administrativa para gestionar títulos oficiales. La UNED ofrece un amplio catálogo de másteres oficiales y cuenta con los procedimientos de acreditación, órganos de coordinación (vicedecanatos, comisiones de posgrado) y servicios de gestión académica necesarios para garantizar calidad y cumplimiento normativo en la expedición de títulos oficiales. Esta experiencia reduce riesgos burocráticos y facilita la homologación y reconocimiento internacional del título.
- Personal de apoyo y unidades de innovación docente. La existencia de unidades como el Instituto Universitario de Educación a Distancia (IUED) facilita la formación permanente del profesorado en metodologías de educación online, la evaluación de materiales docentes y la aplicación de buenas prácticas en enseñanza virtual. Esto asegura que las actividades docentes, aun siendo altamente técnicas, puedan diseñarse con criterios pedagógicos avanzados (actividades colaborativas, evaluación formativa, rúbricas, etc.).

Por otra parte, la ETSI Industriales y el grupo TECF3IR presentan:

- Liderazgo científico y trayectoria reconocida. La Escuela cuenta con un amplio reconocimiento internacional en el análisis nuclear para aportar soluciones de ingeniería en instalaciones nucleares de fusión estratégicas como ITER [1], IFMIF-DONES [2], o Xcimer [16], entre otros. El grupo TECF3IR ha participado, desde 2010, en más de 10 contratos de transferencia tecnológica, 20 contratos de investigación y más de 40 proyectos de investigación. Estos proyectos y contratos, de carácter competitivo a nivel nacional, europeo o internacional no-europeo, suponen un activo robusto para asegurar la calidad científica del máster y su orientación aplicada.
- Capacidades técnicas y docentes especializadas. El profesorado involucrado, cuya totalidad está en posesión del título de Doctor, cuenta con un perfil investigador aplicado sólido. La mayoría tiene una amplia experiencia en educación a distancia obtenida a través de los diferentes títulos de grado, máster y doctorado ofertados por la Escuela Técnica

Superior de Ingenieros Industriales. Esta combinación permite combinar teoría avanzada con ejercicios prácticos que dan cuenta de los problemas reales a los que se enfrentan las instalaciones nucleares.

- Capacidad de atracción de colaboraciones externas. El vínculo de la Escuela con proyectos nucleares relevantes a nivel nacional e internacional facilitan la incorporación al programa de ponentes invitados o actividades prácticas vinculadas a situaciones reales. También será central para aportar a los TFM un marco contextual de carácter aplicado directo al mundo real directo, y proporcionando un ecosistema que cierra la brecha entre docencia, investigación y transferencia.

Desde la perspectiva de recursos materiales y logísticos, la UNED presenta una serie de herramientas y metodologías que hacen de esta universidad un elemento diferenciador, fortaleciendo la viabilidad y calidad del máster propuesto:

- Plataformas y servicios de soporte tecnológico. La UNED dispone de plataformas consolidadas (Ágora) para el alojamiento de materiales y actividades docentes, servicios institucionales de producción audiovisual (Centro de Medios Audiovisuales –CEMAV–) y canales de difusión (CanalUNED), así como atención técnica centralizada (Centro de Atención al Usuario –CAU–). Estos servicios permiten generar contenidos multimedia de calidad, impartir clases síncronas y asíncronas, grabar y distribuir seminarios y establecer tutorías a distancia con un amplio alcance con altos estándares de calidad. La disponibilidad de estas herramientas es un activo clave para ofrecer un máster especializado y accesible desde múltiples áreas geográficas.
- Alcance territorial e internacional. La red de Centros Asociados de la UNED y su presencia histórica en diversos países (centros y acuerdos en Iberoamérica y otros países) dotan a la universidad de una logística territorial que facilita la gestión de exámenes presenciales, tutorías y actividades puntuales in situ, lo que resulta especialmente útil en programas internacionales y para estudiantes que requieren algún componente presencial. Esta red reduce las barreras de acceso y posibilita una atención personalizada en múltiples localidades.
- Soporte bibliográfico y documental. La Biblioteca Central y la Red de Bibliotecas de la UNED proporcionan acceso a recursos materiales y electrónicos (revistas científicas, libros, bases de datos, etc.) que son fundamentales para la docencia, tanto para el profesorado como el alumnado.

En el ámbito particular de la ETSI Industriales y del grupo TECF3IR, los recursos materiales y tecnológicos específicos que respaldan la docencia del máster incluyen:

- Flujo de trabajo para el análisis nuclear propio: Este flujo, descrito en la sección 3 de la Justificación Académica, está compuesto por un conjunto de herramientas y procedimientos altamente verificados y validados, y aplicados en análisis nucleares de interés real, principalmente en el área de fusión. El acceso a este flujo, el cual cuanta con un alto reconocimiento dentro de la comunidad de neutrónica computacional, así como la capacidad del grupo para su adaptación a situaciones específicas, permite y facilita la instalación, adaptación y distribución de ejercicios o prácticas con contenido técnico reproducibles por el alumnado, enriqueciendo la oferta formativa.
- Recursos de computación de alto rendimiento. El grupo TECF3IR mantiene y dispone de una infraestructura propia de computación de alto rendimiento, o clúster de computación, con una capacidad aproximada de 18 millones de horas CPU anuales. Por razones de facilidad de uso, se ha diseñado un sistema de gestión del clúster independiente que permite al

alumnado la realización de prácticas o ejercicios sin necesidad de conocer el funcionamiento interno del clúster.

En conjunto, estas capacidades sitúan a la Escuela y a la UNED en una posición de ventaja para desarrollar el *MUNC* por la combinación única de tres atributos que raramente coexisten en una sola institución: (i) la condición de universidad pública con capacidad administrativa y normativa para expedir títulos oficiales de posgrado, (ii) una trayectoria consolidada en la enseñanza a distancia, sustentada en plataformas, unidades de innovación educativa y medios de producción propios, y (iii) liderazgo científico operativo en el ámbito de la neutrónica computacional vinculado a las asignaturas presentadas en el Plan de Estudios (ver sección II.1 de la Justificación Académica).

Así, a nivel nacional, no existe una institución con similares características que la UNED en dicho aspecto. Las universidades involucradas en el campo de la neutrónica, como la Universidad de Sevilla (US), la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) o la Universidad de Granada (UGR), aunque disponen de la capacidad administrativa y de gestión, no cuentan con las capacidades técnicas de la UNED ni con la participación en proyectos como ITER o IFMIF-DONES. Además, la educación a distancia que plantea la UNED, así como el reconocimiento y prestigio en el campo específico, son elementos fuertemente diferenciadores que permiten proponer un título internacional de calidad. Universidades con capacidades de educación a distancia como la Universidad a Distancia de Madrid (UDIMA) o la Universitat Oberta de Catalunya (UOC) no cuentan con el conocimiento ni recursos técnicos necesarios.

Es sólo en el ámbito internacional donde se encuentra una universidad con fuerte I+D en el ámbito de la Neutrónica con capacidad de desarrollar un máster similar, el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) en Estados Unidos, en consorcio con el proyecto *Commonwealth Fusion Systems*. La ventaja diferencial, de nuevo, es la existencia del liderazgo científico-técnico de la Escuela en el ámbito de la neutrónica en instalaciones de fusión nuclear internacionales de relevancia, además de la metodología propia de la UNED. La excelente relación ETS de Ingenieros Industriales-MIT en el ámbito de la neutrónica se plantea, a largo plazo, como una posible colaboración.

Por todo ello, la UNED ocupa una posición competitiva privilegiada en el ámbito nacional e internacional para desarrollar e impartir el MUNC.

II.5 Viabilidad económica

El MUNC es una opción financieramente viable y con un impacto estructural positivo en el presupuesto de la UNED. Su implementación se basa en la utilización de recursos materiales, tecnológicos y docentes ya existentes en la universidad (ver sección III.4 de la Memoria Económica). Su financiación se basa en dos pilares centrales y un tercer pilar alternativo explicados a continuación.

En primer lugar, la Titulación se encuentra incluida en el Plan Plurianual de Financiación que, de acuerdo al artículo 56.3 de la LOSU, está en la fase final de negociación con el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

En segundo lugar, la viabilidad financiera del título se apoya en la matrícula del estudiantado, aprovechando la capacidad administrativa de la UNED para títulos oficiales, así como la experiencia previa en la gestión de másteres. Considerando un precio de crédito ECTS en primera matrícula similar a títulos de máster impartidos por la ETSI Industriales (35,02 €) [17], la duración del máster (60 ECTS) y el número de plazas ofertadas (50), se podría ingresar hasta un máximo de 105.060,00€ anuales.

Por último, la colaboración con las empresas, consorcios, proyectos y entidades públicas y privadas del ámbito nuclear con las que el grupo de investigación TECF3IR ha trabajado y trabaja en proyectos de investigación ya mencionados, puede servir para la financiación de becas de investigación, publicaciones científicas derivadas de los TFMs o incluso becas para realizar estancias o prácticas en estos organismos.

Por lo tanto, se puede decir que el proyecto cuenta con apoyos financieros necesarios y no solo no supone un riesgo financiero, sino que impacta satisfactoriamente en el presupuesto de la UNED.

II.6 Criterios adicionales

El MUNC se establece en el marco del Espacio Europeo de Enseñanza Superior (EEES) y con la normativa española que ordena las enseñanzas universitarias (Real Decreto 822/2021). acogiéndose así a los procedimientos de verificación y reconocimiento nacionales e internacionales, facilitando la homologación de créditos y resultados de aprendizaje por parte de otras instituciones europeas.

La implementación del título se basa en las prioridades estratégicas adoptadas recientemente por la UNED y la administración pública anunciadas a través del Plan de Relanzamiento de la UNED anteriormente mencionado. Este plan identifica expresamente la implementación de nuevas titulaciones estratégicas –entre las que se explicita la Neutrónica Computacional– como una prioridad para ampliar plazas en titulaciones de alto valor social y científico. Este plan no solo supone un respaldo presupuestario, sino que inscribe al proyecto en una estrategia de Estado para reforzar la universidad pública de calidad y su proyección internacional, lo que facilita la consolidación del MUNC aquí propuesto.

Por otro lado, este título se alinea perfectamente con las líneas estratégicas de la UNED definidas en su Plan Estratégico 2023-2026 [18] como Objetivos Estratégicos (OE), Objetivos Específicos (OES) y Objetivos Operativos (OP), como se detalla a continuación:

- OE 1. UNED Excelente. El MUNC contribuye directamente a crear una UNED excelente en múltiples ámbitos al integrar docencia con investigación de vanguardia en un campo de alto interés social y científico. La implementación del título se apoya en la trayectoria y experiencia del grupo TECF3IR en neutrónica computacional para proyectos nucleares de alto impacto internacional. Esta combinación asegura contenidos actualizados, relevantes y de alta calidad que refuerzan el liderazgo académico y científico de la UNED.
- OE 2. UNED cercana e internacional. El máster combina la modalidad a distancia virtual propia de la UNED, con la decisión pedagógica de impartirlo íntegramente en inglés. Esto aumenta de forma inmediata la accesibilidad e internacionalización del programa al eliminar barreras lingüísticas y geográficas. Al mismo tiempo se facilita la cooperación con centros de investigación internacionales y refuerza la proyección internacional de la UNED, cumpliendo el objetivo de ser una institución abierta y comprometida con una educación inclusiva y global.
- OE 3. UNED innovadora. La innovación tecnológica es el centro de esta propuesta. El uso de herramientas computacionales avanzadas, tanto en investigación como en docencia, mejora la empleabilidad en sectores clave y consolida a la universidad como institución pionera en enseñanza digital de alta especialización.

Por último, tal y como se ha descrito en apartado 10 de la Parte I, el programa integra aspectos de responsabilidad social y sostenibilidad, adecuándose a la agenda global de la ONU para 2030 [13], y alineándose con varios de sus ODS.

REFERENCIAS

[1] ITER Organization. *ITER: The way to new energy.* Recuperado de https://www.iter.org

[2] DONES IFMIF-DONES. DONES: The key to the future. Recuperado de https://ifmif-dones

[3] JT-60SA: Advanced Superconducting Tokamak. Recuperado de https://www.jt60sa.org

[4] Divertor Tokamak Test facility. Recuperado de https://www.dtt-project.it

[5] European Spallation Source. Recuperado de https://ess.eu

[6] J. P. Catalán, P. Sauvan, et al., "GEOUNED: A new conversión tool from CAD to Monte Carlo geometry", *Nuclear Engineering and Technology*, **56-6** (2024) 2404-2411

[7] J. Sanz, ACAB-2008. Activation Abacus Code, Nuclear Energy Agency NEA-1839 (2011).

[8] P. Sauvan, R. Juárez, et al., "D1SUNED system for the determination of decay photon related quantities", *Fusion Engineering and Design*, **151** (2020) 111399.

[9] P. Sauvan, J. P. Catalán, et al., "Development of the R2SUNED Code System for Shutdown Dose Rate Calculations", *IEEE Transactions on Nuclear Science*, **63-1** (2016) 375-384.

[10] M. De Pietri, J. Alguacil, et al., "Development and validation in wáter of FLUNED, an open-source tool for fluid activation calculations", *Computer Physics Communications*, **291** (2023) 108807

[11] R. Juarez, et al. "A full and heterogeneous model of the ITER tokamak for comprehensive nuclear analyses". *Nature Energy*, **6-2** (2021) 150-57

[12] R. Juarez, *et al*. "ITER full model in MCNP for radiation safety demonstration", *Nature Communications,* **15** (2024) 8563

[13] Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de https://www.un.org/sustainabledevelopment/

[14] Gobierno de España. Ministerio de Universidades. (2021, 29 de septiembre). Real Decreto 822/2021, de 28 de septiembre, por el que se establece la organización de las enseñanzas universitarias y del procedimiento de aseguramiento de su calidad. (BOE núm. 233, de 29 de septiembre de 2021, BOE-A-2021-15781).

[15] Gobierno de España. Ministerio de Educación (2011, 3 de agosto). Real Decreto 1027/2011, de 15 de julio, por el que se establece el Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior. (BOE núm. 185, de 3 de agosto de 2011, BOE-A-2011-13317)

[16] Xcimer Energy Corporation. Recuperado de https://xcimer.energy/

[17] Gobierno de España. Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. (2025, 4 de julio). Orden CNU/731/2025, de 4 de julio, por la que se fijan los precios públicos por los servicios académicos universitarios y otros servicios en la Universidad Nacional de Educación a Distancia para el curso 2025-2026 (BOE núm. 165, de 10 de julio de 2025, pp. 92435-92447). BOE. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2025-14299

[18] Universidad Nacional de Educación a Distancia. (2023, junio). Plan estratégico 2023-2026 UNED. https://www.uned.es/universidad/inicio/institucional/planestrategico.html.

Anexo I

Certificación de los directores del departamento

“Certificación de los Directores de Departamento con el compromiso de impartición de la docencia asignada por un período mínimo de cuatro cursos para grados y másteres de más de 60 créditos, y dos para los másteres de 60 créditos, sin perjuicio del período adicional en caso de extinción.”

Universidad Nacional de Educación a Distancia

CERTIFICADO DE COMPROMISO DE DOCENCIA

Don Antonio José Rovira de Antonio, Director del Departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED.

CERTIFICA: el compromiso de impartición de la docencia asignada en el Máster Universitario de Neutrónica Computacional, de 60 créditos ECTS, por un período mínimo de dos cursos académicos, sin perjuicio del período adicional en caso de extinción, en las asignaturas que se relacionan a continuación:

Nombre de la asignatura	**Número de créditos ECTS**
Basics of radiation transport / Fundamentos del transporte de radiación	6 ECTS
Data analysis for computational neutronics / Análisis de datos para neutrónica computacional	6 ECTS
Monte Carlo method for radiation transport / Método Monte Carlo para transporte de radiación	6 ECTS
Evolution of isotopic inventory / Evolución del inventario isotópico	6 ECTS
Modeling for radiation transport simulations / Modelado para simulaciones de transporte de radiación	6 ECTS
Advanced nuclear analysis / Análisis nuclear avanzado	6 ECTS
Neutronics for nuclear fusion facilities / Neutrónica para instalaciones de fusión nuclear	6 ECTS
Trabajo Fin de Máster	18 ECTS

Y para que así conste, a los efectos oportunos, se firma el presente compromiso en Madrid, a 7 de octubre de 2025.

ROVIRA DE ANTONIO ANTONIO JOSE - 05428062Q

Firmado digitalmente por ROVIRA DE ANTONIO ANTONIO JOSE - 05428062Q
Fecha: 2025.10.07 17:07:24 +02'00'