Facultad de Ciencias
Universidad Zaragoza

Solicitud informe favorable 7 de septiembre de 2018

Estimados compañeros:

Desde el Departamento de Física Teórica de la Facultad de Ciencias (DFTUZ), junto con el Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA) y el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC), se ha estado trabajando en la elaboración de una memoria (adjunta) para la Convocatoria de Másteres de Referencia de la Universidad de Zaragoza.

Creemos que la formación ofertada por nuestra propuesta "Máster en Física del Universo: Cosmología, Astrofísica, Partículas y Astropartículas" se enmarca en un ámbito privilegiado de investigación singular y excelente y en el que Aragón destaca en el contexto nacional e internacional: el DFTUZ, el LSC y el CEFCA cuentan con investigadores y tecnólogos líderes en las líneas de estudio del Título. Los proyectos, nacionales e internacionales, premios y distinciones, son una muestra del nivel de excelencia de los grupos. Se oferta, por lo tanto, un conocimiento de gran calidad, propio y diferenciado de otros títulos a nivel nacional e internacional, atractivo dentro de nuestra universidad y que, con una buena estrategia de difusión, será capaz de atraer estudiantes externos y convertir a la UZ (y a la Facultad de Ciencias) en centro de referencia para la formación en Física de Altas Energías, Cosmología, Astronomía, Astrofísica y Astropartículas. La propuesta está apoyada por los Grupos de Investigación reconocidos por el Gobierno de Aragón "FÍSICA NUCLEAR Y DE ASTROPARTÍCULAS" (E27-17R) y "GRUPO TEÓRICO DE FÍSICA DE ALTAS ENERGÍAS" (E21-17R) de la Universidad de Zaragoza, y el Grupo "ASTROFÍSICA CON GRANDES CARTOGRAFIADOS" (E16-17R) del Centro de Física del Cosmos de Aragón.

Pasamos a resumir algunos puntos de la memoria propuesta para el "Máster en Física del Universo: Cosmología, Astrofísica, Partículas y Astropartículas".

Transversalidad y formación multidisciplinar

El plan de estudios está dirigido a estudiantes que hayan acabado grados de Física, Matemáticas o Ingenierías y aúna conocimientos teóricos, experimentales e instrumentales, necesarios para la formación de científicos, con una carrera profesional orientada hacia la investigación, y también de tecnólogos que pudieran trabajar en instalaciones como laboratorios de física de partículas, departamentos de instrumentación o centros de astrofísica.

En el título se ofrece la posibilidad de entrelazar estudios en Física de Partículas, Cosmología, Astrofísica, Astronomía y Astropartículas en su vertiente teórica y experimental, con acceso a dos ICTS complementarias como son el LSC y Observatorio Astrofísico de Javalambre (OAJ), y a charlas y talleres impartidos en el DFTUZ y en el Centro de Ciencias de Benasque Pedro Pascual (CCBPP).

Internacionalización de la oferta formativa

Uno de los puntos de la memoria solicita que se estudie la internacionalización de la oferta formativa. El Máster propone unos estudios distintivos, únicos a nivel internacional, formación a cargo de expertos, prácticas y estancias en centros internacionales, bilingüismo y semipresencialidad. Estos factores lo convierten en una oferta atractiva a nivel internacional. Se emprenderán acciones de captación de estudiantes internacionales a través de diferentes acuerdos y programas, junto con una difusión activa por parte de nuestros profesores e investigadores.

Por otra parte, entre los proponentes contamos con profesores e investigadores con experiencia docente en centros internacionales, y una serie de estrategias y una planificación de las actividades docentes nos permitirán beneficiarnos de la colaboración de prestigiosos investigadores que visiten nuestros centros o que colaboren a distancia.

Finalmente, las estancias de investigación ofrecen otra oportunidad para el intercambio internacional. Se ha contactado ya con centros como IRFU (Francia), CERN (Suiza), SISSA (Italia), Centro Atómico de Bariloche y laboratorio subterráneo de los Andes (Argentina) o el laboratorio subterráneo CJPL y U. Shangai (China), que han confirmado su disponibilidad para la realización de estancias de nuestros estudiantes.

Además, el Máster está apoyado por Centros con una gran proyección internacional y donde son posibles estancias de investigación. Cuentan con investigadores y estudiantes extranjeros y el intercambio de ideas entre personas de diferentes nacionalidades sucede de forma habitual.

Plan de estudios de 90 ECTS

En la Convocatoria de Másteres de Referencia de la Universidad de Zaragoza se exigen 90 ECTS en el plan de estudios con el fin de facilitar su reconocimiento internacional y la movilidad de los estudiantes.

Los 90 ECTS del Plan de estudios se han distribuido en 60 ECTS correspondientes a asignaturas (12 ECTS obligatorios y 48 optativos), 12 ECTS a prácticas externas y 18 ECTS dedicados al Trabajo Fin de Máster. Los 60 ECTS correspondientes a asignaturas se impartirán de septiembre a junio, distribuyéndose en dos cuatrimestres. Los meses de junio a diciembre se liberan de clases para poder realizar a tiempo completo estancias en prácticas y el TFM.

El programa de estancias en prácticas externas es una de las fortalezas del Máster y su importancia se recoge en la propia estructura del título: a) asignando 12 ECTs obligatorios a prácticas externas, y b) adaptando la distribución temporal de las asignaturas. Los 12 ECTs de prácticas externas obligatorias (unas 300 horas, 8 semanas a tiempo completo) junto con los 18 ECTS del TFM (unas 12 semanas a tiempo completo) implican más de 5 meses de inmersión en un entorno real de trabajo en el que se inicia de forma efectiva la carrera profesional como tecnólogo o investigador.

Interacción docencia-investigación y profesorado experto disponible

Otro de los puntos que se solicitan en la memoria es hablar de los recursos humanos y materiales disponibles.

Si bien la mayor parte de la carga docente recaerá en las áreas de Física Atómica, Molecular y Nuclear (~35%), en la de Física Teórica del DFTUZ (~35%), y en el CEFCA (~20%), profesores e investigadores de diferentes áreas de conocimiento de la Universidad de Zaragoza y del LSC han mostrado su disponibilidad para participar en la docencia. Se trata de un profesorado de una gran excelencia tanto a nivel docente como investigador en los temas del Máster. La docencia, dirección y tutorización de prácticas o TFMs, y la interacción entre todos pueden ser muy interesantes también desde el punto de vista de desarrollo de la investigación, que se beneficiará de la transversalidad.

Número de estudiantes previstos y oportunidades que ofrece el máster para su futura carrera profesional

Las previsiones son complicadas, puesto que es una propuesta novedosa en el panorama de estudios nacional e incluso internacional. Datos de los graduados en Física en Unizar, con un 40% de los estudiantes de último año realizando Trabajos Fin de Grado en el Departamento de Física Teórica, dan una base de unos 15 estudiantes interesados en esta propuesta de Máster.

Con una buena difusión, el número de estudiantes interesados puede aumentar considerablemente por su carácter semipresencial y por su fuerte vocación internacional.

Como se ha comentado antes, los conocimientos teóricos, experimentales e instrumentales que ofrece el máster posibilitan entrar en un programa de doctorado y continuar una carrera profesional hacia la investigación; pero también trabajar como tecnólogos en instalaciones como laboratorios de física de partículas, departamentos de instrumentación o centros de astrofísica, etc.

Cómo se relaciona con másteres similares de otras universidades

En el contexto académico nacional e internacional existen (6 ó 7 en España) estudios de máster que ofrecen créditos en asignaturas de Física de Partículas, Cosmología, Astrofísica y Astronomía, con orientación experimental o teórica. Sin embargo, no existe un máster donde de forma específica se estudie una especialización en Astropartículas (materia oscura, multimensajeros, neutrinos…) dentro del entorno de un laboratorio subterráneo, ni másteres en los que haya la posibilidad de entrelazar estudios en Física de Partículas, Cosmología, Astrofísica, Astronomía y Astropartículas en su vertiente teórica y experimental, con acceso a dos ICTS complementarias.

Así, se han recibido apoyos explícitos, en cuanto a la necesidad de estos estudios, desde grupos de investigación que trabajan en centros como el Institut de Recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (IRFU) en Francia, SISSA y GSSI en Italia, la Universidad de Shangai Jiao Tong (China) y el China Jinping Underground Laboratory (CJPL), el Centro Atómico de Bariloche (Argentina) y el Laboratorio Subterráneo de los Andes.

Posible impacto en la oferta de másteres y formación posgrado de la Facultad

Creemos que el máster propuesto amplía la oferta de másteres de la Facultad en un momento en el que los estudiantes buscan másteres diferenciados de sus estudios de grado y que podrá ser muy interesante para atraer estudiantes a nuestra Facultad:

- No existe una oferta igual en el panorama nacional o internacional, como se ha comentado.
- Existe un interés de estudiantes más técnicos (ingenieros) en temas técnicos, y también científicos, impartidos en el máster.
- La semipresencialidad permite el seguimiento de los estudios a personas que trabajen (profesorado de secundaria entre otros) o que vivan en regiones o países diferentes.

Sin embargo, la aparición de un nuevo máster, dirigido fundamentalmente a estudiantes con el grado de física, podría tener un cierto impacto sobre el actual Máster en Físicas y Tecnologías Físicas. Ha sido uno de nuestros principales puntos de inquietud y, por ello, hemos reflexionado sobre algunas cuestiones:

- El número de estudiantes que realiza un TFM en los temas del máster propuesto ha sido de 1 ó 2 en los últimos años. Por lo tanto, no son estudiantes interesados en temas de

Asrtropartículas, Cosmología o Astrofísica los que actualmente se matriculan en el master de la sección.

- En el plan de estudios de nuestra propuesta aparecen asignaturas que ya se están impartiendo en el Máster en Físicas y Tecnologías Físicas. Con acuerdos posteriores, estas asignaturas podrían formar parte de la oferta formativa de ambos másteres para aquellos estudiantes que, deseando una formación general en Física y Tecnologías Físicas, quieran completarla con física de partículas, cosmología, astropartículas o detectores, por ejemplo.
- Por último, somos conscientes de que el Máster en Físicas y Tecnologías Físicas necesita una revisión para hacerlo más atractivo. Tenemos pocos estudiantes (entre 6 y 12 los últimos años), no retenemos a estudiantes de la Facultad y tampoco captamos a estudiantes externos. La nueva normativa aprobada (acuerdo de 27 de junio de 2018, del Consejo de Gobierno de la Universidad de Zaragoza, por el que se aprueba el Reglamento de oferta, modificación y supresión de másteres universitarios de la Universidad de Zaragoza), que permite una cierta modularidad o elegir entre un 10% y un 20% créditos en otros másteres, podría ayudar a redefinir un máster de sección como el actual, con convenios con nuestra propuesta de máster y también con otros como el Máster Universitario en Materiales Nanoestructurados para Aplicaciones Nanotecnológicas, el Máster Universitario en Modelización e Investigación Matemática, Estadística y Computación o los ofertados por la EINA.

<u>Necesidades especiales que se requieran, si es el caso, por parte de la Facultad</u>

No se requieren en este momento recursos a la Facultad diferentes a los que se están usando. El DFTUZ cuenta dentro de la Facultad de Ciencias con recursos físicos para poder desarrollar actividades de docencia e investigación: aulas, laboratorios de investigación y el laboratorio de bajas actividades (LABAC). Tanto el LSC como el CEFCA han puesto sus recursos a disposición del Máster.

Así, por todo lo expuesto anteriormente, solicito, en nombre del grupo de trabajo que ha elaborado la memoria para la propuesta del master de referencia, “Máster en Física del Universo: Cosmología, Astrofísica, Partículas y Astropartículas”, el informe favorable de la Facultad de Ciencias como centro proponente.

Un saludo,

Gloria Luzón

Propuesta de **máster**
de referencia

# Máster en Física del Universo: Cosmología, Astrofísica, Partículas y Astropartículas

# *Interés social, académico y científico*

**Número de estudiantes previsto**

El máster está dirigido a aquellos graduados o licenciados que quieran especializarse en el estudio de la Cosmología, Astrofísica, Astronomía, Astropartículas y Física de Partículas, tanto en una orientación teórica-fenomenológica como experimental o tecnológica. Son temas que suscitan un gran interés entre las estudiantes de física, matemáticas e ingeniería.

Las previsiones son complicadas, puesto que es una propuesta novedosa en el panorama de estudios nacional e incluso internacional. Datos de los graduados en Física en Unizar, con un 40% de los estudiantes de último año realizando Trabajos Fin de Grado en el Departamento de Física Teórica, dan una base de unos 15 estudiantes interesados en esta propuesta de Máster.

Con una buena difusión, el número de estudiantes interesados puede aumentar considerablemente:

a) La propuesta tiene un carácter semipresencial con la utilización de los recursos telemáticos necesarios para posibilitar que los alumnos sigan las clases teóricas y prácticas, tengan tutorías o realicen actividades de evaluación desde su residencia, muy interesante para personas que se encuentren trabajando o para estudiantes que prefieran seguir el programa sin desplazarse a Zaragoza, o estudiantes extranjeros que no dispongan de financiación para estancias prolongadas en nuestro país.

b) Además, la propuesta tiene una fuerte vocación internacional, con docencia bilingüe en inglés y en castellano, con el fin de abrir las fronteras a estudiantes de la UZ, facilitando intercambios y estancias en prácticas, y también de atraer estudiantes internacionales.

**Interés social, académico y científico**

El siglo XX fue el siglo de la Física de partículas y el descubrimiento del Bosón de Higgs en 2012 supuso su culmen, completando el modelo Estándar de partículas fundamentales y sus interacciones. La comprensión en profundidad de esta teoría, así como de las numerosas pistas de una física más allá de este Modelo (materia oscura, energía oscura, oscilaciones de neutrinos) son los retos del siglo XXI. Entre los dos siglos se encuentra el nacimiento y desarrollo de la Física de Astropartículas, que busca respuesta a estas preguntas en la intersección de la Física de Partículas, la Cosmología y la Astrofísica. 2017 ha supuesto un hito en la Física de Astropartículas, al obtenerse la primera detección conjunta de ondas gravitacionales y rayos gamma, dos “mensajeros” provenientes del mismo suceso astrofísico, augurando un brillante futuro para el desarrollo de la llamada “astrofísica multimensajera”.

El progreso en estas disciplinas ha acrecentado sus profundas interconexiones y sugiere la sinergia entre especialistas y el estímulo de perfiles investigadores transversales que permitan abordar los retos mencionados. Aragón cuenta con investigadores líderes, grupos científicos de excelencia e instalaciones singulares en el campo de la Cosmología, Astrofísica, Astronomía, Astropartículas y Física de Partículas, conocidos internacionalmente. En la UZ se ha propuesto la creación del Centro de Astropartículas y Física de Altas Energías (CAPA) como marco común para este tipo de investigación y formación especializada. Este futuro Centro y otros centros e instituciones asentados en Aragón, como el Centro de Ciencias de Benasque Pedro Pascual (CCBPP), el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC), y el Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA), conformarán un particular mapa con el potencial de consolidar Aragón como referente internacional de este dominio de la física. En este entorno se encuadra la propuesta del Máster.

El Departamento de Física Teórica cuenta con una larga y reconocida trayectoria en líneas de investigación como detección directa de materia oscura, modelización de materia oscura en galaxias, física de axiones (teoría y detección), física de neutrinos (desintegración doble beta), radiactividad y técnicas de bajo fondo, desarrollo de nuevos detectores de partículas, teorías gauge en el retículo, aplicaciones de la teoría de campos en información cuántica y materiales topológicos, fenomenología del Modelo Estándar de Física de Partículas y nueva física más allá del Modelo Estándar, o teoría y fenomenología de gravedad cuántica.

En el Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA) se trabaja en temas centrados en Cosmología y Evolución de Galaxias, con un fuerte liderazgo y participación en los proyectos J-PLUS y J-PAS, llevados cabo en el Observatorio Astronómico de Javalambre (OAJ) , infraestructura científica y técnica singular (ICTS). Sus investigadores participarán en actividades de formación y el centro será clave para la realización de prácticas, estancias de investigación y la dirección de trabajos fin de máster.

Un tercer pilar es otra ICTS: el Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC), Su programa científico se basa fundamentalmente en la física de astropartículas, la búsqueda de la materia oscura del Universo y la física de neutrinos, aunque también aborda la geodinámica, la biología y las ciencias medioambientales, y desarrolla un programa de caracterización radiológica ambiental del propio laboratorio. El centro participará de forma activa en formación práctica, estancias de investigación y trabajos fin de máster.

Finalmente, existirá una estrecha relación con el Centro de Ciencias de Benasque Pedro Pascual, instalación del sistema científico español dedicada a la organización de encuentros científicos internacionales de alto nivel en Benasque. El CCBPP puede impartir actividades de formación (dentro del Taller de Altas Energías, por ejemplo) o servir como centro de estancias científicas.

**Adecuación de la enseñanza propuesta al contexto académico español e internacional**

En el contexto académico nacional existen 6 o 7 títulos de máster que ofrecen créditos en asignaturas de Física de Partículas, Cosmología, Astrofísica y Astronomía, con orientación experimental o teórica. Sin embargo, no existe un máster donde de forma específica se estudie una especialización en Astropartículas (materia oscura, multimensajeros, neutrinos …) dentro del entorno de un laboratorio

subterráneo, ni másteres en los que haya la posibilidad de entrelazar estudios en Física de Partículas, Cosmología, Astrofísica, Astronomía y Astropartículas en su vertiente teórica y experimental, con acceso a dos ICTS complementarias.

Tampoco en el contexto internacional se puede encontrar estudios de máster con esta orientación; generalmente, se trata de asignaturas dentro de másteres de Física de Partículas, Física Teórica o Astronomía. Así, se han recibido apoyos explícitos desde grupos de investigación que trabajan en centros como el Institut de Recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (IRFU) en Francia, SISSA y GSSI en Italia, la Universidad de Shangai Jiao Tong (China) y el China Jinping Underground Laboratory (CJPL), el Centro Atómico de Bariloche (Argentina) y el Laboratorio Subterráneo de los Andes.

El Máster reúne todo el conocimiento y experiencia existente en este campo de investigación dentro de la comunidad autónoma de Aragón, entretejiendo una red entre tres centros singulares, únicos en el panorama nacional e internacional, y la Universidad de Zaragoza. Este desarrollo científico beneficiará tanto a estudiantes como a investigadores, fortaleciendo las colaboraciones. Aragón podría consolidarse como un polo científico en Cosmología, Astrofísica, Astropartículas y Física de Partículas.

# *Recursos humanos y materiales*

**Recursos humanos**

Un total de 60 profesores e investigadores de diferentes áreas de conocimiento de la Universidad de Zaragoza, del Laboratorio Subterráneo de Canfranc y del Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón han mostrado su disponibilidad para participar en la docencia. Se trata de un profesorado de una gran excelencia tanto a nivel docente como investigador.

En el plano docente, estos profesores cuentan con años de experiencia en las modalidades de grado, máster y estudios de doctorado, siendo responsables de numerosas asignaturas impartidas en la Facultad de Ciencias, así como de la dirección de trabajos fin de grado, trabajos fin de máster y tesis doctorales. En una apuesta por la por la calidad, los profesores de la UZ implicados en este proyecto participan en Comisiones de Evaluación de la Calidad y de Garantía de la Calidad de diferentes títulos de la Facultad. Los estudiantes tienen, en general, una valoración muy positiva del colectivo de docentes.

Existe, además, una gran preocupación por la docencia y la innovación docente, por lo que se han realizado actividades de formación docente, y coordinado y participado en proyectos de innovación docente, lo que se ha reflejado en publicaciones docentes y presentaciones a congresos. La divulgación de los resultados de investigación también ha ocupado parte del tiempo de estos docentes en actividades propuestas por la Facultad de Ciencias como la "Semana de Inmersión" o las "Jornadas de puertas abiertas", en "La noche de los Investigadores", o en actividades específicas como la organización de seminarios, la actividad de "Hands on Particle Physics" o "el Día de la Materia Oscura" (actividad conjunta de UZ, LSC y CEFCA), o el Centro de Difusión y Práctica de la Astronomía dependiente del CEFCA, Galáctica, que próximamente abrirá sus puertas al público general.

El nivel de excelencia investigadora tiene su reflejo en los más de 700 artículos publicados en revistas de alto impacto en los 10 últimos años, con un índice h en torno a 65. Los investigadores implicados en el Máster han participado y organizado conferencias científicas en su ámbito de investigación, participado en comités y paneles de agencias de investigación, participado (liderando en algunos casos) en proyectos y redes de investigación tanto a nivel nacional como internacional, recibido premios y distinciones y realizado actividades de transferencia y divulgación de resultados de investigación.

La plantilla de profesores prevista para la titulación está formada por personal docente e investigador de las diversas categorías:

~20 PDI funcionario, en un número similar de profesores Titular de Universidad y profesores Catedrático de Universidad. El número total de sexenios concedidos de estos profesores supera el número total de sexenios teóricos posible. El número de tramos docentes en promedio es mayor de 7 para catedráticos y mayor de 5 para titulares.

~10 PDI no funcionario, siendo en su mayoría profesores Contratado Doctor, figura a la que han accedido tras contratos Ramón y Cajal; todos ellos con un excelente currículo investigador y una amplia experiencia docente.

~10 Investigadores Científicos, personal de UZ, ARAID, del LSC y del CEFCA.

>15 personal técnico (UZ, LSC, CEFCA) doctores e ingenieros.

~10 Personal Investigador en formación que podrían colaborar en la docencia en el Máster.

Dentro de la Comunidad Autónoma de Aragón se impulsarán convenios con otros institutos de Investigación como el IUI de Ingeniería de Aragón (I3A), el IUI en Biocomputación y Física de Sistemas Complejos (BiFi), el Instituto de Ciencia de los Materiales de Aragón (ICMA), o el Instituto Universitario de investigación en Matemáticas y Aplicaciones (IUMA) para la colaboración docente, estancias en prácticas o dirección de Trabajos Fin de Máster.

Con la misma finalidad de colaboración docente, estancias en prácticas o dirección del Trabajo Fin de Máster, se ha contactado a nivel nacional con instituciones como el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), el Instituto de Astrofísica de Canarias y el Instituto de Astrofísica de Andalucía. En el ámbito internacional, el Máster contará con la colaboración del IRFU en Francia, del CERN en Suiza, del Max Planck en Alemania, y de los centros GSSI y SISSA en Italia.

**Recursos materiales**

El Departamento de Física Teórica cuenta dentro de la Facultad de Ciencias con recursos físicos para poder desarrollar actividades de docencia e investigación: aulas, laboratorios de investigación y el laboratorio de bajas actividades (LABAC). Tanto el LSC como el CEFCA han puesto sus recursos a disposición del Máster.

**Propuesta de gastos**

El coste del profesorado ajeno a la Universidad de Zaragoza se intentará reducir al máximo, utilizando recursos de semipresencialidad, priorizando desplazamientos desde o hasta el LSC o el CEFCA cuando sea necesario, o solicitando la colaboración de profesores invitados con recursos de investigación. Los gastos pueden ser parcialmente cubiertos por los grupos de investigación.

# *Estructura básica del plan de estudios propuesto y metodología docente*

La formación ofertada por el título de Máster se enmarca en un ámbito privilegiado de investigación singular y excelente y en el que Aragón destaca en el contexto nacional e internacional: el Departamento de Física Teórica de la UZ, el Laboratorio Subterráneo de Canfranc y el Centro de Física del Cosmos de Aragón cuentan con investigadores y tecnólogos líderes en las líneas de estudio del Título. Los proyectos, nacionales e internacionales, premios y distinciones, son una muestra del nivel de excelencia de los grupos. Se oferta, por lo tanto, un conocimiento de gran calidad, propio y diferenciado de otros títulos a nivel nacional e internacional, atractivo dentro de nuestra universidad y que, con una buena estrategia de difusión, será capaz de atraer estudiantes externos y convertir a la UZ en centro de referencia para la formación en Física de Altas Energías, Cosmología, Astronomía, Astrofísica y Astropartículas.

**Estructura básica del plan de estudios**

El plan de estudios aúna conocimientos teóricos, experimentales e instrumentales, necesarios para la formación de científicos y tecnólogos en campos como la Física de Altas Energías, la Cosmología, la Astronomía, la Astrofísica y la Física de Astropartículas, así como los instrumentos necesarios para estas investigaciones. Se adapta no sólo a las preferencias de los estudiantes sino también a su experiencia y formación previa desde grados de Física, Matemáticas o Ingenierías. Consta de 90 ECTS distribuidos de la siguiente manera:

-12 ECTS obligatorios (2 asignaturas de 6 ECTS cada una)

-48 ECTS optativos (8 asignaturas de 6 ECTS cada una a elegir entre una oferta total de 16 asignaturas)

-12 ECTS de prácticas externas

-18 ECTS de Trabajo Fin de Máster

Las asignaturas obligatorias tienen como objetivo proporcionar al estudiante un conjunto de conocimientos y herramientas imprescindibles para acercarse al campo de investigación en las líneas propuestas por el Máster. Las asignaturas optativas permiten al estudiante introducirse en campos de investigación punteros en la actualidad de la mano de expertos de reconocido prestigio en áreas como gravitación, cosmología, materia y energía oscura, neutrinos, fenomenología del modelo estándar, formación y evolución de galaxias, física estelar, astrofísica observacional, instrumentación, etc.

**Asignaturas obligatorias:**

-Temas actuales en cosmología, astrofísica y física de partículas.

-Métodos matemáticos y computacionales en cosmología, astrofísica y física de partículas.

**Asignaturas optativas:**

-Cosmología I: el universo temprano.

-Cosmología II: formación de estructuras en el universo.

-Relatividad general y ondas gravitacionales.

-Astrofísica observacional.

-Astrofísica estelar.

-Astrofísica extragaláctica.

-Teoría cuántica de campos.

-Electrodinámica: interacción de radiación y materia.

-Teoría y fenomenología del Modelo Estándar de física de partículas.

-Física de partículas más allá del Modelo Estándar.

-Física de astropartículas I: rayos gamma, neutrinos y rayos cósmicos.

-Física de astropartículas II: el universo oscuro.

-Técnicas de bajo fondo radiactivo.

-Física e ingeniería de detectores de partículas.

-Instrumentación avanzada para experimentos de astronomía y física de partículas.

-Estadística para cosmología, astrofísica y física de partículas.

En un diseño definitivo, estas asignaturas podrán organizarse en módulos que podrían compartirse con otros títulos de Máster o para estudiantes que prefieran diseñar su itinerario de formación dentro de la oferta formativa de la UZ. Los 60 ECTs correspondientes a asignaturas se impartirán de septiembre a junio, distribuyéndose en dos cuatrimestres. Si bien el TFM podrá presentarse en cualquiera de las 3 convocatorias previstas por la UZ, los meses de junio a diciembre se liberan de clases para poder realizar a tiempo completo estancias en prácticas y el TFM.

El programa de estancias en prácticas externas es una de las fortalezas del Máster y su importancia se recoge en la propia estructura del título: a) asignando 12 ECTs obligatorios a

prácticas externas, y b) adaptando la distribución temporal de las asignaturas. Los 12 ECTs de prácticas externas obligatorias (unas 300 horas, 8 semanas a tiempo completo) junto con los 18 ECTs del TFM (unas 12 semanas a tiempo completo) implican más de 5 meses de inmersión en un entorno real de trabajo en el que se inicia de forma efectiva la carrera profesional como tecnólogo o investigador. El Trabajo Fin de Máster supone la realización de un trabajo de investigación personal, dirigido y tutorizado, pero donde el responsable es el estudiante. Debe ser capaz de enfrentarse a la resolución de un problema dentro de la línea de investigación elegida con cierta autonomía e independencia, dentro de un equipo de trabajo. El alumno inicia así su carrera profesional en la investigación científica y la tecnología, integrándose en un grupo de investigación existente.

Como proponentes del título, tanto la UZ (departamentos e institutos) como el LSC o el CEFCA, garantizan ya una amplia oferta de estancias para prácticas o tutorización del TFM, tanto para estudiantes con un perfil más teórico como para los que prefieren una vía más técnica o experimental. Además, se han iniciado contactos, y se tiene un compromiso, para la realización de estancias en centros como IRFU (Francia), CERN, CIEMAT, Instituto de Ciencias del Cosmos (ICCUB), la U. de Cartagena, o el recientemente fundado Instituto de Física Fundamental del Universo, IFPU (centro italiano resultado de la colaboración de SISSA, ICTP, INFN e INAF). Este tipo de formación es considerado fundamental, por lo que se continuará trabajando activamente para firmar acuerdos tanto con centros nacionales como internacionales. Para su éxito es importante contar con financiación, especialmente de ayudas para el desplazamiento de los estudiantes: para ello, se considerarán recursos de los propios grupos de investigación, ayudas al máster de la DGA, ayuda al máster de la UZ como máster de referencia, ayudas de los centros de investigación, convocatorias Erasmus+ prácticas, y otras.

**Metodología docente**

El proceso de enseñanza/aprendizaje en el título va a estar basado en metodologías activas, convirtiendo al estudiante en el responsable de su aprendizaje, siguiendo los dictados del Espacio Europeo de Educación Superior para la formación de profesionales. El estudiante va a poder elegir entre una modalidad presencial o semipresencial y adaptarla a sus necesidades en cada momento.

Será necesario, por lo tanto, el uso de recursos y metodologías didácticas específicas. Así, se van a ofrecer clases presenciales donde el profesor y los estudiantes trabajarán juntos los temas de cada materia, pero también se proporcionarán documentos impresos y medios audiovisuales para alumnos que sigan las clases a distancia. En ambos casos, las nuevas tecnologías permiten la creación de comunidades virtuales de aprendizaje. Para ello, cada asignatura dispondrá de un curso virtual en la plataforma Moodle donde los estudiantes podrán acceder a textos y guías de estudio, materiales audiovisuales (incluyendo, según disponibilidad, clases y seminarios), actividades interactivas (incluyendo prácticas virtuales), herramientas de evaluación, foros y chats.

Siguiendo modelos de otras universidades, parte de los contenidos podrían organizarse en formato MOOC (Massive Online Open Course), de acceso libre, con el fin de dar una mayor difusión al Título.

# *Internacionalización de la propuesta*

La propuesta tiene una gran vocación internacional, por lo que se plantea una impartición bilingüe (inglés/español), adaptándose al idioma de cada alumno. La mayor parte de los materiales proporcionados por los profesores en la plataforma digitales para el seguimiento de clases y trabajo personal estarán en inglés. El uso del inglés es imprescindible actualmente en estudios científicos-tecnológicos, ya que es la lengua franca de comunicación científica. Este idioma permite, además, el acceso a cualquier estudiante del Espacio Europeo de Educación Superior o de otros sistemas educativos.

**Acciones para la captación de estudiantes internacionales**

El Máster propone unos estudios distintivos, únicos a nivel internacional, formación a cargo de expertos, prácticas y estancias en centros internacionales, bilingüismo y semipresencialidad. Estos factores lo convierten en una oferta atractiva a nivel internacional.

Algunas opciones para la captación de estudiantes internacionales son:

-Difusión activa de los estudios por parte de profesores e investigadores de la UZ, el LSC y el CEFCA en reuniones y escuelas científicas, universidades y centros de investigación o colaboraciones científicas.

-Acuerdos Erasmus potenciando los existentes y explorando posibilidades a nivel europeo y extra comunitario.

-Ofrecer estancias Erasmus internship para estudiantes de grado o recién graduados en física, matemáticas o ingenierías. Tras su estancia, muchos muestran un gran interés por continuar sus estudios en nuestro país.

-Estudio de acuerdos Erasmus Mundus para la creación de másteres conjuntos con otras instituciones europeas.

-Solicitud de participación en programas de cooperación internacional, como “Mujeres por África” o cualquier otra convocatoria del Ministerio de Asuntos Exteriores.

-Programas de estancias de la fundación Banco Santander para países sudamericanos.

**Prácticas internacionales**

En el Máster se va a dar una gran importancia a las estancias de prácticas, así como a la realización de trabajos fin de máster en modalidad de estancia de investigación. Se ha contactado ya con centros como IRFU (Francia), CERN (Suiza), SISSA (Italia), Centro Atómico de Bariloche y laboratorio subterráneo de los Andes (Argentina) o el laboratorio subterráneo CJPL y U. Shangai (China), que han confirmado su disponibilidad para la realización de estancias de

nuestros estudiantes. Algunos de estos centros disponen de recursos propios para financiar la estancia de estudiantes.

Además, el Máster está apoyado por Centros e Instituciones con sede en Aragón, pero con una gran proyección internacional y donde son posibles estancias de investigación. El Laboratorio Subterráneo de Canfranc, el Centro de Física del Cosmos de Aragón, el Centro de Ciencias de Benasque Pedro Pascual o el Departamento de Física Teórica de la UZ son lugares que cuentan con investigadores y estudiantes extranjeros y donde el intercambio de ideas entre personas de diferentes nacionalidades sucede de forma habitual.

Finalmente, desde el Máster, profesores con experiencia asesorarán a los estudiantes en otra serie de programas internacionales, como:

-CERN: estancias técnicas de entre 4 y 18 meses, solicitud para programas de doctorado.

-Instituto Astrofísico de Canarias: programas de becas de verano, programas de doctorado.

-GSSI (Gran Sasso Science Institute): Posibilidad de enviar a nuestros estudiantes para la realización de estancias de investigación.

**Internacionalización del profesorado: profesorado internacional y con experiencia docente en centros internacionales**

En cuanto al profesorado participante en el Máster, varios profesores han impartido clases en programas de grado y doctorado en universidades extranjeras, y una gran parte ha participado en actividades formativas dentro de escuelas internacionales como el Taller de Altas Energías, que se imparte todos los años en Centro de Ciencias de Benasque, o la "International School on Astroparticle Physics - ISAPP". Además, se han coordinado y tutorizado acuerdos Erasmus para estancias de estudio y también se han recibido numerosos estudiantes extranjeros para estancias en prácticas en el programa Erasmus internship.

Si bien la impartición de clases presenciales por parte de profesorado extranjero está limitada por los recursos financieros, una serie de estrategias y una planificación de las actividades docentes nos permitirán contar con la colaboración de prestigiosos investigadores:

-Investigadores visitantes en el departamento de Física Teórica UZ, el LSC o el CEFCA.

-Actividades, escuelas y congresos en el Centro de Ciencias de Benasque Pedro Pascual.

-Videoconferencias con investigadores de otros centros.

-Material de charlas y conferencias grabado y organizado en actividades formativas para poder ser utilizado en las diferentes asignaturas del Máster.

Así, el Máster propuesto puede ayudar a incrementar las relaciones internacionales de la UZ y de los grupos de investigación involucrados.