

2.1 Justificación del título propuesto, argumentando el interés académico, científico y/o profesional

El programa de Máster en Física Teórica que aquí se propone se enmarca dentro del amplio campo científico denominado genéricamente de las Ciencias Experimentales, y está concebido como un programa de tipo único, es decir, con una única universidad implicada, en este caso la Universidad Autónoma de Madrid (UAM). La UAM es una Universidad de referencia en España como muestra la concesión por parte del Ministerio del **Campus de Excelencia Internacional UAM+CSIC** desde 2009. El Departamento responsable del Máster es el *Departamento de Física Teórica* y la institución universitaria participante es el *Instituto de Física Teórica (IFT) UAM/CSIC*, que es un instituto mixto de la UAM y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Tanto el Departamento como el Instituto son hoy en día referentes indiscutibles de excelencia, tanto a nivel nacional como internacional, en su labor formadora de estudiantes de máster y doctorado y en su labor investigadora en el campo de la Física Teórica. Como muestra de ello, mencionar que el Instituto de Física Teórica IFT, del cual forman parte tanto profesores del Departamento de Física Teórica de la UAM como investigadores del CSIC, ha recibido la acreditación de **Centro de Excelencia Severo Ochoa** en la convocatoria de 2012.

Por área de Física Teórica aquí se refiere a un conjunto amplio de disciplinas que están claramente relacionadas con los ámbitos de la Física de Partículas Elementales, la Cosmología y la Astrofísica, y tienen como base común el conocimiento de la naturaleza en su nivel más fundamental, tanto en lo referente a la estructura de la materia como en sus formas de interacción, así como en lo referente al conocimiento del origen, estructura y evolución del Universo. Entre otras disciplinas, ésta área incluye: Teoría Cuántica de Campos y Cuerdas, Física Teórica y Experimental de Partículas Elementales, Cosmología, Física Nuclear, Teoría de la Gravitación, Astrofísica, Física de Astropartículas, Física de la Materia Condensada, Física Computacional, Fundamentos de la Mecánica Cuántica y otras. Estas disciplinas y otras más especializadas son la base de las líneas de investigación en las que actualmente se desarrollan los trabajos de investigación de los profesores e investigadores participantes y son el elemento inspirador fundamental de éste programa.

El programa de Máster en Física Teórica que aquí se propone se enmarca en las líneas estratégicas del Plan 2011-2015 de la Facultad de Ciencias en lo que se refiere a la excelencia en investigación y docencia, proyección internacional y atracción de talento. Éste Máster tiene sus orígenes en el Programa de Doctorado en Física Teórica que se inició a principios de los años 70, una vez fundado el Departamento de Física Teórica de la UAM. Desde el año 1999, dicho Doctorado se comenzó a especializar fundamentalmente en Física de Partículas Elementales y Cosmología. La investigación y la docencia del actual Programa Oficial de Posgrado en Física Teórica han sido valoradas muy positivamente, como demuestran las concesiones de **Menciones de Calidad y la Mención hacia la Excelencia** por parte del Ministerio de Educación, así como por parte de la UAM mediante la concesión del **Programa de Posgrado de Excelencia Internacional** (desde 2011 y por cuatro cursos académicos) del Campus de Excelencia Internacional UAM+CSIC.

El programa que proponemos para el nuevo curso supone una renovación del Máster actual en Física Teórica para adaptarlo a los nuevos grados y para ampliar sus líneas



docentes e investigadoras, de forma que a la línea ya mencionada de Partículas Elementales y Cosmología se añada una nueva línea de Astrofísica y Física del Cosmos. En el contexto de los nuevos másteres, eso supone que el Máster en Física Teórica tendrá dos especialidades, una en Partículas Elementales y Cosmología y la segunda en Astrofísica y Física del Cosmos.

Algunos datos de relevancia relativos al Máster y Doctorado vigentes actualmente:

-Al Programa Oficial de Doctorado en Física Teórica, que obtuvo la verificación positiva en 2010 (BOE del 10 de Febrero de 2010), le ha sido otorgada la Mención de Calidad desde el primer curso académico 2003-2004 (referencias MCD2003-00221 y MCD2006-00374) y ha recibido la Mención Hacia la Excelencia por parte del Ministerio de Educación y Ciencia (BOE del 20 de Octubre de 2011, referencia MEE2011-0264) con una puntuación global ponderada de 95/100.

-Como referencia se incluyen a continuación los números de estudiantes matriculados en el Máster en Física Teórica durante los cursos académicos 2006-2007 a 2011-2012 así como los números de estudiantes extranjeros:

Curso académico 2006-2007: 17 matriculados (2extranjeros)
Curso académico 2007-2008: 24 matriculados (3extranjeros)
Curso académico 2008-2009: 24 matriculados (4extranjeros)
Curso académico 2009-2010: 24 matriculados (2extranjeros)
Curso académico 2010-2011: 26 matriculados (5extranjeros)
Curso académico 2011-2012: 21 matriculados (2extranjeros)

Estas cifras no recogen los estudiantes Erasmus que han cursado asignaturas del actual Máster. Por ejemplo, en el curso académico actual, 2012-2013, cuatro estudiantes Erasmus se han matriculado en asignaturas del Máster en Física Teórica.

-La financiación recientemente otorgada al Programa Oficial de Posgrado en Física Teórica dentro del Campus de Excelencia Internacional UAM+CSIC, 840.000 euros en cuatro años, se está invirtiendo en aumentar su internacionalización, proyección y atracción de talento mediante la concesión de becas para Máster, becas para doctorado, ayudas de movilidad tanto para estudiantes como para profesores, difusión en foros internacionales, así como en la potenciación de la colaboración con programas de posgrado internacionales mediante convenios. Parte de la financiación de la acreditación Severo Ochoa, 4.000.000 de euros en cuatro años, será también dedicada a estas tareas de potenciación en el área de Partículas Elementales y Cosmología.

Razones para abrir una nueva línea docente-investigadora en el Máster actual en Física Teórica.

Los profesores de Astrofísica del Departamento de Física Teórica de la UAM imparten actualmente docencia e investigación en el Programa de Postgrado Interuniversitario en Astrofísica UAM-UCM. Dicho Programa se extingue con este curso académico y de ahí surge la oportunidad de ampliar la focalización actual en Partículas Elementales y Cosmología del Máster en Física Teórica, a la línea de Astrofísica. La interconexión entre Partículas Elementales y Astrofísica vía la Cosmología (y la nueva área emergente de Física de Astropartículas) es hoy en día crucial y numerosas investigaciones y



experimentos no se pueden concebir sin la colaboración de expertos en estos campos. Por esta razón consideramos que la renovación del Máster del Departamento de Física Teórica de la UAM incluyendo la nueva línea de investigación, va a resultar en una oferta todavía más atractiva y potente para estudiantes nacionales e internacionales, manteniendo su calidad al nivel de las mejores universidades del mundo.

La calidad de la docencia y la investigación de los Profesores de Astrofísica del Departamento de Física Teórica de la UAM está sobradamente contrastada y su aportación al Máster en Física Teórica a través de la especialización en **Astrofísica y Física del Cosmos** va a ser un valor añadido. Algunos datos relevantes son los siguientes:

-El Programa Oficial de Doctorado en Astrofísica por la Universidad Autónoma de Madrid, inscrito en el Registro Unificado de Centros y Títulos con el número 5311664 (BOE 24/02/2011), tiene Mención hacia la Excelencia con referencia MEE2011-0131. Procede del Programa de Tercer Ciclo en Astrofísica y Cosmología, que tuvo Mención de Calidad desde la primera convocatoria de éstas (última renovación con referencia MCD2003-00196), el cual dió lugar al Programa Oficial de Posgrado Interuniversitario en Astrofísica UAM-UCM, que gozó asimismo de Mención de Calidad (referencia MCD2006-00353, renovación de la mención MCD2003-00196, BOE 12 octubre 2007). Esta mención de calidad fue renovada por años sucesivos.

-Se incluye a continuación, como referencia, los números de estudiantes matriculados en el Máster Oficial Interuniversitario en Astrofísica de Madrid UAM-UCM durante los años académicos comprendidos entre el 2006 y la actualidad:

Curso académico 2006-2007: 9 matriculados (ningún extranjero)
Curso académico 2007-2008: 20 matriculados (3 extranjeros)
Curso académico 2008-2009: 30 matriculados (4 extranjeros)
Curso académico 2009-2010: 30 matriculados (3 extranjeros)
Curso académico 2010-2011: 37 matriculados (3 extranjeros)
Curso académico 2011-2012: 40 matriculados (5 extranjeros)
Curso académico 2012-2013: 31 matriculados (3 extranjeros)

Mencionar por último la financiación obtenida del Campus de Excelencia Internacional UAM+CSIC para este curso académico por el Programa Oficial de Postgrado en Astrofísica que le ha servido para aumentar más si cabe su reconocimiento.

Exposición breve de los objetivos e indicadores de calidad del título

El Máster que aquí se propone tiene como objetivos principales la formación académica especializada en el área de la Física Teórica y la iniciación a la investigación. Este Máster da acceso a los estudios de doctorado. La formación adquirida en el Máster es equivalente a la de los Másteres europeos más exigentes y a la que se adquiere en los programas de posgrado de las más prestigiosas universidades norteamericanas. La formación que proporciona el máster permite adquirir competencias generales muy variadas que dan acceso a puestos de trabajo de muy diverso carácter bien en el ámbito docente, en el científico, en otros de carácter más tecnológico, en trabajos externos al mundo académico, e incluso en disciplinas bien diferentes como la economía, la informática aplicada, las tecnologías de la comunicación, etc.



Este Máster permitirá a sus egresados el posterior desarrollo profesional en este campo, sea:

- a) siguiendo una carrera investigadora mediante la realización previa de una tesis doctoral;
- b) trabajando en instituciones de investigación, observatorios astronómicos, etc.;
- c) realizando tareas docentes en el ámbito de la enseñanza secundaria;
- d) integrándose en empresas tecnológicas (por ejemplo, del ámbito de aceleradores, aeroespacial, etc.) y otras de acceso transversal (consultorías, comunicaciones, software de simulación, procesado de imágenes, etc.);
- e) realizando labores de divulgación de esta ciencia en diversos sectores (medios de comunicación, planetarios, museos, etc.).

La Física Teórica destaca por el carácter multidisciplinar de los conocimientos científicos y tecnológicos que involucra. Sus ámbitos son:

- Física
- Matemáticas
- Estadística
- Astronomía
- Astrofísica
- Cosmología
- Ciencias del Espacio
- Ingeniería
- Informática: software y hardware

Las capacidades y competencias generales que se adquieren al finalizar el Máster son muy diversas, dado el perfil tan versátil que proporciona su formación, destacamos:

- Desarrollo de un trabajo de investigación científica de forma independiente.
- Desarrollo y uso de nuevas tecnologías a nivel académico y empresarial.
- Desarrollo de instrumentación en física de partículas, astronómica (tanto desde tierra como desde el espacio), etc.
- Gestión en Física de Partículas, Cosmología y Astrofísica desde el punto de vista humano, científico y técnico.
- Difusión de los logros de la Física de Partículas, Cosmología y Astrofísica a la sociedad.

Evidencia de la demanda social y potencial

La demanda social sobre las investigaciones en el área que cubre el Máster en Física Teórica es muy notable, como lo demuestra la repercusión que tienen en los medios de comunicación las noticias sobre avances en el descubrimiento de nuevas partículas elementales, como por ejemplo el del Bosón de Higgs, sobre el origen y evolución del Universo, sobre los misterios de la materia y la energía oscura, los descubrimientos de planetas extrasolares, etc. Muchas de las grandes preguntas que se plantea el ser humano, como son las mencionadas anteriormente, se corresponden con algunas de las líneas de investigación en las que se inicia al estudiante en el Máster en Física Teórica y en las que trabajan muy activamente los profesores adscritos al mismo.



Existe una estrecha relación de algunos de los equipos de investigación (adscritos al Máster) con el laboratorio europeo CERN, tanto en el ámbito teórico como experimental. En particular, es de destacar que hay un equipo de investigación que ha contribuido a la construcción de los detectores ATLAS y CMS en el gran colisionador de hadrones (LHC) del CERN y que ha participado en los análisis de datos conducentes a la observación del Bosón de Higgs. Asimismo, hay un equipo de investigación que trabaja, dentro del ámbito de la Cosmología, en el avance del entendimiento de la materia oscura y de la energía oscura y que participa en experimentos relevantes como CDMS para detectar materia oscura y BOSS, BigBOSS, PAU, DES, EUCLID, para comprender la energía oscura.

Asimismo, actualmente astrofísicos de instituciones españolas, ubicadas en la Comunidad de Madrid, participan al más alto nivel en varios proyectos Euro-Americanos, como son el Observatorio Espacial Herschel (ESA/NASA), el interferómetro ALMA (ESO/NRAO/NSF/Japón), el Radio Telescopio de Yebes (Guadalajara), o el nuevo telescopio espacial sustituto del Hubble (JWST). También es destacable su compromiso en proyectos nacionales como el Gran Telescopio de Canarias (GTC), los telescopios del Centro Astronómico Hispano-Alemán (CAHA) de Calar Alto (Almería), o internacionales como el Spitzer Space Telescope o los telescopios de Rayos X Chandra y XMM-Newton, operados desde la Estación de Seguimiento de Satélites que la Agencia Espacial Europea (ESA) posee en Villafranca del Castillo, Madrid. El European Space Astronomy Center (ESAC, centro científico de la ESA) se ubica en el mismo lugar. Además, España forma parte del Observatorio Europeo Austral (ESO) teniendo acceso a todos los telescopios de esta institución.

El reconocimiento de la relevancia de los contenidos y temática de esta demanda social se manifiesta por la existencia de tres Planes Nacionales (de Física de Partículas y Aceleradores, de Astronomía y Astrofísica, y del Espacio) estrechamente relacionados entre sí. Además, la Física de Partículas, la Cosmología y la Astrofísica constituyen algunas de las disciplinas incluidas con más frecuencia en las redes temáticas europeas. En general, la financiación está a un nivel excelente.

Estos compromisos han generado, y generarán más en el futuro, una demanda creciente de profesionales especializados, tanto científicos como tecnólogos, como puede apreciarse en las demandas de empleo que se distribuyen electrónicamente por diversos medios (INSPIRE, CERN, FPA, ESA, SEA, etc.). Es pues necesario formar adecuadamente a un elevado número de jóvenes físicos de partículas, cosmólogos y astrofísicos que hagan uso de todos los medios que están a nuestra disposición, rentabilicen la inversión realizada por nuestro país y aseguren así los retornos científicos y tecnológicos de forma adecuada (utilizamos el término 'Astrofísica' en su triple acepción de Astronomía, Astrofísica y Cosmología Física u Observacional. Además, se entenderá por 'Astrónomo' el profesional que se dedica a la Astrofísica en cualquiera de sus tres acepciones).

El Máster posibilitará además una formación profesional conducente a trabajar como tecnólogo en empresas, o como comunicador científico en la prensa especializada o en instituciones de divulgación científica. En este sentido es de señalar que la mayor parte de las empresas tecnológicas I+D+I ligadas al sector espacial están ubicadas en la Comunidad de Madrid y su entorno (como por ejemplo, GMV, EADS Space, Lidax Ingeniería, INSA (Ingeniería y Servicios Aero Espaciales), TCP Sistemas de Ingeniería o



Fractal), y que existe una demanda notable de admisión en los Másteres actuales por parte de ingenieros.

Calidad de la investigación

La calidad de la investigación realizada por los profesores adscritos al Máster en Física Teórica que aquí se propone ha sido valorada recientemente en la convocatoria de Mención hacia la Excelencia a los programas de doctorado de las universidades españolas del Ministerio de Educación. Al programa de doctorado en Física Teórica y al programa de doctorado en Astrofísica de la Universidad Autónoma de Madrid se les concedió dicha Mención hacia la Excelencia (BOE del 20 de Octubre de 2011). En ambos casos, la valoración global ponderada fue de 95. En particular, en lo que concierne a la investigación, los siguientes comentarios y puntuaciones, tal y como aparecen en el informe de la ANECA, son relevantes.

SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN EL PROGRAMA DE DOCTORADO EN FÍSICA TEÓRICA:

a) Historial Investigador de los profesores e investigadores que han dirigido tesis doctorales leídas en el programa en los últimos seis años (2004-2009).

“El historial investigador medio de los 25 profesores e investigadores que han dirigido tesis doctorales leídas en el programa de doctorado en los últimos 6 años se considera excelente, de acuerdo al valor de referencia del campo científico-técnico.” La puntuación obtenida fue de 97 sobre 100.

b) Rendimiento científico de las tesis doctorales defendidas en el programa de doctorado en los últimos seis años (2004-2009).

“De las 39 tesis doctorales defendidas en el programa de doctorado en los últimos seis años, se han derivado unas publicaciones que se consideran excelente, de acuerdo con el valor de referencia del campo científico-técnico.” La puntuación obtenida fue de 100 sobre 100.

SOBRE LA EVALUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN EL PROGRAMA DE DOCTORADO EN ASTROFÍSICA:

a) Historial Investigador de los profesores e investigadores que han dirigido tesis doctorales leídas en el programa en los últimos seis años (2004-2009).

“El historial investigador medio de los 18 profesores e investigadores que han dirigido tesis doctorales leídas en el programa de doctorado en los últimos 6 años se considera excelente, de acuerdo al valor de referencia del campo científico-técnico.” La puntuación obtenida fue de 95 sobre 100.

b) Rendimiento científico de las tesis doctorales defendidas en el programa de doctorado en los últimos seis años (2004-2009).



“De las 16 tesis doctorales defendidas en el programa de doctorado en los últimos seis años, se han derivado unas publicaciones que se consideran excelentes, de acuerdo con el valor de referencia del campo científico-técnico.” La puntuación obtenida fue de 100 sobre 100.

2.2 Referentes externos

La formación adquirida en el Máster es equivalente a la de los Másteres europeos más exigentes y a la que se adquiere en los programas de posgrado de las más prestigiosas universidades norteamericanas. El siguiente listado refleja la organización docente e investigadora en el área de la de Física de Partículas, Cosmología y Astrofísica de algunas de las universidades y centros de investigación más punteros, en la que se aprecia una clara tendencia a interrelacionar estas áreas de conocimiento y que se han usado como referentes.

Estos referentes se han usado (a) a la hora de diseñar un master que comprenda las áreas de: Física de Partículas, Astrofísica y Cosmología siguiendo las tendencias más actuales; (b) a la hora de definir la estructura del master en dos especialidades; (c) a la hora de diseñar el curriculum de cursos, siempre atendiendo al nivel avanzado de formación que se desea alcanzar.

Con estos referentes se pretende que este máster sea competitivo en términos de excelencia a nivel nacional e internacional.

Listado de referentes externos relativos a estudios relacionados con los estudios del título:

Europa

1.- OXFORD UNIVERSITY, UK.

El programa de Posgrado en Física Teórica de la Universidad de Oxford cubre las áreas de investigación de ‘Astrofísica Teórica y Física del Plasma’, ‘Teoría de la Materia Condensada’ y ‘Física de Partículas Elementales y Teoría Cuántica de Campos’.

http://www.ox.ac.uk/admissions/postgraduate_courses/course_guide/theoretical_physics.html

2.- INSTITUTO DE FÍSICA TEÓRICA DE LA UNIVERSIDAD DE ZURICH, Suiza, Master of Science in Physics

Ofrece un programa en física teórica, astrofísica y física de partículas cuyas asignaturas o cursos se desglosan en cuatro especialidades, entre ellas:

- Elementarteilchenphysik (Física de partículas).
- Astrophysik und Kosmologie (Astrofísica y Cosmología).

En el master que aquí se presenta, hemos adoptado estas dos especialidades, pero añadiendo la Cosmología explícitamente en el nombre de la especialidad de Física de Partículas. Entendemos que el master de la Universidad de Zurich realiza la inclusión de la Cosmología a nivel de la Física de Partículas de forma implícita incluyendo la materia “Astroparticle Physics” en las dos especialidades.

En el Máster de la Univ. De Zurich se establece la siguiente estructura:

Los estudiantes deben superar un total de 90 ECTS para conseguir el título de MSc. Esto puede lograrse



haciendo una combinación entre las asignaturas obligatorias y optativas del siguiente listado que recoge las dos especialidades.

Asignaturas ofrecidas dentro de la Especialidad de Astrofísica y Cosmología:

Introduction to Astronomy	5
Theoretical Astrophysics and Cosmology I	5
Theoretical Astrophysics and Cosmology II	5
General Relativity	10
Astrophysical Dynamics	5
The origin of planets and stars	5
Astroparticle Physics	5
Computational Techniques	5
Research seminars/astroph	5
Masters Thesis	30
Masters Exam	10
Choice of electives from Theoretical Physics	up to 30

Asignaturas ofrecidas dentro de la Especialidad de Física de Partículas/Física Teórica:

Quantum Field Theory 1	8
Quantum Field Theory 2	6
General Relativity	10
Particle Physics Phenomenology 1	8
Particle Physics Phenomenology 2	5
Experimental Methods	6
Laboratory Work at PSI	6
Statistical Methods	6
Electroweak Standard Model	5
Quantum Chromodynamics	5
Flavour Physics	5
Computer Algebra Techniques	5
Astroparticle Physics	5
Research Seminar	2
Master Thesis	30
Exam	10
Choice of Electives from Astrophysics	up to 25
Choice of Electives from Mathematics	up to 10

Las asignaturas “The origin of planets and stars”, “Computational Techniques” y “Astroparticle Physics” son equivalentes a las de “Formación de estrellas y planetas”, “Astrofísica computacional” y “Física de Astropartículas” de este master, mientras que las de “Theoretical Astrophysics and Cosmology I and II” son parcialmente equivalentes a las asignaturas: de “Cosmología” y “Cosmología avanzada”. Otras materias de



contenidos similares a las propuestas en este master son: “General Relativity” y “Astrophysical Dynamics”. Las asignaturas “Quantum Field Theory I” y “Quantum Field Theory II” son equivalentes a las de “Teoría Cuántica de Campos” y “Teoría Cuántica de Campos Avanzada”. Los contenidos correspondientes a las asignaturas de “Particle Physics Phenomenology”, “Electroweak Standard Model”, “Quantum Chromodynamics” y “Flavour Physics” están parcialmente cubiertos por “Modelo Estándar de la Física de Partículas”, “Problemas abiertos del Modelo Estándar” y “Física Experimental de Partículas”. Al igual que en el caso del presente master, se incluye una “Masters Thesis” equivalente a la Tesis fin de Máster. También los estudiantes de cada especialidad pueden cursar, con carácter optativo, las asignaturas de la otra.

Más información en :

http://www.theory.ch/requirements_masters.html

3.- Universidad de Heidelberg, Facultad de Física y Astronomía, MSc in Physics

El Departamento de Física y Astronomía de la Universidad Ruprecht Karls Heidelberg, ofrece un Máster en Física que recoge las dos especialidades que hemos diseñado para nuestro título, estructurándose de la siguiente manera:

Especialidad en Astronomía y Astrofísica:

code	Module	LP/CP
MVAstro0	Introduction to Astronomy	8
MVAstro1	Observational Methods	6
MVAstro2	Stellar Astronomy and Astrophysics	6
MVAstro3	Galactic and Extragalactic Astronomy	6
MVAstro4	Cosmology	6

Las asignaturas de la tabla anterior son equivalentes a las asignaturas de este master: “Técnicas observacionales en Astrofísica”, “Estructura y evolución estelar”, “Formación y evolución de galaxias” y “Cosmología”. Los contenidos de la asignatura “Introduction to Astronomy” se imparten en la titulación del Grado de Física como una asignatura obligatoria en las universidades españolas y por tanto se incluye en el master.

Especialidad en Física de Partículas:

code	Module	LP/CP
MVHE1	Advanced Topics in Particle Physics	4
MVHE2	Physics of Particle Detectors	4
MVHE3	Standard Model of Particle Physics	8
MVPSI	Advanced Particle Physics Project at the Paul Scherrer Institut. Module cannot be selected as a module for MVMod!	8

Las asignaturas de la tabla anterior (excepto por la última) son equivalentes a asignaturas de nuestro máster, a saber, “Problemas abiertos del Modelo Estándar”, “Física Experimental de Partículas” y “Modelo Estándar de la Física de Partículas”.

Más información:

<http://www.physik.uni->



heidelberg.de/c/image/f/studium/master/pdf/mschandbuch2012.2.v3.pdf#page=01
(ver páginas 24 y ss. Y 57 y ss.)

<http://www.physik.uni-heidelberg.de/studium/master>

4.- Radboud University Nijmegen, Netherlands. Master's programme in Physics and Astronomy

Este Programa de Máster en Física y Astronomía se estructura en 120 ECTS y tiene tres especialidades entre las que se encuentran la Especialidad en Física de Partículas y Astrofísica que recoge las dos líneas que tenemos en nuestro título, pero le dan la siguiente estructura:

Astrofísica

Astrophysics	
Fall semester	Spring semester
Mandatory	
Electrodynamics 1 (3) 1st quarter	Professional Preparation (1) ⁴
Cosmology (6)	Philosophy 2 (3) 3 rd quarter
Astroparticle Physics (6)	
Astrophysics Seminar (2), twice	
Telescope Observing (2)	
Electives, strongly recommended	
Black Holes and Accretion (6) ²	Compact Binaries (6) ²
Asteroseismology (6)²	Interacademic Course Astrophysics (6)
Advanced Stellar and Binary evolution (6)¹	Cosmic Magnetism (6) ¹
Other electives ³	
Nuclear Physics (6) ²	Numerical Methods (3), 3 rd quarter
Particle Physics Phenomenology (6)	Introduction to C++ (3)
Particle Detection and Acceleration (6)	
Master thesis (60)	

Física Teórica de Altas Energías



Theoretical High-Energy Physics	
Fall semester	Spring semester
Mandatory	
Electrodynamics 1 (3) <i>1st quarter</i>	Professional Preparation (1) ⁶
Cosmology (6)	
Quantum Field Theory (6)	Philosophy 2 (3) <i>3rd quarter</i>
Theoretical Foundations of Elementary Particle Physics (6)	
Electives, strongly recommended	
	Introduction to String Theory (6) ¹
	CERN Summer Student Programme ³
Electives ⁴	
NIKHEF Topical Lectures ⁵	
<u>Structure of Spacetime (6)</u>	Beyond the Standard Model (6) ²
Particle Physics Phenomenology (6)	Introduction to C++ (3)
Particle Detection and Acceleration (6)	Monte Carlo Techniques (6)
Lie Algebras (6) ¹	
Master thesis (60)	

De estas asignaturas, las de “Cosmology”, “Astroparticle Physics”, “Telescope observing”, “Advanced Stellar and Binary evolution”, “Nuclear Physics”, “Particle Physics and Phenomenology”, “Particle detection and acceleration”, “Numerical Methods”, “Quantum Field Theory”, son equivalentes a las siguientes asignaturas de este master: “Cosmología” y “Cosmología avanzada”, “Física de astropartículas”, “Técnicas observacionales en Astrofísica”, “Estructura y evolución estelar”, “Estructura nuclear”, “Modelo estándar de la Física de Partículas”, “Física experimental de partículas”, “Astrofísica computacional” y “Teoría Cuántica de Campos”. En el programa se incluye también una Tesis de Master similar a nuestro Trabajo fin de Máster.

Sin embargo, en este programa de la **Radboud University Nijmegen** se proponen asignaturas con contenidos altamente especializados y bastantes restrictivos como: Compact Binaries (Estrellas binarias compactas) o Astereoseismology (Sismología estelar) que no consideramos en nuestro master.

Para referenciar las especialidades de este máster ver:

<http://www.ru.nl/masters/programme/science/physics-astronomy/specialisations/particle/>

Astrofísica:

http://www.studiegids.science.ru.nl/2012/en/science/prospectus/physics_master/contents/info/3287

[1/](#)

Física de Partículas

http://www.studiegids.science.ru.nl/2012/en/science/prospectus/physics_master/contents/info/3287

[2/](#)



5.- Universidad de Barcelona. Máster en Astrofísica, Física de Partículas y Cosmología

La estructura de las enseñanzas de este máster es bastante análoga a la que proponemos para nuestro título. Se divide en dos especialidades:

- Astrofísica y Ciencias del Espacio; y,
- Física de Partículas y Gravitación.

Hay asignaturas que son obligatorias comunes para las dos especialidades, obligatorias para cada especialidad y optativas en cada una de las especialidades.

Las asignaturas “Teoría Cuántica de Campos”, “Estructura y Evolución Estelar”, “Astrofísica Extragaláctica y Formación de Galaxias”, “Cosmología Avanzada”, “Partículas Elementales”, “Técnicas Matemáticas y Estadísticas”, “Fronteras de la Física Teórica” son equivalentes a las de este máster: “Teoría Cuántica de Campos”, “Estructura y evolución estelar”, “Formación y evolución de galaxias”, “Cosmología avanzada”, “Modelo estándar de la Física de Partículas”, “Matemáticas Avanzadas”, “Problemas abiertos del Modelo Estándar”. Los contenidos de la asignatura de “Astronomía Galáctica” se encuentran incluidos en la asignatura “Formación y evolución de galaxias” del presente máster a nivel general. Nuestro máster no propone explícitamente una asignatura de “Astronomía desde el espacio” aunque parte de los contenidos de la asignatura “Técnicas observacionales en Astrofísica” se dedica a la Astronomía desde el espacio.

Las asignaturas quedarían así estructuradas:

- Obligatorias comunes a ambas especialidades:
Cosmología Avanzada, 6 ECTS
Técnicas Matemáticas y Estadísticas, 6 ECTS
Trabajo de Final de Máster, 24 ECTS
- Obligatoria para la especialidad de Astrofísica y Ciencias del Espacio
Estructura y Formación Estelar 6 ECTS.
Astronomía Galáctica 6 ECTS.
- Obligatoria para la especialidad de Física de Partículas y Gravitación
Teoría Cuántica de Campos, 6 ECTS
Partículas Elementales, 6 ECTS
- Optativas:
 - Común:
Técnicas Experimentales de la Física de Partículas y de la Astrofísica
 - Astrofísica Avanzada:
Astrofísica Extragaláctica y Formación de Galaxias, 6 ECTS.
Astrofísica de Altas Energías, 3 ECTS.
Astronomía desde el Espacio, 3 ECTS.
 - Partículas y Gravitación Avanzadas
Relatividad General Avanzada, 6 ECTS.
Teorías Gauge del Modelo Estándar, 6 ECTS.
Fronteras de la Física Teórica, 6 ECTS.

Más información:

http://icc.ub.edu/master_AFPC/index_cas.html

EE.UU

Las Universidades norteamericanas siguen una estructura distinta en sus “graduate courses” o estudios de posgrado, ya que los estudiantes se matriculan en el PhD y el MSc lo obtienen una vez han cursado y



superado los cursos del programa de doctorado, teóricos y prácticos, han realizado el equivalente al trabajo de Fin de Máster, (a veces dos, uno teórico y otro práctico) y han pasado un examen oral que engloba todos los contenidos recibidos durante esta primera fase del programa que les da acceso a la fase de realización de su Tesis Doctoral.

Esto hace que es en esos “graduate courses” en los que haya que fijarse a la hora de establecer referentes externos relativos a estudios relacionados con el título dentro de esta área geográfica y académica.

6.- THE CENTER FOR COSMOLOGY AND PARTICLES PHYSICS, NEW YORK UNIVERSITY, USA.

Este centro agrupa profesores, estudiantes e investigadores trabajando en preguntas fundamentales en la intersección de la física de partículas, cosmología y astrofísica.

Se adjunta una tabla con los cursos (‘graduate courses’) disponibles

Particle Physics, Astrophysics and Cosmology

FALL A	SPRING A	FALL B	SPRING B
Particle Physics	Cosmology	Particle Physics	Cosmology
QFT I (Quantum Field Theory)	QFT II	QFT I	QFT II
QFT III	Beyond the Standard Model (non-SUSY)	QFT III	Supersymmetry
Cosmo/Astro special topics	HET special topics	Astro/Cosmo special topics	HET special topics
GR (General Relativity)	Astro Seminar	GR	Early Universe
Stars and the Interstellar Medium	Advanced Cosmology	Extragalactic and Galactic Astrophysics	Black Holes & High Energy Astrophysics

Las asignaturas “Particle Physics”, “Cosmology”, “Quantum Field Theory I”, “Quantum Field Theory II”, “GR (General Relativity)”, “Stars and the Interstellar Medium”, “Extragalactic and Galactic Astrophysics”, “Advanced Cosmology”, tienen claros equivalentes en las asignaturas de: “Modelo estándar de la Física de Partículas”, “Teoría Cuántica de Campos”, “Teoría Cuántica de Campos Avanzada”, “Cosmología”, “Gravitación”, “Medio interestelar” y “Estructura y evolución estelar”, “Formación y evolución de galaxias”, “Cosmología avanzada”, de este máster.

Más información:

http://cosmo.nyu.edu/grad1_studies.html

7.- Johns Hopkins University, Henry A. Rowland Department of Physics and Astronomy

“Graduate

Courses”

Hay cuatro semestres de clases obligatorias para el Doctorado en Física y para el de la Astronomía y Astrofísica que se deben superar con una calificación de B o mejor. Se anima a los estudiantes a cumplir con estos requisitos en su primer año, aunque pueden ser diferidos hasta el segundo año, en determinadas casos. Se puede renunciar a la obligatoriedad de algunas de las clases, según el criterio del asesor de primer año, si el estudiante ha completado con éxito una clase similar en otros lugares.



PhD in Physics

Quantum Mechanics
Electromagnetism
Advanced Statistical Mechanics

PhD in Astronomy and Astrophysics

Stellar structure and evolution
Interstellar medium and astrophysical fluid dynamics
Radiative astrophysics
Astrophysical dynamics
Language of Astrophysics

Más información:

<http://physics-astronomy.jhu.edu/acad/grad/index.html#>

8.- PITTSburgh Particle physics, Astrophysics, and Cosmology Center, THE UNIVERSITY OF PITTSBURGH, USA.

PITT PACC coordina y refuerza las actividades en física de partículas, cosmología y astrofísica desde los puntos de vista experimental, teórico y observacional. Y ofrece cursos de posgrado que se encontrarían a nivel de máster y que se estructuran también alrededor de las áreas de la Física de Partículas, la Astrofísica y la Cosmología.

Para ver relación de los cursos:

<http://www.physicsandastronomy.pitt.edu/sites/default/files/FinalGradCurricDocs.pdf>

Se incluye a continuación un listado de institutos cuyas líneas de investigación comprenden los ámbitos de este Máster, a entender, Física de Partículas, Astrofísica y Cosmología.

KAVLI INSTITUTE FOR THEORETICAL PHYSICS (KITP) at the University of California, Santa Barbara. USA.

<http://www.kavlifoundation.org/university-california-santa-barbara>

THE ENRICO FERMI INSTITUTE, THE UNIVERSITY OF CHICAGO, USA

<http://efi.uchicago.edu/index.shtml>

LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY, USA.

<http://www.lanl.gov/science-innovation/capabilities/nuclear-physics-plasmas-astrophysics-cosmology/index.php>

KIPAC- KAVLI INSTITUTE FOR PARTICLE ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY, Stanford University, USA.

<http://kipac.stanford.edu/kipac/about>

INPAC Institute for Nuclear and Particle Astrophysics and Cosmology, California, USA.

<http://cosmology.berkeley.edu/inpac/home.html>



Las listas que se han presentado no son en absoluto exhaustivas. Uno de los argumentos que se utilizan una y otra vez sobre la necesidad de unir esfuerzos en las áreas de física de partículas, cosmología y astrofísica es el siguiente: actualmente la Física de Astropartículas (o Astrofísica de Partículas), el campo interdisciplinar emergente de la convergencia de la física de partículas, astrofísica, astronomía, cosmología y física de los rayos cósmicos, es considerada como una de las fronteras más excitantes de la investigación en física moderna (materia oscura, energía oscura, etc.). Este argumento es el que se ha utilizado para el establecimiento de nuevos institutos, grupos y centros de investigación tanto en Europa como fuera de ella y, asimismo, para la creación de los estudios de posgrado encaminados a desarrollar una carrera investigadora en estos campos del conocimiento.

Asimismo es de destacar la instrumentación en astrofísica de frontera (E-ELT, JWST, ALMA), que va a aumentar enormemente nuestro conocimiento de las primeras edades del universo y, en particular, desde el punto de vista de su estructuración. Es con este espíritu con el que se propone el Máster en Física Teórica que se solicita aquí.”

23. Descripción de los procedimientos de consulta internos utilizados para la elaboración del Plan de estudios.

Normativa de Estudios Oficiales de Posgrado de la Universidad Autónoma de Madrid, aprobada Consejo de Gobierno del 10 de julio de 2008:

http://www.uam.es/estudios/doctorado/Impresos/normativa_posgrado_10_07_08.pdf.

La renovación del Máster en Física Teórica que se propone aquí comenzó como una propuesta a los profesores adscritos a la línea de investigación en Partículas Elementales y Cosmología del Departamento de Física Teórica, por parte de los profesores del mismo departamento adscritos a la línea de investigación en Astrofísica, al extinguirse este curso académico el Máster Interuniversitario en Astrofísica UAM-UCM. Como se explicó en la sección **2.1 y 2.2**, esta posibilidad suponía adaptarse al contexto internacional en donde ambas especialidades interconectadas se suelen integrar en el mismo ámbito docente e investigador y se decidió por tanto de mutuo acuerdo abrir el Máster en Física Teórica a una nueva especialidad en Astrofísica y Física del Cosmos, con la Cosmología (y la Física de Astropartículas) como elementos integradores. Se recibieron opiniones positivas desde el Campus de Excelencia Internacional UAM+CSIC. Se elaboró un programa común de Máster con asignaturas específicas dándole coherencia a dicha interconexión y posteriormente, dicho programa fue estudiado con detalle por todo el profesorado adscrito a las distintas especialidades.

La iniciativa para la propuesta de enseñanzas conducentes a Títulos Oficiales de Posgrado corresponde a las Juntas de Centro, Consejos de Departamentos e Institutos Universitarios, Grupos de investigación que desarrollen programas de investigación conjuntos, Dirección Académica del Centro de Estudios de Posgrado y Consejo de Dirección de la Universidad, con la finalidad de que se oferten Estudios de Posgrado que se enmarquen dentro de las líneas estratégicas de la Universidad. Estas propuestas son presentadas en el Centro de Estudios de Posgrado avaladas por aquellos a quienes corresponda la iniciativa.

La presente memoria fue sometida a su aprobación por:

- El Departamento de Física Teórica, responsable de las enseñanzas



- La Junta de Centro de la Facultad de Ciencias de la UAM
- La Comisión de Estudios de Posgrado de la UAM

Tras el estudio e informe favorable por la Comisión de Estudios de Posgrado, el Máster en Física Teórica fue informado favorablemente por el Consejo de Gobierno y el Consejo Social de la UAM.

En todos los órganos colegiados y comisiones específicas están representados los diversos sectores de la comunidad universitaria: profesores permanentes, profesores e investigadores contratados con vinculación no permanente, personal docente e investigador en formación, personal de administración y servicios, y estudiantes.

24. Descripción de los procedimientos de consulta externos utilizados para la elaboración del plan de estudios

En la elaboración del plan de estudios del Máster en Física Teórica que aquí se presenta se han consultado los planes de estudio de programas de Máster, tanto Nacionales como Internacionales (entre otros, los citados en 2.2). Concretamente, en el plan de estudios que se presenta en esta memoria, la agrupación de contenidos en asignaturas, están inspirados en los planes de estudio de Másteres ofertados en Europa y Estados Unidos. Además, en la elaboración de esta memoria, se han solicitado opiniones y propuestas a los investigadores en Física de Partículas, Cosmología y Astrofísica de los Centros de Investigación con los que los equipos docentes han establecido en el pasado cooperaciones en el ámbito de la investigación y/o de la docencia y que conforman el actual *Campus de Excelencia Internacional UAM+CSIC*. De esta manera, han sido consultados investigadores del CERN, CSIC, CAB, ESAC, OAN y CIEMAT. También los profesores externos que han colaborado en la docencia de los actuales Másteres han sido consultados y han aportado una visión complementaria y sugerencias que, en algunos casos, han sido incorporadas a la propuesta que se presenta en este documento.

