

Máster Universitario Erasmus Mundus en Física Nuclear
(USE - UAM - UCM - UB - UCBN - SDP - SCAT)

Máster de 120 créditos

Obligatorias

<u>Curso</u>	<u>Cod.</u>	<u>Asignatura</u>	<u>Créd. ECTS</u>	<u>Dur.</u>
1	52000003	Estructura Nuclear: propiedades y modelos	6	C1
1	52000004	Física Atómica y de Plasmas	6	C1
1	52000008	Física Nuclear Experimental Básica	6	C1
1	52000013	Mecánica Cuántica	6	C1
1	52000014	Programación y Métodos Numéricos	6	C1
2	52000027	Prácticas en Empresas/Centros de Investigación	12	C1
2	52000028	Temas actuales de Física Nuclear seleccionados por la Comisión Académica para cada edición	6	C1
2	52000029	Trabajo Fin de Máster	30	C2

Optativas según Itinerario de Especialización ()** (elegir uno de los tres itinerarios):

Itinerario 1. Experimentos e instrumentación en aceleradores de gran tamaño (EXP) (Elegir 42 créditos según cuadro de distribución del itinerario)

<u>Curso</u>	<u>Cod.</u>	<u>Asignatura</u>	<u>Créd. ECTS</u>	<u>Dur.</u>
1	52000002	Astrofísica Nuclear*	6	C2
1	52000030	Física de Astropartículas	6	C2
1	52000009	Física Subnuclear	6	C2
1	52000011	Introducción a los Detectores de Radiación	6	C2
1	52000012	Laboratorio Avanzado de Física Nuclear	6	C2
1	52000016	Radioactividad y Medidas Nucleares	6	C2
1	52000031	Temas Avanzados de Física	6	C2
2	52000024	Física Nuclear Experimental con Aceleradores	6	C1
2	52000026	Metrología y Análisis de Datos	6	C1

Itinerario 2. Física nuclear teórica (TEO) (Elegir 42 créditos según cuadro de distribución del itinerario)

<u>Curso</u>	<u>Cod.</u>	<u>Asignatura</u>	<u>Créd. ECTS</u>	<u>Dur.</u>
1	52000002	Astrofísica Nuclear*	6	C2
1	52000006	Física Hadrónica	6	C2
1	52000010	Interacciones Débiles	6	C2
1	52000017	Reacciones Nucleares	6	C2
1	52000020	Teoría Cuántica Relativista: procesos nucleares	6	C2
1	52000022	Teoría de Muchos Cuerpos en Física Nuclear	6	C2
2	52000025	Física Teórica de Átomos, Núcleos y Colisiones	12	C1

Máster Universitario Erasmus Mundus en Física Nuclear
(USE - UAM - UCM - UB - UCBN - SDP - SCAT)

Itinerario 3. Aplicaciones y pequeños aceleradores (APL) (Elegir 42 créditos según cuadro de distribución del itinerario)

<u>Curso</u>	<u>Cod.</u>	<u>Asignatura</u>	<u>Créd. ECTS</u>	<u>Dur.</u>
1	52000001	Arqueometría	6	C2
1	52000002	Astrofísica nuclear*	6	C2
1	52000005	Física de Aceleradores y Aplicaciones	6	C2
1	52000007	Física Médica	6	C2
1	52000015	Radiactividad ambiental	6	C2
1	52000018	Técnica de Análisis de Datos para Física Nuclear y de Partículas	6	C2
1	52000019	Técnicas Nucleares Avanzadas Aplicadas a Medicina	6	C2
1	52000021	Teoría de las Reacciones Nucleares	6	C2
2	52000023	Aplicaciones para Terapias	12	C1

DISEÑO Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO:

El Máster Erasmus Mundus en Física Nuclear (NucPhys) es un Máster de 120 ECTS de 24 meses de duración. Está estructurado para todos los estudiantes en 5 módulos y dividido en 4 semestres. Una base común del conocimiento fundamental se da a todos los estudiantes durante el primer semestre (S1). A continuación, se continúa con una especialización progresiva mediante la elección en S2, S3 y S4 de uno de tres itinerarios propuestos: un enfoque experimental con uso de grandes aceleradores (EXP), un enfoque teórico (TEO) o un enfoque aplicado con uso de pequeños aceleradores (APL).

El Máster comenzará con la organización de una Semana de Bienvenida en la Universidad de Sevilla. Los coordinadores de los tres itinerarios recibirán a los estudiantes, y presentarán el programa NucPhys y las universidades participantes. Este primer contacto ofrece la oportunidad de intercambiar puntos de vista, experiencias y planes entre los estudiantes y entre estudiantes y profesores en una etapa muy temprana lo que permitirá hacer una docencia más ajustada a la realidad de cada promoción. El conocimiento inicial de los estudiantes será evaluado durante la semana de orientación a través de un "Test Piloto" y los recursos necesarios para los más retrasados estarán disponibles on-line con el objeto de equilibrar el punto de partida inicial de todos los estudiantes y evitar posibles diferencias.

• Módulos:

Módulo 1. Fundamentos de la física nuclear y herramientas (30 ECTS)

Módulo 2. Física nuclear avanzada (42 ECTS), con tres especialidades (experimental, teoría, y aplicaciones)

Módulo 3. Curso avanzado común (dos semanas intensivas en el tercer semestre, 6 ECTS)

Módulo 4. Prácticas (12 ECTS)

Módulo 5. Trabajo Fin de Máster (30 ECTS)

El contenido de los módulos se describe brevemente a continuación:

Módulo 1 (BAS): Se dedicará a los conocimientos básicos requeridos en Física, y Cursos Complementarios/Interdisciplinarios adaptados al itinerario elegido (típicamente métodos numéricos y

Máster Universitario Erasmus Mundus en Física Nuclear (USE - UAM - UCM - UB - UCBN - SDP - SCAT)

programación). Estos cursos se concentrarán en el primer semestre (S1) e incluirán temas como Mecánica Cuántica Avanzada, Física Nuclear Básica: teoría y laboratorio, Métodos Numéricos y Programación, Física Atómica y de Plasmas.

Módulo 2: Permite a los estudiantes seguir tres caminos: Experimental en grandes aceleradores (EXP), Teórico (TEO), o Aplicado en pequeños aceleradores (APL). Este módulo dará el enfoque especializado del máster en física nuclear fundamental o aplicada. La física fundamental incluye un enfoque experimental o teórico. La física aplicada se centra especialmente en aplicaciones biomédicas, pero también incluye los fundamentos en tecnología de aceleradores, arqueometría, monitoreo de desechos nucleares y física de plasma de fusión nuclear. La especialización es progresiva, comenzando ya en el primer año (S2) y finalizando en el cuarto semestre (S4) con el Trabajo Fin de Máster. Los temas incluyen: Reacciones Nucleares, Astrofísica Nuclear, Interacciones Débiles y Fuertes, Física de Colisiones, Teoría de Muchos Cuerpos, Aplicaciones de Física Nuclear: Arte, Materiales, Aplicaciones de la Física Nuclear: Radioprotección y Terapia, Metrología y Análisis de Datos, Física Nuclear Experimental, Laboratorio Avanzado de Física Nuclear y Subnuclear, y Física de Aceleradores e Instrumentación avanzada.

Módulo 3 (ADV): Temas actuales de Física Nuclear seleccionados por la Comisión Académica para cada edición e impartidos por profesores invitados. Este curso es obligatorio para todos los estudiantes y se celebrará durante dos semanas en el tercer semestre (S3) en Francia. La elección del período y la ubicación se realiza para optimizar el esquema de movilidad de los estudiantes (ver más abajo). Los temas y profesores serán seleccionados cada año para el próximo curso en la posible coorganización con TALENT (Training in Advanced Low Energy Nuclear Theory), que es una iniciativa de Universidades Americanas, Europeas y Asiáticas para promover la formación de jóvenes graduados/investigadores en teoría nuclear (<http://fribtheoryalliance.org/TALENT/content/about.php>).

Módulo 4 (PRÁCTICAS): Se desarrollará en el tercer semestre. Consistirá en prácticas individuales o en parejas de los estudiantes (se aceptan temas experimentales, teóricos o aplicados), que se llevarán a cabo en diferentes centros de investigación institucionales o industriales, ya sea en Caen (Francia) o en un centro asociado de otro país según el camino elegido y la especialización deseada. Los estudiantes recibirán apoyo de tutorías internas (Consortio) y externas (Miembros Asociados) y se integrarán completamente en los centros de investigación dentro de los acuerdos firmados, durante 4 meses (de septiembre a diciembre), donde realizarán su proyecto de prácticas a tiempo parcial. Las prácticas serán programadas por las Universidades de antemano, para proporcionar una experiencia de trabajo real, valiosas para la colocación futura del egresado. Se organiza un "Día Orientado a la Práctica" con la participación de representantes de las instituciones anfitrionas, tutores y Coordinadores de Consortios, al inicio del tercer semestre en Caen (Francia), para presentar los programas de prácticas, compartir el debate con los alumnos sobre los temas de trabajo, objetivos y métodos y consolidar la red del Consortio. La evaluación de este módulo es común, con una defensa pública ante un comité compuesto por al menos 4 representantes académicos de las universidades del Consortio. Esta evaluación común es una característica adicional de articulación de nuestro programa.

Módulo 5 (Trabajo Fin de Máster): Incluye los pasos iniciales para escribir un breve resumen sobre el tema del Trabajo de Fin de Master, que debe ser aprobado por el Comité Académico y la realización de un trabajo de investigación en Física Nuclear Teórica, Experimental o Aplicada bajo la dirección de uno o más tutores de una o más universidades y/o centros asociados. Se fomentará la realización de trabajos donde haya tutores coordinados de dos universidades asociadas, o de una universidad y una institución

Máster Universitario Erasmus Mundus en Física Nuclear
(USE - UAM - UCM - UB - UCBN - SDP - SCAT)

asociada). Este módulo incluye la redacción del Trabajo de Fin de Máster y la defensa pública de los resultados obtenidos. Esta defensa se realizará en la universidad de matriculación siguiendo sus normas generales (formatos, reglamentos, plazos y composición del Comité de Defensa). El presente proyecto recomienda incluir en este comité a académicos de otras universidades del Consorcio, expertos de las instituciones asociadas y/u otros expertos externos). En caso de suspenso, se le dará una oportunidad adicional en la universidad donde se haya matriculado en el S4, siguiendo las reglas locales para la defensa de la Trabajo de Fin de Máster. En este caso, se recomienda la inclusión en el "Comité de Defensa" de un miembro externo de otra institución interna (Consortio) y externa (Miembros Asociados).

(*) La asignatura Astrofísica Nuclear está en los tres itinerarios aunque con enfoques ligeramente distintos. Por ello, es como si hubiera tres subgrupos de esa asignatura: uno en Padova para los alumnos del itinerario 1, otro en España para los alumnos del itinerario 2 y otro en Catania para los alumnos del itinerario 3.

(**) **Existen tres itinerarios de especialización:**

- **Itinerario 1: Experimentos y grandes aceleradores.** Los estudiantes de este itinerario comenzarán en la Universidad de Sevilla para cursar el primer semestre S1. El S2 lo cursarán en la Universidad de Padova (Italia), luego irán a Francia (Universidad de Caen) en el segundo año durante un cuatrimestre (S3) y finalmente podrán escoger cualquier universidad del Consorcio para el TFM en el S4.
- **Itinerario 2: Física nuclear teórica.** Los estudiantes que sigan esta ruta comenzarán en España y permanecerá durante el primer año (S1 en la Universidad de Sevilla y S2 en las otras universidades españolas), luego irán a Francia (Universidad de Caen) en el segundo año durante un semestre (S3) y finalmente irán a Italia (Universidad de Padova o Universidad de Catania) para el TFM en el último semestre (S4).
- **Itinerario 3: Aplicaciones y pequeños aceleradores.** Los estudiantes de este itinerario comenzarán en la Universidad de Sevilla para cursar el primer semestre S1. El S2 lo cursarán en la Universidad de Catania (Italia), luego irán a Francia (Universidad de Caen) en el segundo año durante un semestre (S3) y finalmente podrán escoger cualquier universidad del Consorcio para el TFM en el S4.

El esquema de movilidad dependerá del itinerario seleccionado de acuerdo a la siguiente figura:

	S 1	S 2	S 3	S 4
PATH 1 (EXP)	US / UCM 24 ECTS / 6 ECTS	University of Padova 30 ECTS	University of Caen 30 ECTS TALENT Internship	ALL
PATH 2 (THEO)		US / UAM / UB 18 ECT / 6 ECT / 6ECT		Univ. Catania / Univ. Padova
PATH 3 (APP)		University of Catania 30 ECTS		ALL

Máster Universitario Erasmus Mundus en Física Nuclear
(USE - UAM - UCM - UB - UCBN - SDP - SCAT)

La distribución general de ECTS del Máster se presenta en la tabla siguiente, con el número de créditos asociados a cada módulo según la trayectoria de movilidad y especialización:

Itinerario 1 - EXP: Grandes Aceleradores (~ 1/3 de los estudiantes) Itinerario 2 - TEO: Física Nuclear Teórica (~ 1/3 de los estudiantes) Itinerario 3 - APL: Pequeños Aceleradores (~ 1/3 de los estudiantes)

	MOD1	MOD2			MOD3	MOD4	MOD5
		EXP	THEO	APP			
PATH 1	30	36	6	0	6	12	30
PATH 2	30	0	42	0	6	12	30
PATH 3	30	0	6	36	6	12	30
Total	30	42			6	12	30

En la siguiente tabla se enumeran las asignaturas propuestas en cada semestre. En cuanto al S3, sólo hay que escoger 12 ECTS, en asignaturas regulares ya que otros 12 ECTS corresponden a las prácticas (Módulo 4) y 6 ECTS son asignados a un curso común que es obligatorio para todos los estudiantes (Módulo 3). El S4 se dedica a la preparación del TFM en una universidad, centro de investigación o empresa asociada (Módulo 5):

Los cursos enumerados a continuación deben entenderse para la primera edición del Máster. Algunos cursos de las rutas específicas podrán ser reemplazados en futuras ediciones por otros cursos bajo la aprobación del Comité Académico del Consorcio:

PATH 1: Experiments, instrumentation and large accelerators (approx. 1/3 of the students)

S1: Spain	Computing and Numerical Methods (US) (6)	Quantum Mechanics (US) (6)	Basic Experimental Nuclear Physics (US)(6)	Nuclear Structure: properties and models (UCM) (6)	Atomic & Plasma Physics (US) (6)
S2: Padova (Italy)	Radioactivity and Nuclear Measurements (6)	Nuclear Astrophysics (6)	Advanced Physics Laboratory (6)	Advanced Topics in Physics (6)	SubNuclear Physics (6) / Introduction to Radiation Detectors (6) / Astroparticle Physics (6)
S3: Caen (France)	Research Internship (12)		Common Advanced Course (6)	Metrology and Data Analysis (6)	Exp.Nucl.Phys.+Accelerators (6)
S4: Spain, France	Master thesis on experimental nuclear physics, instrumentation in large accelerators (30)				

Máster Universitario Erasmus Mundus en Física Nuclear
(USE - UAM - UCM - UB - UCBN - SDP - SCAT)

PATH 2: Theoretical nuclear physics (approx. 1/3 of the students)

S1: Spain	Computing and Numerical Methods (US) (6)	Quantum Mechanics (US) (6)	Basic Experimental Nuclear Physics (US) (6)	Nuclear Structure: properties and models (UCM) (6)	Atomic & Plasma Physics (US) (6)
S2: Spain	Nuclear Reactions (US) (6)	Relativistic Quantum Mechanics (US) (6)	Hadronic Physics (UB) (6) or Nuclear Astrophysics (UB) (6)	Weak Interactions (US) (6)	Many-Body Theories in Nuclear Physics (UAM) (6)
S3: Caen (France)	Research Internship (12)		Common Advanced course (6)	Theoretical nuclear, atomic and collision physics (12)	
S4: Italy	Master thesis on theoretical nuclear physics (30)				

PATH 3: Applications and small accelerators (approx. 1/3 of the students)

S1: Spain	Computing and Numerical Methods (US) (6)	Quantum Mechanics (US) (6)	Basic Experimental Nuclear Physics (US) (6)	Nuclear Structure: properties and models (UCM) (6)	Atomic & Plasma Physics (US) (6)
S2: Catania (Italy)	Nuclear Reaction Theory (6)	Accelerator Physics and applications (6) / Data analysis technique for nuclear and particle physics (6)	Medical Physics (6) / Archaeometry (6)	Advanced Nuclear Techniques applied to Medicine (6) / Environmental Radioactivity (6)	Nuclear Astrophysics (6)
S3: Caen (France)	Research Internship (12)		Common Advanced course (6)	Applications for therapy (12)	
S4: Spain, France or Italy	Master thesis on applications and small accelerators (30)				

Todos los cursos se impartirán en inglés y los estudiantes recibirán el material académico apropiado en inglés.

Es importante tener en cuenta que, además de las universidades participantes, los laboratorios y empresas asociados pueden ser los anfitriones de las prácticas curriculares y el desarrollo TFM. En particular, los siguientes centros de investigación asociados podrían supervisar los TFM de los estudiantes en colaboración con la universidad donde el estudiante esté matriculado: CERN (Ginebra, Suiza), the National Laboratory at Legnaro (Padova, Italia), National Laboratory del Sud (Catania, Italia), National Accelerator at GANIL (Caen, Francia), GSI Accelerators (Darmstadt, Alemania), National Centre Accelerator (Sevilla, España), Accelerator Centre at Madrid (Madrid, España), CSIC (IEM, Madrid and IFIC, Valencia), CIEMAT (Madrid, España), INFN-LNF Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (Frascati, Italia), TRIUMF (Canada), MPI Munchen (Alemania), TANDAR (Argentina), UNAM (México), RIBRAS (Brasil), RNCP (Osaka, Japon), ELINP (Rumania), CNESTEN (Marruecos), iThemba Labs. (Sudáfrica), etc. Esta lista podrá ampliarse a medida que otras instituciones formen parte del consorcio como miembros asociados.



**Máster Universitario Erasmus Mundus en Física Nuclear
(USE - UAM - UCM - UB - UCBN - SDP - SCAT)**

Finalmente, cabe señalar que se programarán reuniones del Comité Académico, Comité de Calidad, curso común, etc. para identificar de manera crítica y constructiva el contenido y la coherencia del programa de estudio, los resultados del aprendizaje o cualquier otro aspecto de NucPhys que se puede mejorar.