



**Estudios de Máster
Sección de Ciencias Físicas
Facultad de Ciencias, UNED**

Máster en Física Médica

Este documento contiene información muy importante sobre la organización y requerimientos del máster, así como posibles servicios a su disposición. Por favor, léalo cuidadosamente.

Departamentos responsables:

- **Dpto. de Física Matemática y de Fluidos**
- **Dpto. de Física de los Materiales**
- **Dpto. de Física Fundamental**

Coordinación:

José Carlos Antoranz Callejo

Depto. Física Matemática y de Fluidos, Facultad de Ciencias

Teléfono: +(34) 913987121

jcantoranz@dfmf.uned.es

PRESENTACIÓN DEL MÁSTER	6
DENOMINACIÓN DEL MÁSTER	6
ÓRGANO RESPONSABLE Y COORDINACIÓN	6
INSTITUCIÓN QUE TRAMITA EL TÍTULO	6
CENTROS COLABORADORES	6
CONVENIO UNED-HGU GREGORIO MARAÑÓN DE MADRID	7
DATOS DEL MÁSTER	9
PERIODICIDAD DE LA OFERTA	9
NÚMERO DE PLAZAS	9
RÉGIMEN DE ESTUDIOS	9
MODALIDAD DE IMPARTICIÓN	9
PERIODO LECTIVO	9
NÚMERO MÍNIMO DE CRÉDITOS POR PERIODO LECTIVO	9
CONVALIDACIONES Y MATRICULACIÓN EN EL SEGUNDO AÑO	10
CONTEXTUALIZACIÓN	11
TÍTULOS QUE SE OTORGAN	11
INTERÉS Y RELEVANCIA ACADÉMICO-CIENTÍFICA	16
EQUIVALENCIA EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL	17
ADECUACIÓN DEL TÍTULO AL NIVEL FORMATIVO DEL MÁSTER	19
CONOCIMIENTOS PREVIOS	19
OBJETIVOS	20
PUESTA EN CONTEXTO DE LA FÍSICA MÉDICA A LO LARGO DE LA HISTORIA	21
OBJETIVOS GENERALES DEL MÁSTER	28
OBJETIVOS ESPECÍFICOS GLOBALES Y MAPA DE COMPETENCIAS	29
OBJETIVOS ESPECÍFICOS SEGÚN EEES	31
COMENTARIOS SOBRE LOS CONTENIDOS	31
CLAUSTRO DEL MÁSTER	35
ESTRUCTURA DEL MÁSTER	38
ESTRUCTURA CURRICULAR DEL MÁSTER	38

PLANIFICACIÓN DE MATERIAS Y ASIGNATURAS.....	38
TRABAJO FIN DE MÁSTER.....	39
PROGRAMACIONES POR PERFIL DE ACCESO Y ELECCIÓN DE ITINERARIO.....	41
PERFILES.....	42
CC DE LA SALUD.....	42
CC BIOLÓGICAS.....	45
INGENIERÍA TÉCNICA.....	48
CC FÍSICAS.....	51
CC QUÍMICAS.....	54
CC MATEMÁTICAS E INFORMÁTICA.....	57
INGENIERÍA SUPERIOR.....	60
METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO DEL MÁSTER.....	63
ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN DEL MÁSTER.....	65
ÓRGANOS DE DIRECCIÓN Y PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN.....	65
SISTEMA DE GARANTÍA DE CALIDAD.....	67
PRINCIPIOS DE CALIDAD. ÓRGANOS DE CONTROL Y SUS FUNCIONES.....	67
SISTEMAS DE GARANTÍA PARA LOS ALUMNOS.....	68
SELECCIÓN Y ADMISIÓN AL MÁSTER.....	70
ÓRGANO DE ADMISIÓN: ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO.....	70
ASIGNATURAS.....	71
ANÁLISIS DE DECISIONES EN MEDICINA.....	73
ANATOMOFISIOPATOLOGÍA I.....	74
ANATOMOFISIOPATOLOGÍA II.....	75
BIOESTADÍSTICA.....	76
BIOLOGÍA CELULAR.....	77
BIOQUÍMICA.....	78
COMPLEMENTOS MATEMÁTICOS FM-I.....	79
COMPLEMENTOS MATEMÁTICOS FM-II.....	80
ELECTROMAGNETISMO Y ÓPTICA.....	81
ELECTRÓNICA.....	82
F BIOMÉDICA I.....	83
F BIOMÉDICA II.....	84

FÍSICA ATÓMICA Y NUCLEAR.....	85
FÍSICA FLUIDOS BIOLÓGICOS	86
FÍSICA MATEMÁTICA	87
FÍSICA MODERNA.....	88
FISIOLOGÍA	89
FUNDAMENTOS FÍSICOS IMAGEN I	90
FUNDAMENTOS FÍSICOS IMAGEN II	91
INFORMÁTICA PARA FÍSICA MÉDICA.....	92
INSTRUMENTACIÓN	93
INTERACCIÓN RADIACIÓN-MATERIA	94
MÉTODOS NUMÉRICOS.....	95
MODELADO SISTEMAS BIOLÓGICOS.....	96
PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	97
SIMULACIÓN SISTEMAS BIOLÓGICOS	98
TRATAMIENTO SEÑALES	99
APÉNDICE 1	100
OBJETIVOS ESPECÍFICOS ORDENADOS POR MATERIAS	100
APÉNDICE 2	101
OBJETIVOS ESPECÍFICOS TRANSVERSALES.....	101
APÉNDICE 3	102
CLAUSTRO DE PROFESORES	102

Presentación del Máster

Denominación del Máster

Física Médica

Órgano Responsable y Coordinación

Facultad de Ciencias de la UNED

Institución que tramita el título

Facultad de Ciencias, UNED

Unidades participantes

- Facultad de Ciencias
 - Departamento de Física Matemática y de Fluidos
 - Departamento de Física de los Materiales
 - Departamento de Física Fundamental
 - Departamento de Matemáticas Fundamentales
 - Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Cálculo Numérico

Centros colaboradores

- UNED (ETSI Informática)
 - Departamento de Inteligencia Artificial
 - Departamento Sistemas de Comunicación y Control
- Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid (HGUGM)

- Unidad de Medicina y Cirugía Experimental
 - Laboratorio de Imagen Médica

Convenio UNED-HGU Gregorio Marañón de Madrid

El Departamento de Física Fundamental, desde 1985 hasta su división en dos departamentos, y el Departamento de Física Matemática y de Fluidos, desde su creación en 1998 hasta la actualidad, han mantenido y mantienen un acuerdo de colaboración y cooperación en labores de docencia e investigación en Física Médica con la Unidad de Medicina y Cirugía Experimental del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid.

Este acuerdo fue firmado por parte de la UNED por el Rector D. Mariano Artés y por parte de la Comunidad de Madrid por el Consejero de Sanidad, D. Pedro Sabando, en 1989, antes de la implantación del primer ventrículo artificial desarrollado en conjunto por el HGUGM y la UNED. Fruto de estos acuerdos han sido, en el terreno de la investigación en Física Aplicada a la Medicina, la creación de un dispositivo de asistencia mecánica circulatoria (ventrículo artificial BCM) de uso habitual en la práctica clínica, el desarrollo de dispositivos de imagen médica para experimentación, como un PET para pequeños animales, o protocolos de cálculo de índices cardíacos no invasivos mediante tecnología Doppler-color. En el ámbito docente, se han organizado cursos profesionales dirigidos y coordinados por profesores de la UNED, realizándose las prácticas de dichos cursos en el HGUGM de Madrid. Los cursos y las correspondientes fechas son:

- I y II Máster en Tecnología e Instrumentación Biomédica. Cursos 2001-02 y 2003-04 (Dos años naturales de duración)
- Experto profesional en Imagen Médica Cardiológica. Cursos 1999-2001.
- Experto profesional en Imagen Médica Digital. Cursos 2000-03.

Además, se ha colaborado con el HGUGM y el Hospital de la Princesa de Madrid en los siguientes cursos de Tercer Ciclo en la Universidad Autónoma de Madrid (Facultad de Medicina):

- Avances en asistencia mecánica circulatoria. Cursos 1993-94.
- Avances en asistencia mecánica circulatoria. Cursos 1998-99.
- Avances en asistencia mecánica circulatoria. Cursos 2002-08.

Cursos de Tercer ciclo en la Universidad Complutense de Madrid (Facultad de Medicina)

- Respuesta celular a la agresión. Cursos 2004-08.

El convenio de colaboración y cooperación en labores de docencia e investigación continúa vigente "y activo, como muestran las actividades antes relacionadas".



Vuelta al índice general

Datos del máster

Periodicidad de la oferta

Anual

Número de plazas

Número mínimo para su implantación: 10

Número máximo de alumnos: 100. Este número podría ampliarse en el futuro si los recursos humanos y materiales "dedicados por las unidades y centros participantes" se incrementaran.

Régimen de estudios

La estructura del programa permite la posibilidad de realizarlo a tiempo completo, aunque no procede su especificación dado el perfil de sus alumnos potenciales y la flexibilidad del sistema de estudios de la UNED.

Modalidad de impartición

La modalidad de impartición será la usual en la metodología de la UNED, con enseñanza virtualizada, pero incluyendo seminarios y prácticas presenciales, dada la especificidad y carga experimental de algunas asignaturas.

Periodo lectivo

Semestral/Anual

Número mínimo de créditos por periodo lectivo

No se especifica dado el perfil usual de los alumnos de la UNED.

Convalidaciones y matriculación en el segundo año

No existe ninguna posibilidad de convalidación de ninguna asignatura debido al carácter tan específico de este máster. Por otra parte, es necesario que el alumno supere completamente el primer curso del máster para poder matricularse en alguna asignatura del segundo curso del mismo.



Vuelta al índice general

Contextualización

Títulos que se otorgan

Denominación del Título de Máster

Máster en Física Médica

Institución que tramita los títulos:

Facultad de Ciencias, UNED

Orientación y perfil

Máster en Física Médica:

- Perfil académico
- Iniciación a la investigación
- Perfil profesional

Física Médica es la rama de la Física aplicada relacionada con los conceptos y métodos físicos de diagnóstico y tratamiento de las enfermedades humanas según la definición de la American Association of Physicists in Medicine-AAPM (<http://www.aapm.org>).

Basándonos en las mismas fuentes, los alumnos en posesión del máster en Física Médica se agrupan alrededor de tres áreas de trabajo (tomado de la página web de la AAPM):

- Enseñanza e investigación.
- Mantenimiento y desarrollo de equipos, bien en hospitales o en empresas del ramo.
- Trabajo en los servicios de radiología y radioprotección de los centros hospitalarios (públicos o privados).

En España la clasificación es similar. Sin embargo, los físicos médicos dedicados al trabajo directo con pacientes en los servicios de Radiología y Oncología-radioterápica de cualquier hospital deben seguir un camino diferente, atendiendo al Real Decreto 220/1997, de 14 de febrero, por el que se crea y regula la obtención del Título oficial de Especialista en Radiofísica Hospitalaria. Cualquier licenciado que supere las pruebas de acceso a lo que se denomina FIR (Físico Interno

Residente) y supere con éxito los tres cursos de formación en la especialidad de radiofísica hospitalaria, está capacitado para desempeñar su labor en los Hospitales públicos o privados del estado español (el propio decreto comenta sobre la complejidad del uso de radiaciones ionizantes en las terapias de la siguiente forma

“la aplicación de las radiaciones ionizantes en los exámenes y tratamientos médicos, unida a la complejidad de las tecnologías empleadas para su realización, han creado la necesidad de que se regule en el sistema sanitario la existencia de expertos que acrediten unos conocimientos en física de las radiaciones, superiores a los que sobre esta materia tienen los profesionales tradicionalmente implicados en la asistencia sanitaria, aceptando así que una concepción actual de la misma obliga a recurrir a la participación de otros profesionales cuyos conocimientos previos, unidos a una adecuada formación postgraduada, garantizarán una eficiente utilización de las radiaciones con fines sanitarios, en orden a conseguir la optimización del acto médico origen de dichos exámenes y tratamientos, y la adecuada protección radiológica de todo el personal expuesto a las mencionadas radiaciones”.

Además, el mismo decreto cita

“Por otra parte, la creación de este título oficial de Especialista responde, además, a las exigencias derivadas de la Directiva 84/466 EURATOM, que ha sido traspuesta a nuestra legislación por el Real Decreto 1132/1990, de 14 de septiembre, por el que se establecen, con carácter de «Normativa Básica», medidas fundamentales de protección radiológica de las personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos, en cuyo artículo 5 se contempla, al igual que en la Directiva antes citada, la figura del experto cualificado en Radiofísica, estableciendo que por una disposición del mismo rango se determinarán las condiciones necesarias para obtener dicha cualificación”.

El Real Decreto 220/1997 tiene diez años de antigüedad y el panorama tecnológico en técnicas de diagnóstico ha cambiado radicalmente en estos últimos diez años. En estos momentos los médicos necesitan de físicos e ingenieros que les ayuden, entre otras tareas, a comprender e interpretar los resultados proporcionados por las nuevas técnicas y a aplicar herramientas de postproceso a los datos obtenidos con ellas, tanto para establecer un buen diagnóstico como para fines de investigación. En estos momentos las competencias y capacidades adscritas por ley a los físicos hospitalarios son muy restrictivas, desde el punto de vista del medio y largo plazo: Las aplicaciones de la Física a la Medicina ya no se quedan exclusivamente en el uso de las radiaciones ionizantes. En la actualidad, la Física Médica se desarrolla a través de los siguientes campos de interés:

- Imagen Médica
- Tratamiento de la enfermedad

- Tecnología de las medidas fisiológicas
- Protección radiológica
- Matemáticas y computación aplicadas a la Medicina
- Educación
- Ingeniería Biomédica

El denominado físico médico, en nuestro caso, con el título de máster en Física Médica es aquel titulado en Ciencias, en el sentido más amplio de la palabra, que puede contribuir, con sus conocimientos, a la efectividad de los procedimientos de imagen médica teniendo en cuenta los criterios de seguridad de los procesos ionizantes involucrados, así como en el desarrollo y mejora de las técnicas de imagen como mamografías, tomografía computerizada, imagen por resonancia magnética, ultrasonidos, etc.). Además, también puede contribuir al desarrollo de técnicas terapéuticas como implantes de próstata, cirugía estereotáctica, colaborando con los oncólogos en la planificación de tratamientos oncológicos, determinando áreas de exclusión para asegurar que las dosis prescritas sólo alcanzan las regiones deseadas. En general, es aquél capaz de desarrollar su trabajo en cualquiera de los campos de interés citados anteriormente.

Pormenorizando por campos, tendremos:

- Imagen Médica
 - o Diagnóstico en radiología, incluyendo rayos X, fluoroscopia, mamografía, angiografía y tomografía computerizada
 - o Ultrasonidos, incluyendo ultrasonidos intravasculares
 - o Imágenes producidas por radiación no ionizante como láseres, ultravioleta
 - o Medicina nuclear, que incluye SPECT (tomografía computerizada de emisión de fotón único) y PET (tomografía de emisión de positrones)
 - o Imagen por resonancia magnética, incluyendo imagen funcional (fMRI), neuroimagen, espectroscopía
 - o Magnetoencefalografía
 - o Tomografía de impedancia eléctrica
 - o Imagen óptica médica (Diffuse optical imaging, optical coherent tomography, etc.)
- Tratamiento de la enfermedad
 - o Desfibrilación
 - o Ultrasonidos focalizados de alta intensidad, incluyendo litotricia
 - o Radiología intervencionista

- Uso de la radiación no ionizante como en la terapia fotodinámica, LASIK, láseres, ultravioleta.
- Medicina nuclear, incluyendo fuentes encapsuladas y no encapsuladas
- Fotomedicina
- Radioterapia
- Tecnología de las medidas fisiológicas
 - Tecnología de la monitorización invasivas y no invasivas
 - Electrocardiografía
 - Electromiografía
 - Electroencefalografía
 - Endoscopia
 - Ultrasonografía
 - Espectroscopía de infrarrojo cercano
 - Monitorización de gases en sangre
 - Medidas de presión
- Protección radiológica
 - Dosimetría
 - Radiación de fondo
 - Planificación de locales
- Matemáticas y computación aplicadas a la Medicina
 - Reconstrucción tomográfica de imágenes
 - PACS, HIS, RIS
 - Telemedicina
 - Informática Médica
- Educación
- Ingeniería Biomédica
 - Biomecánica
 - Estimulación eléctrica funcional
 - Diálisis
 - Implantes cocleares
 - Nanomedicina
 - Prótesis

Podría pensarse, inicialmente, que todas éstas debían ser las habilidades y destrezas que alcanzaría un estudiante al superar el máster en Física Médica. Sin embargo, no es así. Seguiremos el espíritu y la doctrina de la Universidad de Harvard. Ésta propuso el fin de los estudios enciclopédicos en las Ciencias de la Salud para llevar a cabo una formación creativa, basada en conocimientos básicos bien asentados, en programas que no se solapaban y desarrollando las herramientas que permitirían al alumno afrontar los retos tecnológicos y los cambios predichos, ya entonces, por el informe de dicha Universidad en 1994 (dicho informe se solicitó a una comisión multidisciplinar en el año 1985). Según la Universidad de Harvard:

“Recognizing that change—and the ability to cope with change—had become an integral key to success in the rapidly transforming, technology-dependent practice of modern medicine, the New Pathway in General Medical Education was an approach developed and launched by Harvard Medical School in 1985.

Through this revolutionary restructuring of the traditional medical curriculum, HMS students acquire not only the core scientific, biomedical, and clinical expertise they need to become successful physicians but also the analytical tools, adaptability skills, and flexible attitudes they require to become lifelong learners.”

El espíritu del máster en Física Médica propuesto por la UNED está en la misma línea de la Universidad de Harvard. Lo importante es preparar a nuestros alumnos para acometer el cambio científico y tecnológico que está ocurriendo en los últimos años.

Algunas salidas laborales

Muchos estudiantes que siguen este máster aspiran a una plaza de Físico Interno Residente (FIR) para la obtención del título de Radiofísico. Este máster no permite el acceso directo a una plaza de FIR o la obtención del título de Radiofísico, ya que el acceso está regulado por ley. La única relación de la convocatoria FIR con este máster es la preparación amplia y específica que se obtiene tras el seguimiento del máster según el itinerario profesional para cada perfil de acceso. El número de puestos de FIR que se ofertan anualmente es reducido, sin embargo, existen muchas otras salidas profesionales para este título. Muchos alumnos seguirán la línea de investigación para obtener el título de doctor. El seguimiento de esta vía conlleva una fuerte carga lectiva en métodos de investigación y un entrenamiento en técnicas de medida o de desarrollo de dispositivos, que, difícilmente, podrán adquirir por cuenta propia o a través de cursos de perfeccionamiento en empresas. Todo este conocimiento adquirido será un importante bagaje a la hora de encontrar trabajo en compañías del sector técnico en ciencias de la salud.

Otros estudiantes se decidirán directamente por las salidas en la industria, generalmente de imagen médica. Téngase en cuenta que este máster proporciona información, no sólo sobre los fundamentos físicos de la imagen médica o su procesado, también hace un fuerte énfasis en las aplicaciones clínicas de las imágenes. Es difícil un progreso tecnológico en imagen médica sin tener un conocimiento claro de las necesidades (o no) del profesional “clínico”, en el sentido amplio de la palabra.

Otras salidas se refieren a los profesionales de la protección radiológica a escala industrial, gubernamental, etc... Véase, por ejemplo, los objetivos específicos globales que resultan del seguimiento de los estudios del máster de Física Médica para tener una idea de las potenciales salidas de este máster).

Interés y relevancia académico-científica

El desarrollo de las actividades profesionales en Física Médica en España, y en general, en el resto del mundo ha aumentado muy notablemente en los últimos años debido al avance en la utilización en medicina de técnicas y métodos propios de la física, por ejemplo, en diversos métodos de diagnóstico por imagen. Esta actividad junto con las relacionadas con la medicina nuclear hace que se haga absolutamente necesario el desarrollo de nuevos estudios acordes con las necesidades que demanda la sociedad moderna. Sin embargo, este reto es difícil de llevar a término debido a la multidisciplinariedad de la Física Médica. Este máster se plantea como una especialización natural de los diferentes estudios de Físicas, Medicina, Matemáticas, Ingenierías, etc. que actualmente se imparten en España con el objetivo de conocer y saber aplicar las técnicas físicas y procedimientos matemáticos de uso habitual en medicina.

Actualmente, los titulados universitarios que desean presentarse a las oposiciones de FIR pasan obligatoriamente por academias para su preparación. Por otra parte, no existe especialidad, en la actualidad, que prepare a los graduados universitarios en las disciplinas relacionadas con la imagen médica y aporte los conocimientos necesarios para desarrollar un trabajo en las unidades de Imagen de los hospitales, haciéndose necesarios cursos específicos por parte de las empresas fabricantes de equipos médicos avanzados, como son los equipos de resonancia magnética, los tomógrafos computerizados o los dedicados a la imagen nuclear (bien SPECT o PET). Este máster pretende llenar el hueco existente, facilitando la asimilación de estos postgraduados a la vida laboral.

Así mismo, con una preparación específica en el campo de la Física Médica será también posible que sea más fácil el desarrollo de nuevos dispositivos de imagen debido a una mejor preparación de los investigadores dedicados al I+D en las empresas de nuestro país, así como en la Universidad.

Por último, este máster pretende abrir las puertas a las personas con estudios superiores del tipo ingeniería técnica que desean mejorar su posición en los centros de trabajo hospitalario como es el caso de los ingenieros clínicos.

Estos estudios de máster presentan un grado de optatividad variable dependiendo del objetivo final del alumno. En todo momento el alumno contará con la ayuda y el asesoramiento del Tutor de Máster para un correcto desarrollo curricular. La figura del Tutor es especialmente atractiva para los alumnos de la UNED, dada su variada tipología.

En este Máster en Física Médica, la oferta del primer curso permite la adaptación curricular de los alumnos y se completa con asignaturas de segundo año de clara especialización a través de las tres diferentes vías de desarrollo del programa.

Equivalencia en el contexto internacional

Sólo es necesario teclear en cualquier buscador de Internet las palabras clave “graduate course” y “medical physics” para obtener miles de referencias relativas a los estudios de máster/posgrado en Física Médica. De las miles de referencias ponemos como ejemplo las siguientes:

- <http://medicalphysics.duke.edu/intro.html>. La Universidad de Duke puso en marcha el programa de posgrado con dos premios Nobel en Física y ha obtenido otros dos más, dentro de este programa de máster y doctorado, en Medicina y Fisiología. Se dedica a la preparación de personal altamente cualificado para el desempeño de las labores técnicas en los servicios de Radiología, Imagen Médica, Electromedicina así como en la preparación de personal docente e investigador para el resto de las universidades de EEUU.
- http://www.medphysics.wisc.edu/medphys_docs/graduate_program.html. La Universidad de Wisconsin oferta, al igual que la Universidad de Duke, un programa de máster y doctorado, en una relación 1 a 4 (un estudiante de máster con finalidad profesional (industria) frente a 4 (investigación-docencia).
- <http://www-radiology.uchicago.edu/program/index.html>. La Universidad de Chicago tiene un programa de posgrado con un curso inicial de nivelación para todos los estudiantes orientado a uniformizar la población estudiantil antes de comenzar la especialización en las áreas de Radiología, Oncología, etc.
- <http://www.ecu.edu/cs-cas/physics/Graduate-Program.cfm>. La East Carolina University acepta estudiantes tanto de Ciencias Físicas como de Medicina.
- <http://med.phys.ualberta.ca/medphys/graduate.htm>. La Universidad de Alberta en Canadá desarrolla un programa conjunto entre los departamentos de Física y de Oncología de la Universidad.

- <http://www.physics.upenn.edu/graduate/mmp.html>. La Universidad de Pennsylvania admite a estudiantes graduados en física, química, matemáticas, biología o ingenieros a sus estudios de máster y doctorado en Física Médica. Admite médicos en estos estudios, siempre que demuestren haber superado una prueba de conocimientos científicos tecnológicos a un nivel equivalente a primero-segundo curso de los estudios de grado de Ciencias Físicas.
- <http://www.drad.umn.edu/faculty/geise/BPHY2.htm>. Universidad de Minnesota.
- <http://www.deas.harvard.edu/gradstudy/programs/>. En el MIT, tal como este Instituto cita: “The Harvard-MIT Division of Health Sciences and Technology (HST) is the most successful interdisciplinary biomedical engineering and physician scientist training program in the country”.
- Existe también un número elevado de centros europeos donde se imparte esta disciplina, tanto a nivel de grado como de posgrado. Cabe señalar como más importantes:
 - Universidades de Anco, Bolonia, Génova, Milán, Nápoles, Pavía, Pádua, Pisa, "La Sapienza" de Roma, "Campus Bio-Médico" de Roma, Turín y Trieste en Italia.
 - Universidades de Aberdeen, Surrey, University Collage of London, King Collage of London...
 - Universidades de Heidelberg, UT Berlín, etc.
- También puede obtenerse información sobre los cursos auspiciados por la Asociación Americana de Físicos Médicos (AAPM) en:
 - <http://www.aapm.org/education/noncampep.asp>.

Como se puede observar a través de estos pocos ejemplos, los estudios superiores al grado en Física Médica son “populares” mundialmente. En España existen unos pocos ejemplos, posiblemente más restrictivos que el presentado aquí. Estos ejemplos son:

- Máster en Física Biomédica en la Universidad Complutense de Madrid, que desarrolla un programa encaminado mayoritariamente al doctorado. Se estructura en tres ramas: Radiofísica, Biofísica e Instrumentación Biomédica.
- Máster en Física Médica en la Universidad de Valencia. Tal y como citan textualmente los promotores de dicho máster “Con este máster se pretende dar respuesta a la necesidad de formación que siente las bases para la investigación en este campo con implantación en hospitales, empresas y con una presencia creciente en los centros de investigación”. Por lo tanto está dirigido, como el máster de la Universidad Complutense de Madrid, al doctorado.
- Doctorado-avances en Radiología (diagnóstico y terapia) Medicina Física y Física Médica. Dedicado en su mayor parte a la Radiofísica. Universidad de Granada.

Adecuación del título al nivel formativo del máster

Teniendo en cuenta la generalidad de los descriptores de Dublín, nuestro programa oficial de máster cumple las condiciones necesarias en el Espacio Europeo de Enseñanza Superior para que un alumno consiga en el máster:

- Poseer y comprender tanto los conocimientos básicos como los más avanzados necesarios para un desarrollo científico y profesional en el campo de la Física Médica, bien en el área de la investigación como en sus aplicaciones industriales y tecnológicas.
- Saber aplicar los conocimientos adquiridos en Física en los procesos en los que esta disciplina está directa o indirectamente implicada en Tecnología aplicadas a la Medicina y/o a la Biología.
- Saber integrar los distintos métodos científicos relacionados con este campo para poder desarrollar labores en el desarrollo profesional, en la industria y en la investigación.
- Poder comunicar los resultados de sus trabajos a entornos especializados.



Vuelta al índice general

Conocimientos previos

Siguiendo el citado espíritu de Harvard, se mostrarán al alumno los conocimientos básicos que en las ramas del conocimiento han de serle de utilidad para resolver los problemas que se le presenten tanto en la empresa como en el hospital, ya que la tecnología que utilizará cambiará de año en año. Lo fundamental es tener la destreza para amoldarse a las situaciones cambiantes con una sólida base científica, por lo tanto, cualquiera de los alumnos que quiera cursar el máster en Física Médica debe tener el bagaje científico que proporciona un grado en Ciencias de la Salud, Física, Química, Matemáticas o Ingeniería.

Todas estas disciplinas sirven de fundamento a la Física Médica y sus aplicaciones, por lo que deberá afrontar el reto de adquirir los conocimientos básicos del resto de las ciencias y tecnologías que no cursó en su grado. Este máster no pretende formar clones de posgraduados con los mismos conocimientos, pretende individualizar las enseñanzas para que cada alumno aproveche al máximo sus potencialidades así como su formación previa.



[Vuelta al índice general](#)

Objetivos

Puesta en contexto de la Física Médica a lo largo de la historia

Física y medicina parecen dos ciencias sin espacios comunes; sin embargo, la historia nos ha demostrado la inexactitud de la afirmación anterior. La Física Médica como tal disciplina nació hace poco más de 100 años. Posiblemente sea el descubrimiento de los rayos X el momento culminante que cree la Física Médica como disciplina científica. A pesar de ello, las aplicaciones de la Física Médica datan de muchos años antes, aunque sea difícil determinar el momento histórico del nacimiento.

Un simple recorrido por la historia determinará los contenidos del máster en Física Médica. Es en este contexto que se enuncian, a continuación, avances y, por tanto, áreas de conocimiento que se han desarrollado para conformar la Física Médica.

En el siglo XVII el pensamiento científico empezó a jugar un papel importante en el desarrollo de la medicina y de la física, simultáneamente. Se dieron con frecuencia situaciones en las que una misma persona realizó aportaciones relevantes a ambas ciencias. Podemos citar el caso de William Gilbert (1544-1603), pionero en estudios de electricidad y magnetismo, quien fue también médico de cabecera de la Reina Isabel I de Inglaterra.

En 1611, Santorio Santorio (1561-1636) introduce por primera vez una escala de medida del calor de un cuerpo, pudiendo considerarse la forma incipiente de termometría. Santorio se graduó en Medicina en la Universidad de Pádua, Italia, en 1582 a la edad de 21 años. En 1611, cuando introduce la escala calorimétrica antes mencionada, es nombrado Jefe de la Cátedra de Medicina Teórica de la Universidad de Padua, donde enseña hasta su retiro en 1624. La motivación de Santorio estaba asociada al hecho de que como médico, requería instrumentos de precisión para su práctica clínica y para sus trabajos de investigación. Sus estudios de metabolismo basal lo llevaron a introducir procedimientos experimentales de tipo cuantitativo en la investigación médica.

Con posterioridad, destaca también Luigi Galvani (1737-1798), anatomista, obstetra y biólogo. Al mismo tiempo descubre las corrientes eléctricas haciendo experimentos con ancas de rana, inaugurando así el área de la electrofisiología. Galvani publica en "Comentario sobre las Fuerzas de la Electricidad en Movimientos Musculares" (1791) el resultado de su trabajo y atrae de manera inmediata la atención de sus colegas. La explicación de lo ocurrido con su famoso arco

bimetálico despertó el interés de Alessandro Volta (1745-1827), profesor de física de la Escuela de Como desde 1775 y miembro de la Sociedad de Física de Zurich, Academia Francesa y Real Sociedad de Londres. Volta tenía 45 años cuando leyó los trabajos de Galvani. Inicialmente no creyó los resultados de Galvani, pero fue capaz de repetir dichos experimentos. Está inicialmente de acuerdo con Galvani, en cuanto a que el anca de rana se comporta como una botella de Leyden, pero pocos meses después sospecha que el anca funciona más bien como un detector y que la fuente de electricidad está fuera del animal. Al tomar los dos metales en contacto que forman el arco bimetálico y tocarlos con la lengua, Volta nota que a veces la sensación correspondía a ácido y otras veces a alcalino. La propuesta de explicación para el arco bimetálico conduce a la invención de la pila.

James Clerk Maxwell (1831-1879) inició estudios sobre el tema de la visión del color cuando estaba en Edimburgo, Escocia. Los fundamentos de la teoría del color, lo que constituye un capítulo de toda relevancia en óptica fisiológica, había sido desarrollada por Thomas Young (1773-1829). El análisis de la sensación del color ya había sido iniciado por Isaac Newton (1642-1727), quien combinando los colores espectrales obtiene el blanco y otros colores. Young descubre que cualquier color se puede describir en base a tres colores fundamentales. Con la ayuda de una peonza de colores, Maxwell continúa la investigación midiendo cuantitativamente diferentes mezclas de colores. También experimenta sobre diferentes individuos y estudia la sensibilidad de sus retinas, encontrando que un pigmento amarillo produce la sensación hoy conocida como la "mancha de Maxwell".

Un caso muy especial lo representa Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), quien comenzó estudiando medicina en el Instituto Médico de Wilhelm en Berlín, se graduó en 1843 y fue asignado a un regimiento militar en Postdam. Sirve como médico al servicio del ejército por cinco años y en las barracas continúa con sus experimentos. Trabajando en el campo de la fisiología, se convierte en un autodidacta de la física, matemáticas y música. Sus conocimientos de música y de física le van a permitir trabajar en el problema de la sensación del tono, que culmina con una publicación en 1863. En 1858 Helmholtz llega a ser profesor de anatomía y fisiología en la Universidad de Bonn y es durante este período que sus investigaciones se desplazan de la medicina hacia la física, como vemos siempre trabajó de manera realmente multidisciplinaria. Llega a ocupar la dirección de la Cátedra de Física en la Universidad de Berlín en 1871 y en 1888 toma la dirección del Instituto Fisicotécnico de Berlín. Hizo muchas contribuciones en fisiología, óptica, acústica, matemáticas, electrodinámica, meteorología, pero por la que más se le recuerda en el área de física es por haber establecido en 1842 en una importante publicación, la ley de la conservación de la energía, que constituye la primera ley de la termodinámica. En 1880 toma a Heinrich Hertz (1857-1894) como asistente y le asigna como tema de investigación el estudio de lo que ocurría con un circuito cuando se interrumpía de manera muy rápida el paso de corriente. Esta línea de trabajo lleva a que Hertz descubra las ondas de radio y al mismo tiempo contribuya a consolidar

la teoría electromagnética propuesta por James Clerk Maxwell (1831-1879), que, hasta ese momento, había tenido una difícil inserción en la comunidad científica. Probablemente Helmholtz no sea considerado como el creador de la Física Médica moderna pero sí como el primer físico médico de formación fundamentalmente multidisciplinar.

Finalizando el siglo XIX, el 8 de noviembre de 1895, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) estaba trabajando en su laboratorio de Wurzburg. En su trabajo experimental estaba concentrado en luz y otras emisiones que eran generadas por descargas en tubos de vidrio con alto vacío. Röntgen estaba particularmente interesado en los rayos catódicos y en la determinación del alcance de los mismos fuera del tubo de descarga. Röntgen descubrió que, cuando el tubo cubierto estaba cargado, un objeto muy separado de este último comenzaba a emitir luz. El objeto en cuestión era una pantalla cubierta de un compuesto de bario y, ciertamente, estaba muy lejos del dispositivo experimental como para pensar que los rayos catódicos estaban relacionados con el efecto. En los días siguientes realiza toda una serie de cuidadosos experimentos y al hacer diversas manipulaciones llegó a observar accidentalmente los huesos de su mano. Había nacido oficialmente la Física Médica.

Röntgen había descubierto los rayos X, pero además comprendió de forma inmediata el valor de su descubrimiento para la medicina. El 28 de diciembre de ese mismo año produce un primer artículo que publica bajo el título *Über eine neue Art von Strahlen*. Este artículo es entregado al presidente de la Sociedad Físico-Médica de Wurzburg e incluye la primera radiografía de que se tiene registro en la historia, donde aparece la mano izquierda de su esposa. En las semanas siguientes, y como consecuencia de esto, se difunde rápidamente la información sobre el poder de penetración de los rayos X y su potencial uso en el diagnóstico médico, sin reparar inmediatamente en posibles efectos adversos.

Tras el descubrimiento de Röntgen, Thomas Alva Edison (1847-1931) apostó fuertemente por perfeccionar el método de Röntgen de ver bajo la piel. Su esfuerzo por obtener una radiografía del cerebro mantuvo a los representantes de los medios de comunicación aguardando durante semanas fuera de su laboratorio. Este esfuerzo produjo el primer aparato de fluoroscopia portátil. Tras los primeros prototipos de Edison apareció una gran oferta de aparatos de rayos X a precios tan bajos que prácticamente cualquiera podía producir una radiografía. En un par de meses, a mediados de febrero de 1896, ya había pacientes que solicitaban a los médicos el uso de radiografía en el diagnóstico de fracturas de hueso. Este comienzo del año 1896 representa el disparo de salida de la carrera científica relacionada con la Radiofísica. En enero de 1896 se trata por primera vez un paciente con cáncer empleando rayos X. Así mismo, la primera referencia de daño en tejidos humanos y en particular a la conjuntiva del ojo, producido por rayos X, tiene lugar en 1896 con el trabajo del ingeniero eléctrico Elihu Thomson (1853-1937). Edison también hizo contribuciones muy importantes en la mejora de

los tubos de rayos X y fue pionero en lograr imágenes de rayos X estereoscópicas. Su contribución más importante en este campo está relacionada con su experimento sobre el daño tisular producido por radiación.

A partir de este instante, se producen descubrimientos anuales, mensuales, que cambian la idea de la interacción entre la Física, la Matemática y la Medicina, así como ocurrió con Johann Radon (1887-1956) años más tarde (en 1917) con la famosa transformada Radon que permite la reconstrucción de señales bidimensionales a través del conocimiento de los valores de las proyecciones angulares.

En 1896, el físico francés Antoine Henri Becquerel (1852-1908) descubre la radioactividad. En 1897 Joseph John Thomson (1856-1940) anuncia el descubrimiento de partículas cargadas negativamente, que denominó electrones y Ernest Rutherford (1871-1937) encuentra dos tipos de radiación al estudiar la desintegración del núcleo de uranio, que llamó alfa y beta. En diciembre de 1898 los esposos, Marie (1867-1934) y Pierre Curie (1859-1906) descubren el elemento radio y Paul Villard (1860-1934) descubre los rayos gamma y encuentra que son similares a los rayos X.

Con la llegada del siglo XX se establece oficialmente la relación entre la Física y la Medicina. Se otorga el primer Premio Nobel en Física a Wilhelm Conrad Röntgen por su descubrimiento de los rayos X. En 1901 Becquerel se quema accidentalmente al colocar radio, elemento que había sido descubierto por los Curie, en el bolsillo de su chaleco y lo refiere en un artículo que publica ese mismo año. Al saber esto, Pierre Curie se produce una quemadura similar en forma deliberada. Pocos meses después se descubre que el elemento radio podía ser útil en medicina e inmediatamente se funda el Hospital del Radio en París. En junio de 1901 Marie Curie y Henri Becquerel publican un trabajo conjunto bajo el título *Les Effets Physiologiques des Rayons du Radium*, donde se describen los efectos sobre tejido vivo de la radiación producida espontáneamente por el elemento radio y en noviembre de ese mismo año Henri Danlos (1844-1912), médico dermatólogo, publica los primeros resultados del tratamiento de lupus con radiaciones de radio.

Hay que destacar que desde el descubrimiento de los rayos X y su aplicación al diagnóstico médico por Röntgen, se sucedieron múltiples avances en cuanto a la mejora de las imágenes obtenidas y la protección radiológica de médico y paciente, como la reducción de las dosis que trajo el uso de placas radiográficas (F.H. Williams, 1896) y con la introducción de los blindajes y los colimadores que eliminan la radiación dispersada (E.A.O. Pasche, 1903; Gustav Bucky, 1913). Estos avances popularizan el diagnóstico por imagen proyectiva de rayos X.

En 1906 Hans Geiger (1882-1945) y Ernest Rutherford desarrollan un instrumento para contar partículas alfa. Con la ayuda de W. Müller (1870-1910), este dispositivo fue mejorado para poder detectar y contar otros tipos de radiación. En

1908 P. von Villard propone una unidad de dosis basada en la ionización del aire producida por rayos X. En 1909 Marie Curie funda el Instituto del Radio que será una futura referencia en física nuclear y radioquímica.

En 1911 Marie Curie gana nuevamente un Premio Nobel, aunque esta vez en Química por el descubrimiento del polonio y del radio. Trabaja en la aplicación de los rayos X en el diagnóstico médico y particularmente en el tratamiento de los soldados heridos en acción, contando con la ayuda de su hija Irene (1897-1956).

En la década de los veinte, muchos físicos destacan significativamente en trabajos relacionados con la solución de problemas de aplicación médica con radiaciones ionizantes. Estos problemas tenían que ver mayoritariamente con radioterapia, protección radiológica, imagen médica y radiobiología.

En 1922 Arthur Holly Compton (1892-1962) descubre el cambio en la longitud de onda de los rayos X dispersados que se conoce como efecto Compton. Posteriormente, en 1925, se hacen evidentes los riesgos en el uso del radio cuando un considerable número de mujeres en la industria de pinturas, que se habían expuesto a pintura luminiscente que contenía radio, manifestando anemia y lesiones mandíbula y boca. Algunas de estas personas llegaron a desarrollar después cáncer en los huesos. Los mismos síntomas se observan en pacientes que recibieron compuestos de radio internamente para el tratamiento de artritis y otras enfermedades y como consecuencia en la década siguiente se suspende completamente esta forma de terapia.

En 1928 la Comisión de Medidas y Unidades propone el Röntgen como medida internacional de dosis. Geiger y Müller desarrollan un tubo mejorado (el contador Geiger) basándose en lo desarrollado por Geiger y Rutherford en el 1906. Otto Glasser (1895-1964), Urdus Portmann (1887-1966) y Valentine Seitz construyen un dosímetro para medir rayos X y radiación proveniente de sustancias radioactivas.

Los aceleradores electrostáticos aparecen con Robert Jemison Van de Graaff (1901-1967) durante su estancia en el Instituto Tecnológico de Massachussets junto con Karl Taylor Compton (1887-1954).

En la década de los treinta se desarrolla el ciclotrón, basado en corrientes alternantes, desarrollado por Ernest Orlando Lawrence (1901-1958) en el campus de Berkeley de la Universidad de California con un primer prototipo a pequeña escala en 1932. Ya en 1933, Lawrence y sus colaboradores logran completar y poner en funcionamiento en su escala definitiva el ciclotrón, que se convierte en una fuente copiosa de neutrones, descubiertos por Sir James Chadwick el año anterior en 1932 al chocar protones con un blanco. Ernest Lawrence y sus colaboradores (entre ellos su hermano John y Paul Aebersold) realizaron experimentos exponiendo ratas al haz de neutrones generado y encontraron que la

radiación de neutrones rápidos era dos veces y media más efectiva que los rayos X en cuanto a su capacidad para producir la muerte, comenzado a realizar los cálculos del blindaje necesario para las instalaciones próximas al ciclotrón.

Un año más tarde, en 1934 Frederic Joliot (1900-1958) y su esposa, Irene Joliot-Curie producen radioactividad artificial por bombardeo de átomos de aluminio con partículas alfa obtenidas de una fuente de polonio.

En 1937 se instala un acelerador de Van de Graaff en la Escuela de Medicina de Harvard que, por frenado de los electrones que aceleraba, producía fotones con una energía de un millón de electrón-voltios (MeV) en el sitio donde debía aplicarse el tratamiento, comenzando en 1939 el tratamiento de pacientes con cáncer con haces de neutrones producidos por colisión con un blanco de protones provenientes de un ciclotrón.

En 1940 Donald Kerst (1911-1993) construye el betatrón con el cual los electrones pueden acelerarse y llevarse a energías de 20 millones de electrón-voltios (MeV) y luego hasta 300 MeV. Más tarde en la década de los años cuarenta aparece el uso de radionúclidos tanto para propósitos de diagnóstico como con fines terapéuticos. Estos radionúclidos eran producidos primero en reactores nucleares, pero la aparición de aceleradores de partículas permitió considerar alternativas.

Desde mediados de los años cuarenta, y en forma creciente, los físicos son empleados en hospitales y clínicas como físicos de radiaciones. Estos físicos hacen contribuciones importantes a la mejora de los equipos y técnicas radiográficas, dosimetría y seguridad radiológica.

El número de descubrimientos y de aplicaciones tales como la introducción de las unidades de teleterapia en 1951, aceleradores lineales de electrones para uso terapéutico con Co^{60} (en 1952 en el hospital Hammersmith de Londres), nuevas técnicas nucleares, ordenadores para la planificación de tratamientos (a comienzos de los años 1960) y posteriormente del tratamiento digital de imágenes, el número de físicos médicos clínicos creció aún más rápidamente durante las décadas de los años cincuenta, sesenta y setenta.

Cabe señalar como hitos más importantes de esta época la invención en 1972 de la tomografía de rayos X (Computer Tomography, CT o TAC, Tomografía Axial Computerizada) por Allan Cormack (1924-1988) y Godfrey Hounsfield, y la contribución de Raymond Damadian (1936- , médico y físico), Peter Mansfield (1933-) y Paul Lauterbur (1929-) en el desarrollo de resonancia magnética nuclear en 1973. En 1979 Cormack junto con Hounsfield recibieron el premio Nobel en Medicina, lo mismo que Mansfield y Lauterbur, en 2003.

Notemos que la obtención de información de profundidad a partir de las imágenes proyectivas se inició hace más de 100 años, en 1896 por E. Thomson (Stereoscopic Roentgen Pictures, Electr Eng, 1896), con el empleo de técnicas estereográficas. Alrededor de la primera guerra mundial, estas técnicas se popularizaron y se desarrollaron; el polaco Mayer (1914), el italiano Baese (1915) y el francés Bocage (1921) desarrollaron independientemente técnicas planigráficas en las que, mediante un barrido hecho manteniendo en cada instante un único plano enfocado, se podían generar imágenes de cortes anatómicos. En los años 1930, A. Villabona y Ziedses des Plantes elaboran dos técnicas paralelas de obtención de imagen tomográfica, aunque basadas en los mismos principios de focalización selectiva. Esto se podría llamar tomografía analógica por rayos X.

En los años 1950, el físico sudafricano Cormack, estudiando los coeficientes de absorción de los rayos X por los distintos tejidos (por tanto, espacialmente variables), encontró un método matemático para inferir sus valores a partir de los valores proyectivos medidos. El método es la transformada de Radon, introducida por este matemático austriaco (en 1917) en el estudio de los campos gravitatorios. Los resultados publicados (en el Physical Review, 1963) le valieron el premio Nobel en 1979. El procesado digital de datos fue introducido, en 1972, por G. N. Hounsfield (sin previo conocimiento de los resultados de Radon ni de Cormack). La posibilidad de obtener imágenes clínicas del corte anatómico fue la que introdujo la tomografía axial computedrizada en la práctica médica definitivamente (y es la razón por la que compartió el premio Nobel con Cormack). Esta técnica aúna física, matemáticas y procesado automático de la información.

La hipótesis de Pauli en 1924 de la existencia de un espín nuclear, análogo al del electrón (puesto de manifiesto por Stern y Gerlach en 1922) es el punto de partida de otra técnica tomográfica de imagen médica, la resonancia magnética nuclear (RMN). En 1937 I. Rabi midió el momento magnético asociado a dicho espín y nueve años más tarde (en 1947) se describió por primera vez la absorción-emisión resonante de radiación electromagnética por los núcleos atómicos (F. Bloch y E. Purcell, que recibieron por ello el premio Nobel en 1952). Esta técnica se empezó a usar, desde entonces, como método espectrográfico para el análisis de compuestos químicos.

La aplicación biomédica de esta técnica no llegó hasta los años 1960, en los que Hutchinson, obtuvo las primeras imágenes de ratones, mientras que R. Damadian y de Hollis mostraban la capacidad de la nueva técnica de discriminar entre tejido sano y tumoral, basándose en los diferentes tiempos de relajación de los dos tipos de tejidos: la RMN permite la discriminación funcional de tejidos.

En aproximadamente las mismas fechas, Lauterbur intentó obtener imágenes a partir de señales de resonancia magnética, usando para ello un método de proyección similar al de la tomografía. Posteriores intentos en 1974 en la Universidad de Aberdeen, en 1977 por parte del propio Damadian, en 1976 por Mansfield, produjeron imágenes a partir de señales de resonancia magnética nuclear, pero con tiempos impracticables para su uso clínico. La introducción, a finales de los 1970 de la selección de cortes mediante gradientes de campo magnético, permite aplicar la técnica a humanos y presentar, en 1980, las primeras imágenes de un cráneo. En 1981, el grupo de EMI Ltd. (en los Estados Unidos), reemplaza los métodos de reconstrucción tomográfica, empleados hasta entonces, por el de transformada inversa de Fourier, que permite adquirir cortes bidimensionales.

La técnica reduce también el ruido inherente a la RMN, mediante el uso de imanes superconductores (antes se usaban imanes permanentes que introducían deformaciones en la imagen, que además era muy ruidosa). El estado superconductor fue descubierto por H. K. Onnes en 1911, aunque las propiedades magnéticas de este estado, como el efecto Meissner, no fueron descritas hasta 1933, ni explicadas hasta la introducción del modelo de J. Bardeen, L. Cooper y R. Schrieffer, en 1957. Con los imanes superconductores se producen campos magnéticos del orden de 1-3 Teslas: cuanto mayor campo, mejor calidad de la señal. En ese momento se introduce la RMN en la práctica clínica, ya que esta herramienta matemática permite reducir los tiempos de adquisición, por lo que se reducen también los artefactos de movimiento. Todo el procesamiento de información se lleva a cabo de manera automática, por lo que la RMN incorpora por primera vez un ordenador como elemento fundamental.

Durante todas esas décadas de rápido crecimiento en términos de puestos de trabajo, el área de trabajo de la Física Médica también creció y hoy en día cubre los campos de la radiología y de radiaciones no ionizantes (ultrasonido, ultravioleta, radiofrecuencia y radiación láser). También cubre áreas en ciencias de la computación y electrónica, de reciente introducción en la práctica médica, en colaboración con matemáticos, ingenieros electrónicos e informáticos.

Este breve paseo por la historia nos ha permitido definir las materias que conforman este plan de máster. Materias como matemáticas, física, química, biología y tecnología agrupan a las asignaturas como, por ejemplo, física nuclear, protección radiológica, anatomía, fisiología, patología, etc... a desarrollar en este máster en Física Médica.

Objetivos generales del máster

El principal objetivo es la formación avanzada, tanto académica como profesional, en Física Médica, enlazando los conocimientos básicos de Física y Matemáticas con las aplicaciones más actuales de la Física en el campo de la

medicina clínica y de la biomedicina tanto a nivel académico como a nivel profesional dentro de los hospitales o en las empresas dedicadas a la investigación y desarrollo de dispositivos.

Podemos explicitar este objetivo como la formación a nivel superior de físicos, médicos o profesionales con preparación equivalente en áreas de física médica, en respuesta a la demanda actual y futura en el sector de la salud (tanto público como privado) de esta clase de expertos, así como también crear y preparar a los futuros investigadores que desarrollen el área en nuestro país.

Se pretende desarrollar el curriculum de los futuros físicos médicos en grandes áreas como diagnóstico, radioterapia, medicina nuclear y procesamiento de señales.

Un segundo objetivo del máster en Física Médica es presentar una oferta para ampliar y mejorar el conocimiento que el personal "paramédico" (con nivel de diplomatura) tiene de la actividad relacionada con Física Médica. A tal efecto se ofrece la posibilidad de seguir este máster con unos itinerarios confeccionados específicamente para estos titulados.

En el caso del Máster en Física Médica se ha confeccionado un primer curso que denominamos de Adaptación Curricular orientado a poner en un mismo nivel de lenguaje (y de conocimiento a nivel instrumental en física, matemáticas y medicina) a todos los alumnos, de forma que puedan afrontar con garantías de éxito, el segundo curso de dichos estudios de máster donde aparece, de forma específica, la intensificación. Este primer curso (CAC) proporciona también la adaptación curricular necesaria por la variada procedencia de los alumnos de la UNED.

Objetivos específicos globales y mapa de competencias

Entendemos competencia como el conjunto de conocimientos, destrezas y actitudes combinados, coordinados e integrados. Es decir, cada competencia comporta el desempeño de una función, bien profesional bien investigadora que requiere de una aplicación conjunta de conocimientos, destrezas y habilidades adquiridas a lo largo del proceso formativo; en este caso, a lo largo del máster en Física Médica. En este sentido, y de forma global, se muestran los objetivos específicos generales del máster en Física Médica. Estos objetivos específicos generales se desarrollarán posteriormente de manera a guiar al claustro del máster para la confección de programas agrupados por materias, asignaturas y temas. El desarrollo más simple de estos objetivos específicos generales se puede agrupar en tres grandes grupos, dependiendo de que sean conocimientos, destrezas y habilidades. Más concretamente:

- Destreza para diseñar procedimientos de uso controlados de los instrumentos mecánicos, eléctricos, ópticos y electrónicos para las operaciones requeridas por el personal biomédico, dentro de sus competencias como físico médico.
- Habilidad de llevar a cabo la adecuación de los procedimientos de adquisición de imágenes, su interpretación física y su mejora informática, para la mejor interpretación por los profesionales médicos.
- Destreza para analizar, recomendar y, en su caso, realizar medidas de exposición y planes de protección radiológica, dentro de sus competencias como físico médico.
- Destreza para realizar el análisis de señales proporcionadas por los distintos aparatos de medida de señales biomédicas (fonograma, electrocardiograma, electroencefalograma, electromiograma, imágenes de rayos X, tomografías, cortes/volúmenes por resonancia magnética, ecografías, ecografías Doppler, etc.) empleando las técnicas matemáticas más adecuadas de filtrado o descomposición espectral, o multirresolución, que pongan de manifiesto cuantitativamente las características más relevantes para el diagnóstico.
- Habilidad de adaptar o crear nuevos modelos de sistemas biológicos y fisiológicos, implementarlos numéricamente y obtener resultados predictivos que puedan servir de orientación en la práctica médica.
- Conocimiento de las bases científicas de los procesos biológicos y bioquímicos más relevantes para la toma e interpretación básica de datos en medicina.
- Conocimiento de la mecánica del cuerpo humano y de los métodos de análisis numérico de ésta, basados en modelos físicos de la dinámica.
- Conocimiento de la mecánica de fluidos biológicos y de los métodos de medida de las propiedades de éstos (presión, caudal, volumen, viscosidad).
- Conocimiento de las bases físicas del funcionamiento de los instrumentos mecánicos, eléctricos, ópticos y electrónicos más empleados en la práctica médica moderna.
- Conocimiento de las bases físicas de la generación de imágenes médicas, así como de los procesos de adquisición y postprocesado y los elementos que las pueden corromper durante éstos.
- Conocimiento de las bases físicas y operativas de los procedimientos, técnicas e instrumentos empleados en medicina nuclear.
- Conocimiento de las técnicas de modelado matemático más relevantes dentro del campo de la física y de la medicina.
- Conocimiento de los fundamentos de informática necesarios para comprender la interconexión de los distintos sistemas de información hospitalaria y las estaciones de control, adquisición y visualización de los dispositivos de adquisición de datos y medida más empleados.

- Conocimiento de los fundamentos de estadística aplicada a las ciencias biomédicas y capacidad para interpretar y expresar los resultados de sus intervenciones como físico médico según la metodología de medicina basada en la evidencia.
- Conocimiento de los fundamentos matemáticos y físicos necesarios para poder entender las nuevas técnicas de medida y adquisición de señales e imágenes biomédicas, así como su posterior postprocesado y extracción de la información relevante, que se introduzcan en los próximos años.
- Habilidad de intercambiar información y responder a las necesidades expresadas por profesionales biomédicos, dentro de sus competencias como físico médico.
- Habilidad de reconocer la información que pueda ser más relevante para el profesional biomédico y diseñar o seleccionar los métodos y técnicas físicas para su determinación cuantitativa

Objetivos específicos según EEES

Los anteriores objetivos específicos generales del máster de Física Médica han sido desarrollados siguiendo dos líneas diferentes de interés: agrupándolas bien por materias, asignaturas y temas (lo que permite al alumno saber cuales son los objetivos por materias) bien por objetivos aislados que nos indican la transversalidad de los conocimientos, destrezas y habilidades que se supone adquirirá al final del proceso de aprendizaje. Dada la extensión de dichos objetivos, en ambos casos, hemos decidido no introducirlos en esta sección ya que podría apartar al lector de un seguimiento simple y lineal de este documento, y mantenerlos al final del documento para su consulta, en caso de necesidad.

Comentarios sobre los contenidos

Las orientaciones serán diferentes dependiendo del perfil elegido por el alumno, siempre bajo la supervisión de su tutor-orientador (que jugaría un papel análogo al de los tutores en las universidades británicas) y las destrezas y competencias, genéricas o específicas, están supeditadas a la formación de entrada y al destino elegido por el alumno, para lo que se han confeccionado diferentes itinerarios y perfiles en función del grado con que se accede al máster de Física Médica.

El enfoque del Máster en Física Médica tiene dos facetas muy diferenciadas: perfil profesional o perfil académico e investigador.

El perfil profesional está dirigido a alumnos que deseen adquirir conocimientos que sean de relevancia para su presentación a un concurso oposición que lleve a la obtención de un puesto en la administración de salud, a través de las convocatorias de FIR que dan acceso a la titulación de Radiofísico de Hospital. Otros destinatarios son los titulados medios de los servicios de Electromedicina de los hospitales públicos, o de los servicios de mantenimiento de dispositivos no implantables en hospitales públicos o privados, o bien, de los departamentos de investigación y desarrollo de dispositivos médicos, o biomédicos en compañías de desarrollo y construcción de grandes equipos médicos.

Los otros perfiles son el académico y el orientado a la realización de una tesis doctoral. Una encuesta reciente a los egresados de nuestra titulación de CC Físicas revela que muchos de ellos muestran un gran interés por la relación de la Física con los seres vivos y los procesos físicos involucrados en su desarrollo. En parte, este perfil está pensado para ellos. La especialización, como inicio a la investigación y con el objetivo de realizar una tesis doctoral contempla una gran optatividad.

Los itinerarios a seguir son diferentes en cada perfil considerado y cada alumno dispondrá de un tutor-orientador encargado de dirigir su formación de la manera más conveniente.

Como se puede observar, este máster en Física Médica es interdepartamental y multidisciplinario con la mayoría de la docencia impartida por profesores de los tres Departamentos de las Secciones de Físicas y Matemáticas de la Facultad de Ciencias de la UNED y la colaboración de profesores de Departamentos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la UNED y del Hospital General Universitario “Gregorio Marañón” de Madrid. Éstos últimos se encargarán de la realización de las prácticas correspondientes a las materias directamente relacionadas con la Medicina, las imágenes médicas y la instrumentación biomédica. Además se contará con la colaboración de uno o dos profesores de dicho hospital para la confección de programas, exámenes, etc.

La carga lectiva total del máster es de 120 créditos. El alumno deberá cursar estos 120 créditos a lo largo de su formación dentro del máster, pudiendo estar encaminado o no al posterior acceso al programa de doctorado. Las materias que deban cursar dependen de su formación previa, habiéndose diseñado diferentes itinerarios dependiendo de la titulación de entrada a los estudios de máster así como del perfil a obtener deseado por el alumno. Esta dependencia de las materias a cursar, tanto de la titulación de entrada como del itinerario final, lleva a una estructura del máster

ramificada y abierta con una gran optatividad. En media tendrá que realizar 60 créditos por período docente, aunque esta cifra puede variar ligeramente de un perfil a otro.

El número total de créditos ofertados es de 180, con 84 créditos en el primer curso y 96 en el segundo curso.

Hay que destacar que la optatividad del máster se ve reducida ligeramente cuando el estudiante sigue el perfil de iniciación a la investigación y aumenta notablemente para los que se dedican al perfil académico. La disponibilidad de créditos optativos oscila entre 6 y 36 (estos datos referidos exclusivamente a las materias ofrecidas dentro del máster).

Hay un número elevado de asignaturas que requieren prácticas. Algunas de ellas se desarrollarán en los laboratorios de los departamentos de la sección de Físicas de la UNED, tales como:

- Física Atómica y Nuclear
- Electromagnetismo y Óptica
- Biología Celular
- Interacción Radiación-Materia
- Protección Radiológica
- Electrónica
- Física Biomédica I

Dentro del convenio existente entre la UNED y el Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid, se llevarían a cabo las prácticas correspondientes a las asignaturas de

- Fundamentos Físicos de la Imagen I y II
- Instrumentación

El interés de este máster es impartir una docencia que tenga una relación directa con las salidas profesionales de los alumnos a los que se prepara. Por tanto, las prácticas de estas asignaturas están encaminadas hacia el conocimiento de los fundamentos de la obtención de imágenes y no a los protocolos particulares de obtención de las mismas. A los resultados obtenidos de la aplicación de ciertas tecnologías y no a cómo se obtienen en tal o cual modelo de dispositivo. El objetivo es dar a conocer las técnicas a las que se deberá de enfrentar el profesional, y no el análisis del detalle propio de los técnicos sanitarios encargados de obtenerlas. Estas mismas reglas se aplican a las asignaturas de Anatomofisiopatología I y II y Fisiología.

Uno de los problemas más comunes para los físicos dedicados a las aplicaciones en medicina, así como para los médicos dedicados a una medicina con baja carga asistencial, es la falta de un lenguaje común. Uno de los objetivos del primer año de este máster, el Curso de Adaptación Curricular (CAC), es proporcionar las herramientas necesarias para que todos los profesionales dominen un lenguaje común y dispongan de unos conocimientos instrumentales básicos en física, matemática aplicada y medicina. Por lo tanto, no se pretende que los alumnos de, por ejemplo, Ciencias Físicas sean capaces de diseccionar una arteria aorta, pero sí deben conocer sus características de grosor, color, longitud, posición, etc... Tampoco deberán ser expertos patólogos, pero sí estar acostumbrados a distinguir unas patologías de otras, la ubicación de los distintos órganos, así como su funcionamiento en régimen de “salud” y sus posibles anomalías que dan lugar a dichas patologías, así como las distintas respuestas a la agresión con las que se defiende el cuerpo humano. Es, en este punto donde se es fundamental la colaboración de los profesionales del Laboratorio de Imagen Médica del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid.



Vuelta al índice general

Claustro del máster

A continuación se especifican los profesores que forman parte del claustro del máster así como de las asignaturas del programa de máster, especificando a qué departamento pertenecen.

Asignatura	Profesores/Departamento
Análisis de Decisiones en Medicina	Francisco Javier Díez Vegas Manuel Arias Calleja Depto. Inteligencia Artificial
Anatomofisiopatología I	María del Mar Desco Menéndez Depto. Física Matemática y de Fluidos
Anatomofisiopatología II	María del Mar Desco Menéndez Depto. Física Matemática y de Fluidos
Bioestadística	Alfonso García Pérez Depto. Estadística, Investigación Operativa
Biología celular	Gloria Morcillo Ortega Depto. Física Matemática y de Fluidos
Bioquímica	Estrella Cortés Rubio Depto. Física Matemática y de Fluidos
Complementos Matemáticos FM-I	Francisco Javier Cirre Torres Depto. Matemáticas Fundamentales
Complementos Matemáticos FM-II	Alberto Borobia Vizmanos Beatriz Estada López Depto. Matemáticas Fundamentales
Electromagnetismo y Óptica	Carmen Carreras Bejar Manuel Pancorbo Castro Depto. Física de los Materiales
Electrónica	María del Mar Montoya Lirola Física de los Materiales Miguel Angel Rubio Álvarez

	Depto. Física Fundamental
F Biomédica I	José Carlos Antoranz Daniel Rodríguez Pérez Manuel Arias Zugasti Cristina Santa Marta Pastrana Depto. Física Matemática y de Fluidos
F Biomédica II	Elka Korutcheva Depto. Física Fundamental
Física Atómica y Nuclear	Manuel Yuste Llandrés María Shaw Martos Amalia Williard Torres Depto. Física de los Materiales
Física Fluidos Biológicos	José Luís Castillo Gimeno Pedro L. García Ybarra Depto. Física Matemática y de Fluidos
Física Matemática	José Carlos Antoranz Manuel Arias Zugasti Depto. Física Matemática y de Fluidos
Física Moderna	Alvaro Perea Covarrubias Manuel Arias Zugasti Depto. Física Matemática y de Fluidos
Fisiología	José Luís Martínez Guitarte Depto. Física Matemática y de Fluidos
Fundamentos Físicos Imagen I	José Carlos Antoranz Daniel Rodríguez Pérez Cristina Santa Marta Depto. Física Matemática y de Fluidos
Fundamentos Físicos Imagen II	José Carlos Antoranz Daniel Rodríguez Pérez Cristina Santa Marta Depto. Física Matemática y de Fluidos

Informática para Física Médica	Roberto Hernández Berrinches Ángel Pérez de Madrid y Pablo Depto. Sistemas de Comunicación y Control
Instrumentación	José Carlos Antoranz Daniel Rodríguez Pérez Cristina Santa Marta Depto. Física Matemática y de Fluidos
Interacción Radiación-Materia	María Shaw Martos Amalia Williard Torres Depto. Física de los Materiales
Métodos Numéricos	Emilia Crespo del Arco Mar Serrano Maestro José Javier García Sanz Depto. Física Fundamental
Modelado Sistemas Biológicos	Rubén Díaz Sierra Pedro Córdoba Torres Depto. Física Matemática y de Fluidos
Protección Radiológica	Amalia Williard Torres María Shaw Martos Depto. Física de los Materiales
Simulación Sistemas Biológicos	Pedro Córdoba Torres Rubén Díaz Sierra Depto. Física Matemática y de Fluidos
Tratamiento Señales	José Carlos Antoranz Daniel Rodríguez Pérez Manuel Arias Zugasti Cristina Santa Marta Depto. Física Matemática y de Fluidos



Vuelta al índice general

Estructura del máster

Estructura curricular del máster

El primer curso del máster está programado para adaptar los currícula de los alumnos matriculados en función de los estudios de procedencia. Cada titulación tiene itinerarios específicos, así como son específicos según la línea a seguir dentro del máster (académica, investigación y profesional).

El segundo año del máster está configurado en líneas dedicadas a la imagen médica, a la radiofísica o a una Física Médica avanzada mediante modelado y simulación de sistemas biológicos de alta complejidad que conducen a un trabajo inicial de investigación, y consecuentemente después a la realización de la tesis doctoral. Se acompañan las asignaturas básicas con un número de asignaturas optativas en cada semestre para complementar los conocimientos de los alumnos.

Los contenidos del primer año son de dos tipos: básicos (según el grado de acceso al máster) y unas pocas asignaturas complementarias optativas para una primera toma de contacto con la Física Médica.

El segundo curso está compuesto de un módulo común, con un reducido número de asignaturas que dan lugar al nombre del máster más un número de asignaturas complementarias, siempre en relación a la titulación de acceso al máster, así como con las asignaturas optativas que complementarán la formación del alumnado.

Planificación de materias y asignaturas

La especificación de esta guía docente describe de forma individual cada una de las asignaturas. En cada una de ellas se especifica la titulación, el órgano responsable, el nombre de la asignatura, su situación en el programa, el profesorado, así como la calificación en obligatoria u optativa en función de la titulación de entrada en el máster de Física Médica.

A continuación se muestra un cuadro guía que clarifica los diferentes itinerarios, perfiles y clasificación de las asignaturas que conforman el máster en Física Médica. Posteriormente se desarrollará para cada uno de los perfiles o intensificaciones y para las diferentes titulaciones a las que se abre el máster.

En el cuadro guía se especifican, por colores, las características de cada asignatura, así como si son créditos de primer o segundo año. Todas las asignaturas del máster, excepto el trabajo comienzo a la investigación (TCI) del máster tienen una carga docente de 6 créditos, incluido el trabajo fin de máster (TFM). Los códigos de color son los siguientes: a) Rojo. Asignatura que no debe ser cursada por los alumnos con esa procedencia académica o titulación de acceso; por ejemplo, Fisiología, para un licenciado en Medicina. b) Gris. Asignatura obligatoria del año de adaptación curricular. c) Amarillo. Asignatura troncal obligatoria de segundo año. d) Verde. Asignatura optativa de primer o segundo año. e) Marrón. TFM de 6 créditos. f) Trabajo TCI de 18 créditos. La leyenda de perfiles es A académica, I investigación y P profesional.

Trabajo fin de Máster

El trabajo fin de máster es obligatorio para todos los estudiantes del máster de Física Médica, tal y como obliga la nueva ley sobre el desarrollo de cursos de máster. Existen dos tipos diferentes de trabajos de fin de máster:

- Trabajos de 18 ECTS
- Trabajos de 6 ECTS

El primero de los trabajos se denomina TCI (trabajo de comienzo de la investigación) y se encamina a la realización de una tesis doctoral en la UNED. Este TCI se desarrollará bajo la supervisión del director de la tesis doctoral elegido por el estudiante (de mutuo acuerdo) y seguirá las normas de las correspondientes comisiones encargadas del seguimiento de la docencia del máster. La presentación, la extensión y demás detalles del trabajo del estudiante para la obtención de los 18 créditos del TCI serán los que el citado director estime oportunos, dentro del margen que determine la comisión correspondiente de seguimientos de TCIs. El tribunal que juzgue los TCI, dado que su número será poco elevado, se reunirá a petición del estudiante y siempre que cuente con el visto bueno del director de la tesis. Se procurará reunir el mayor número de presentaciones de TCIs posibles en cada convocatoria.

Los trabajos de 6 ECTS se denominarán TFM, y seguirán las siguientes pautas:

- El claustro de profesores del máster ofertará un número de propuestas de trabajo nunca inferior al número de estudiantes matriculados en el segundo año del máster.
- Este profesorado indicará el número máximo de alumnos que desea autorizar en el correspondiente semestre.
- Los TFM podrán ser defendidos públicamente por los estudiantes sólo en el caso de que el tutor valore previamente de forma positiva el trabajo del estudiante.
- Existirán dos convocatorias por semestre para la presentación de los TFM que se publicarán al comienzo de cada semestre.

- La presentación del TFM podrá ser realizada de forma presencial o mediante videoconferencia. Los horarios de las videoconferencias se adaptarán a las propuestas por el Máster, puesto que se avisará con suficiente antelación.
- El tribunal del TFM estará formado por tres profesores del claustro del máster, de los que uno de ellos será el tutor asignado al estudiante. Uno de los miembros del tribunal, a petición del tutor del trabajo, puede ser externo al citado claustro del máster.
- La extensión máxima del TFM será de 30 páginas tamaño A4, escritas en Arial-10, a espacio y medio. No se tiene en cuenta ni el número de figuras ni de tablas.
- El estudiante cumplimentará un formulario donde se indicará su nombre, el título del trabajo a presentar, el nombre del tutor con el visto bueno para su presentación y un pequeño resumen inferior a trescientas palabras donde se pongan de manifiesto de forma sucinta el trabajo llevado a cabo.
- El TFM debe seguir, obligatoriamente, el siguiente esquema de desarrollo:
 - Introducción
 - Objetivos
 - Material y métodos
 - Resultados
 - Discusión de resultados
 - Conclusiones
 - Referencias
- La presentación tendrá una duración máxima de 15 minutos, para pasar a una discusión con el tribunal no superior a los 15 minutos.
- El estudiante presentará cuatro copias encuadernadas de su TFM a la dirección del máster; de las cuales tres serán entregadas al tribunal y una quedará en custodia del secretario del máster para su archivo. Esta copia contendrá la calificación del TFM.
- En la primera página de cada copia que presente el estudiante figurará el siguiente texto: “El documento que sigue a continuación, ha sido realizado completamente por el firmante del mismo; no ha sido aceptado previamente como ningún otro trabajo fin de máster, y todo el material tomado literalmente de cualquier fuente ha sido citado en las referencias y entrecomillado en el texto”.



Vuelta al índice general

Programaciones por perfil de acceso y elección de itinerario

CC Salud

- ☞ Perfil Académico
- ☞ Perfil Investigador
- ☞ Perfil Profesional

CC Biológicas

- ☞ Perfil Académico
- ☞ Perfil Investigador
- ☞ Perfil Profesional

Ingeniería Técnica

- ☞ Perfil Académico
- ☞ Perfil Investigador
- ☞ Perfil Profesional

CC Físicas

- ☞ Perfil Académico
- ☞ Perfil Investigador
- ☞ Perfil Profesional

CC Químicas

- ☞ Perfil Académico
- ☞ Perfil Investigador
- ☞ Perfil Profesional

Matemáticas e Informática

- ☞ Perfil Académico
- ☞ Perfil Investigador
- ☞ Perfil Profesional

Ingeniería Superior

- ☞ Perfil Académico
- ☞ Perfil Investigador
- ☞ Perfil Profesional

Programaciones por perfil de acceso y elección de itinerario

	CC Salud			Biológicas			Ing.Tec.			CC Físicas			CC. Químicas			Matem e Inform.			Ing.Superior			Departamento
	A	I	P	A	I	P	A	I	P	A	I	P	A	I	P	A	I	P	A	I	P	
Complementos Matemáticos FM-I																						DMF
Complementos Matemáticos FM-II																						DMF
Física Moderna																						DFMF
Atomica y Nuclear																						DFM
Electromagnetismo y Óptica																						DFM
Métodos Numéricos																						DFF
F. Matemática																						DFMF
Biología celular																						DFMF
Fisiología																						DFMF
Anatomofisiopatología I																						DFMF
Bioquímica																						DFMF
Anatomofisiopatología II																						DFMF
Créditos de Adaptación Curricular	42	42	42	42	42	42	54	54	54	36	36	36	54	54	54	48	48	48	54	54	54	
F Biomédica I																						DFMF
F Biomédica II																						DFF
FFImagen I																						DFMF
FFImagen II																						DFMF
Física fluidos fisiológicos																						DFMF
Tratamiento Señales																						DFMF
Interacción Radiación-Materia																						DFM
Protección Radiológica																						DFM
Modelado Sistemas Biológicos																						DFMF
Simulación Sistemas Biológicos																						DFMF
Instrumentación																						DFMF
Análisis de Decisiones en Medicina																						DIA
Bioestadística																						DEIO
Electrónica																						DFM-DFF
Informática para la Física Médica																						SCC
Trabajo Fin de Master (TFM/TCI)																						

Códigos departamentos	
Matemáticas Fundamentales	DMF
Física Matemática y Fluidos	DFMF
Física Fundamental	DFF
Inteligencia Artificial	DIA
Estadística, Investigación Op.	DEIO
Física de los Materiales	DFM
Sist.Comunicación y Control	DSCC

Códigos de color	
	Asignatura fuera de programa
	Asignatura optativa (primer o segundo año) de 6 créditos
	Asignatura obligatoria de segundo año de 6 créditos
	Asignatura obligatoria de primer año (Curso de adaptación curricular) de 6 créditos
	Asignatura Trabajo Comienzo Investigación (TCI), segundo año, 18 créditos
	Asignatura Trabajo Fin de Master (TFM), segundo año, 6 créditos

Códigos de perfil	
A:	Académico
I:	Investigación
P:	Profesional

Perfiles

Máster en Física Médica			
CC de la Salud		Perfil Académico	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Complementos Matemáticos FM-I	Complementos Matemáticos FM-II	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Física Moderna	Física Atómica y Nuclear	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Interacción Radiación-Materia	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática			Protección Radiológica
			Instrumentación
			TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 18	Total créditos: 18	Total créditos: 36
<i>Optativas semestra</i>	<i>Optativas semestra</i>	<i>Optativas semestra</i>	<i>Optativas semestra</i>
Informática	Bioestadística	Modelado Sistemas Biológicos	Simulación Sistemas Biológicos
Análisis de decisiones en Medicina		Electrónica	
		Tratamiento Señales	

Máster en Física Médica			
CC de la Salud		Perfil Investigación	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Complementos Matemáticos FM-I	Complementos Matemáticos FM-II	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Física Moderna	Física Atómica y Nuclear	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Interacción Radiación-Materia	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática			Protección Radiológica
			Instrumentación
			TCI
Total créditos: 24	Total créditos: 18	Total créditos: 18	Total créditos: 48
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Modelado Sistemas Biológicos	Simulación Sistemas Biológicos
Análisis de decisiones en Medicina		Electrónica	
		Tratamiento Señales	



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC de la Salud		Perfil Profesional	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Complementos Matemáticos FM-I	Complementos Matemáticos FM-II	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Física Moderna	Física Atómica y Nuclear	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Interacción Radiación-Materia	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática		Electrónica	Protección Radiológica
			Instrumentación
			TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 18	Total créditos: 24	Total créditos: 36
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Modelado Sistemas Biológicos	Simulación Sistemas Biológicos
Análisis de decisiones en Medicina		Tratamiento Señales	



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Biológicas		Perfil Académico	
Primer Curso, Primer semestre	Primer Curso, Segundo semestre	Segundo Curso, Primer semestre	Segundo Curso, Segundo semestre
Física Moderna	Física Atómica y Nuclear	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Interacción Radiación-Materia	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Anatomofisiopatología II	Electrónica	Protección Radiológica
Anatomofisiopatología I		Tratamiento Señales	Instrumentación
		Modelado Sistemas Biológicos	
			TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 18	Total créditos: 30	Total créditos: 30
Optativas semestre	Optativas semestre	Optativas semestre	Optativas semestre
Informática	Bioestadística	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Análisis de decisiones en Medicina			Simulación Sistemas Biológicos



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Biológicas		Perfil Investigación	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Física Moderna	Física Atómica y Nuclear	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Anatomofisiopatología II	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Anatomofisiopatología I			TCI
Total créditos: 24	Total créditos: 18	Total créditos: 18	Total créditos: 36
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
Análisis de decisiones en Medicina		Electrónica	Simulación Sistemas Biológicos
		Modelado Sistemas Biológicos	Instrumentación



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Biológicas		Perfil Profesional	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Física Moderna	Física Atómica y Nuclear	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Anatomofisiopatología II	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Instrumentación
Anatomofisiopatología I		Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
		Electrónica	TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 18	Total créditos: 18	Total créditos: 30
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Modelado Sistemas Biológicos	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Análisis de decisiones en Medicina			Simulación Sistemas Biológicos



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
Ingeniería Técnica		Perfil Académico	
Primer Curso, Primer semestre	Primer Curso, Segundo semestre	Segundo Curso, Primer semestre	Segundo Curso, Segundo semestre
Anatomofisiopatología I	Física Atómica y Nuclear	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Interacción Radiación-Materia	Instrumentación
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Modelado Sistemas Biológicos	Protección Radiológica
	Fisiología humana	Electrónica	TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 30	Total créditos: 30
Optativas semestre	Optativas semestre	Optativas semestre	Optativas semestre
Informática	Bioestadística	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Análisis de decisiones en Medicina			Simulación Sistemas Biológicos



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
Ingeniería Técnica		Perfil Investigación	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Física Atómica y Nuclear	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Biología celular	Anatomofisiopatología II		TCI
	Fisiología humana		
Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 18	Total créditos: 36
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Modelado Sistemas Biológicos	Instrumentación
Análisis de decisiones en Medicina		Interacción Radiación-Materia	Simulación Sistemas Biológicos
		Electrónica	Protección Radiológica



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
Ingeniería Técnica		Perfil Profesional	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Física Atómica y Nuclear	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Interacción Radiación-Materia	Instrumentación
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Modelado Sistemas Biológicos	Protección Radiológica
	Fisiología humana	Electrónica	TFM
		Fundamentos Físicos de la Imagen I	
Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 30	Total créditos: 30
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística		Fundamentos Físicos de la Imagen II
Análisis de decisiones en Medicina			Simulación Sistemas Biológicos



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Físicas		Perfil Académico	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
			TFM
Total créditos: 18	Total créditos: 18	Total créditos: 18	Total créditos: 24
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
Análisis de decisiones en Medicina	Métodos Numéricos	Modelado Sistemas Biológicos	Simulación Sistemas Biológicos
		Electrónica	Instrumentación



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Físicas		Perfil Investigación	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica		TCI
Total créditos: 18	Total créditos: 18	Total créditos: 12	Total créditos: 30
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
Análisis de decisiones en Medicina	Métodos Numéricos	Modelado Sistemas Biológicos	Simulación Sistemas Biológicos
		Electrónica	Instrumentación
		Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Físicas		Perfil Profesional	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
		Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
		Electrónica	Instrumentación
			TFM
Total créditos: 18	Total créditos: 18	Total créditos: 30	Total créditos: 36
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Modelado Sistemas Biológicos	Simulación Sistemas Biológicos
Análisis de decisiones en Medicina	Métodos Numéricos		



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Químicas		Perfil Académico	
Primer Curso, Primer semestre	Primer Curso, Segundo semestre	Segundo Curso, Primer semestre	Segundo Curso, Segundo semestre
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Modelado Sistemas Biológicos	Instrumentación
	Física Atómica y Nuclear	Electrónica	TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 30	Total créditos: 30
Optativas semestre	Optativas semestre	Optativas semestre	Optativas semestre
Informática	Bioestadística	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Análisis de decisiones en Medicina			Simulación Sistemas Biológicos



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Químicas		Perfil Investigación	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos		TCI
	Física Atómica y Nuclear		
Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 18	Total créditos: 36
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Interacción Radiación-Materia	Simulación Sistemas Biológicos
Análisis de decisiones en Medicina		Modelado Sistemas Biológicos	Protección Radiológica
		Electrónica	Instrumentación



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Químicas		Perfil Profesional	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
Electromagnetismo y Óptica	Métodos Numéricos	Electrónica	Instrumentación
	Física Atómica y Nuclear	Fundamentos Físicos de la Imagen I	TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 30	Total créditos: 30
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Modelado Sistemas Biológicos	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Análisis de decisiones en Medicina			Simulación Sistemas Biológicos



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Matemáticas e Informática		Perfil Académico	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Electromagnetismo y Óptica	Física Atómica y Nuclear		TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 24	Total créditos: 18	Total créditos: 24
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
Análisis de decisiones en Medicina	Métodos Numéricos	Modelado Sistemas Biológicos	Simulación Sistemas Biológicos
		Electrónica	Instrumentación



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Matemáticas e Informática		Perfil Investigación	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica		TCI
Electromagnetismo y Óptica	Física Atómica y Nuclear		
Total créditos: 24	Total créditos: 24	Total créditos: 12	Total créditos: 30
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
Análisis de decisiones en Medicina	Métodos Numéricos	Modelado Sistemas Biológicos	Simulación Sistemas Biológicos
		Electrónica	Instrumentación
		Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
CC Matemáticas e Informática		Perfil Profesional	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Electromagnetismo y Óptica	Física Atómica y Nuclear	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
		Electrónica	Instrumentación
			TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 36
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Modelado Sistemas Biológicos	Simulación Sistemas Biológicos
Análisis de decisiones en Medicina	Métodos Numéricos		



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
Ingeniería Superior		Perfil Académico	
Primer Curso, Primer semestre	Primer Curso, Segundo semestre	Segundo Curso, Primer semestre	Segundo Curso, Segundo semestre
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
Electromagnetismo y Óptica	Física Atómica y Nuclear	Modelado Sistemas Biológicos	Instrumentación
	Métodos Numéricos	Electrónica	TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 30	Total créditos: 30
Optativas semestre	Optativas semestre	Optativas semestre	Optativas semestre
Informática	Bioestadística	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Análisis de decisiones en Medicina			Simulación Sistemas Biológicos



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
Ingeniería Superior		Perfil Investigación	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Electromagnetismo y Óptica	Física Atómica y Nuclear		TCI
	Métodos Numéricos		
Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 18	Total créditos: 36
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Interacción Radiación-Materia	Simulación Sistemas Biológicos
Análisis de decisiones en Medicina		Modelado Sistemas Biológicos	Protección Radiológica
		Electrónica	Instrumentación



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Máster en Física Médica			
Ingeniería Superior		Perfil Profesional	
<i>Primer Curso, Primer semestre</i>	<i>Primer Curso, Segundo semestre</i>	<i>Segundo Curso, Primer semestre</i>	<i>Segundo Curso, Segundo semestre</i>
Anatomofisiopatología I	Fisiología humana	Física Biomédica I	Física Biomédica II
Biología celular	Anatomofisiopatología II	Tratamiento Señales	Física fluidos fisiológicos
Física Matemática	Bioquímica	Interacción Radiación-Materia	Protección Radiológica
Electromagnetismo y Óptica	Física Atómica y Nuclear	Fundamentos Físicos de la Imagen I	Instrumentación
	Métodos Numéricos	Electrónica	TFM
Total créditos: 24	Total créditos: 30	Total créditos: 30	Total créditos: 30
<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>	<i>Optativas semestre</i>
Informática	Bioestadística	Modelado Sistemas Biológicos	Fundamentos Físicos de la Imagen II
Análisis de decisiones en Medicina			Simulación Sistemas Biológicos



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Metodología y plan de trabajo del máster

Basándonos en la experiencia de los profesionales que forman los equipos docentes de las asignaturas propuestas, se ha diseñado, siempre de forma generalista, la distribución de los créditos propuestos siguiendo las estrategias hasta ahora utilizadas dentro de la universidad en lo referente a la educación a distancia. No existen pautas o normas rígidas sobre la asignación de créditos cuando la educación se realiza vía sistemas virtuales. Está claro como asignarlas en el caso de lecciones magistrales y clases convencionales, pero no es el caso cuando el alumno se enfrenta a una pantalla de ordenador y se comunica con el profesorado, casi de forma exclusiva mediante las herramientas informáticas a su disposición, dado que la relación con un profesor durante las tutorías en los días de guardia, es factible de forma prácticamente exclusiva para los alumnos que residen, bien cerca de la Sede Central de la UNED, bien cerca de los correspondientes centros asociados. Por tanto, los datos que se presentan a continuación son valores medios, aproximados y que pueden depender de cada asignatura y de cada equipo docente. Es de destacar que la suma de los tantos por ciento que se presentan a continuación no resulta ser cien. Esto es debido a que no en todas las asignaturas se realizan los mismos desarrollos.

La relación de actividades, con sus créditos teóricos, prácticos y de prácticas, es aproximadamente la siguiente:

Créditos de teoría:

- Lectura comprensiva del material suministrado: 30%
- Realización de ejercicios de autocomprobación de asentamiento de conocimientos: 20%
- Resolución de problemas: 40%
- Búsqueda de información adicional en biblioteca, Internet, etc.: 10%
- Intercambio de información con otros compañeros y tutor en los foros: 10%
- Resolución de exámenes propuestos en años anteriores: 10%

Créditos de prácticas:

- Manejo de herramientas informáticas y de ayuda a la presentación de resultados: 20%
- Realización de prácticas virtuales: 40%
- Realización de trabajos de campo: 40%
- Búsqueda de información adicional para resolución de problemas prácticos: 10%

Créditos de laboratorio:

- Realización de prácticas reales: 50%

- Confección de memorias de prácticas: 40%
- Intercambio de información con otros compañeros y tutor: 20%

En todos los casos, es difícil determinar los créditos que el alumno de la UNED dedica a su trabajo personal, y se confunden con los créditos de teoría, prácticas y de laboratorio. La razón fundamental es que hay poco trabajo que se pueda realizar on-line ya que la mayoría se lleva a cabo off-line, siendo el alumno la persona que determina los ritmos de trabajo, en lugar de ser el profesor como ocurre en la enseñanza tradicional.



Vuelta al índice general

Organización y gestión del máster

Órganos de Dirección y Procedimiento de Gestión

Estructura y composición de los órganos de coordinación académica y de los órganos de gestión y apoyo administrativo

Existen diferentes órganos de gestión y control en la ejecución de los posgrado en la UNED. Las comisiones son generales de la UNED, de Facultad, de Sección y de Másteres. A continuación se especifica el nombre y la composición de la que se refieren específicamente al máster en Física Médica, el resto de las comisiones podrán encontrarse en la documentación que el Rectorado de la UNED ha puesto a la disposición de los alumnos a través de los órganos colegiados de la Universidad. La estructura es vertical y estarán sometidas al control de la Unidad Técnica de Calidad de la UNED.

A nivel del propio máster existen dos diferentes comisiones, una de ellas la Comisión de Calidad del Máster y la Comisión de Coordinación del Programa de Máster.

La Comisión de Calidad del Máster (CCM) estará formada por:

- Coordinador,
- Secretario,
- Dos vocales (elegidos de entre los profesores numerarios del máster),
- Jefe de Servicio de la Unidad de medicina y Cirugía Experimental del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid o persona en quien delegue.

La Comisión de Coordinación del Programa de Máster, estará constituida por:

- Coordinador,
- Secretario,
- Un vocal por cada uno de los departamentos involucrados en la docencia con un número de ECTS igual o superior a 18,
- Jefe de Servicio de la Unidad de Medicina y Cirugía Experimental del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid o persona en quien delegue.

Todos los procedimientos estarán supervisados por la Unidad Técnica de Calidad de la UNED.

La gestión de las diferentes asignaturas corresponde a los Departamentos que las imparten, contando con el apoyo del profesorado y del personal de administración adscrito a los mismos.



Vuelta al índice general

Sistema de garantía de calidad

Principios de calidad. Órganos de control y sus funciones.

El control de calidad previo de cualquier máster debe ser el correspondiente a la calidad de los docentes de dicho curso. Sólo con profesores de calidad se puede realizar una docencia de calidad. Es una condición necesaria aunque no suficiente.

El mecanismo de control que ha dispuesto la UNED para llevar a cabo dicha misión ha sido la creación de la Unidad Técnica de Calidad (UTC), así como mecanismos de autocontrol de la calidad dentro del mismo máster, es decir, la creación de la Comisión de Calidad del Máster (CCM). Esta CCM estará integrada por un Presidente (Coordinador del Máster), un Secretario y tres Vocales. Las funciones de esta comisión serán de planificación, desarrollo, evaluación y seguimiento. Supervisará la recopilación de datos sobre el desarrollo del máster que realice la UTC; y colaborará en el análisis y valoración de los resultados obtenidos por la UTC y llevará a cabo propuestas de mejora en base a lo anterior. Dado que la UTC recogerá datos relativos a todas las circunstancias del máster, la CCM colaborará en la puesta en marcha de un sistema de información del máster que permita generar, recoger y archivar toda la información necesaria para la puesta en marcha del máster y su posterior acreditación. Este sistema deberá servir asimismo a la Coordinación del Máster para la toma de decisiones respecto a la gestión y revisión del mismo.

El secretario de la CCM será el responsable de la coordinación del sistema de información. Supervisará la información de la página web del máster y solicitará de los servicios generales de la UNED el soporte necesario para la puesta al día y mantenimiento del soporte digital de información al exterior, así mismo, recabará de los docentes la información necesaria para mantener actualizada dicha información.

La UTC de la UNED tiene diferentes misiones en el seguimiento del máster. En primer lugar será la encargada de realizar las correspondientes encuestas a los estudiantes y egresados del máster, así como del procesamiento de los datos recogidos y el estudio de los resultados obtenidos a través de dichas encuestas de opinión. La UTC junto con la CCM decidirán en reunión anual conjunta las decisiones a tomar para la mejora de la enseñanza en el máster en Física Médica. La periodicidad será menor si lo requiriesen los hechos.

Por otra parte, el máster estará siempre supeditado a los criterios de calidad que imponga la UNED a sus máster, siempre que estos sean superiores a los criterios impuestos por la CCM, en caso contrario, prevalecerán los criterios de la CCM.

Sistemas de garantía para los alumnos

Los alumnos de máster son estudiantes con capacidad de elección y criterios sólidos debido a su formación ya que, como se indicaba en el apartado de perfiles de acceso, son licenciados o graduados en CC de la Salud, Medicina, CC Físicas, CC Químicas, Ingenierías, etc. Sin embargo, el seguimiento a lo largo de los estudios de máster se realiza mediante la asignación de la figura del tutor-orientador, que será el profesor permanente del máster que más se adecue al perfil del alumno y que será designado por el coordinador del máster antes de realizar la matrícula el alumno.

El alumno, al realizar la prematrícula, será entrevistado personalmente por el coordinador del máster. La entrevista será presencial o por teléfono. En ella el coordinador recabará la información sobre los estudios previos del candidato, sus expectativas, opción académica: profesional o encaminada a la realización de tesis doctoral, así como sus predilecciones sobre los temas más afines con sus conocimientos y expectativas. Tras dicha entrevista y un estudio por parte del coordinador de los posibles candidatos a tutor-orientador, se comunicará al alumno el tutor-orientador asignado. El alumno se pondrá en contacto con dicho profesor para que le oriente sobre las asignaturas optativas a cursar en el primer y segundo semestre.

El tutor-orientador estudiará las posibles carencias del alumno, indicándole las asignaturas que debe seguir para complementar su formación, aunque no se matricule de ellas, solicitando los permisos correspondientes para que dicho alumno pueda seguir el curso de cualquier otra asignatura virtualizada del máster en modo “oyente virtual”.

Por otra parte, mediante el programa de acogida general de la universidad, el estudiante recibirá información adicional sobre el aprendizaje a distancia (planificación de tiempo, auto-regulación, etc.), así como información sobre los recursos tecnológicos de apoyo. Estos datos los encontrará en la correspondiente guía que describe los recursos tecnológicos que la UNED pone al servicio de los estudiantes del máster, como cursos virtuales, sistemas de comunicación con profesores y tutores mediante telefonía IP, acceso a sesiones de videoconferencia, etc., manuales de usuario de los cursos virtuales del Programa.

La Unidad de Discapacidad y Voluntariado facilitará a la Coordinación del Programa los apoyos necesarios para facilitar a estudiantes con discapacidad el acceso y seguimiento al programa.

Se definen también protocolos de atención a las sugerencias y/o reclamaciones de los alumnos, además de los procedimientos institucionales vigentes en la UNED y recogidos en los Estatutos y Reglamento de Estudiantes y departamentos involucrados en el máster. El protocolo será el envío, por cualquiera de los cauces ofrecidos por la UNED a sus estudiantes, de un escrito en el que se muestren razonadamente y de forma justificada las sugerencias y/o reclamaciones que desee el alumno que sean estudiadas por el CCM, a la coordinación del máster. Estas sugerencias y/o reclamaciones serán archivadas por el secretario del CCM asignándole un número de registro en el libro de registro de sugerencias y/o reclamaciones del máster. En un plazo máximo de 10 días naturales, la Coordinación del Programa informará al solicitante o reclamante sobre las acciones emprendidas por la Coordinación en relación con la sugerencia o reclamación y enviará copia al secretario del CCM, que archivará y registrará la respuesta del presidente del CCM.

Si la sugerencia y/o reclamación no es de carácter personal, se incluirá tanto la petición del alumno como la respuesta en la base de información del máster (accesible a través de una interfaz web de acceso público).



Vuelta al índice general

Selección y admisión al máster

Órgano de admisión: estructura y funcionamiento

Le corresponde a la Comisión de Coordinación del Programa de Máster (CCPM), oído el informe del tutor-orientador asignado al estudiante, la admisión de estudiantes en el programa de máster. La composición de esta comisión es la siguiente:

Comisión de Coordinación del Programa de Máster, constituida por:

- Coordinador,
- Secretario,
- Un vocal por cada uno de los departamentos involucrados en la docencia con un número de ECTS igual o superior a 18,
- Jefe de Servicio de la Unidad de Medicina y Cirugía Experimental del Hospital General Universitario Gregorio Marañón de Madrid o persona en quien delegue.

La CCMP se reunirá de forma ordinaria dos veces al año al comienzo del curso académico y al finalizar el mismo y sólo en los siguientes extraordinarios:

- Número de solicitudes mayor de 100 (número máximo de estudiantes que pueden realizar un máster de calidad con la dotación de personal actual)
- Cuando el grado o la licenciatura de entrada al máster no sea ninguna de las enumeradas anteriormente.
- A solicitud de un tutor-orientador o del coordinador del programa de Máster.

En los casos en que se reúna la comisión, la decisión se tomará por mayoría simple y en caso de empate, decidirá el voto de calidad del coordinador del programa de Máster.



Vuelta al índice general

ASIGNATURAS

Listado de asignaturas del máster en Física Médica:

- Análisis de Decisiones en Medicina
- Anatomofisiopatología I
- Anatomofisiopatología II
- Bioestadística
- Biología celular
- Bioquímica
- Complementos Matemáticos FM-I
- Complementos Matemáticos FM-II
- Electromagnetismo y Óptica
- Electrónica
- F Biomédica I
- F Biomédica II
- Física Atómica y Nuclear
- Física Fluidos Biológicos
- Física Matemática
- Física Moderna
- Fisiología
- Fundamentos Físicos Imagen I
- Fundamentos Físicos Imagen II
- Informática para Física Médica
- Instrumentación
- Interacción Radiación-Materia
- Métodos Numéricos
- Modelado Sistemas Biológicos

- Protección Radiológica
- Simulación Sistemas Biológicos
- Tratamiento Señales



Vuelta al índice general

Análisis de Decisiones en Medicina



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Anatomofisiopatología I



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Anatomofisiopatología II



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Bioestadística



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Biología celular



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Bioquímica



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Complementos Matemáticos FM-I



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Complementos Matemáticos FM-II



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Electromagnetismo y Óptica



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Electrónica



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

F Biomédica I



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

F Biomédica II



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Física Atómica y Nuclear



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Física Fluidos Biológicos



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Física Matemática



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Física Moderna



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Fisiología



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Fundamentos Físicos Imagen I



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Fundamentos Físicos Imagen II



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Informática para Física Médica



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Instrumentación



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Interacción Radiación-Materia



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Métodos Numéricos



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Modelado Sistemas Biológicos



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Protección Radiológica



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Simulación Sistemas Biológicos



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Tratamiento Señales



Ficha General



Ficha Objetivos



Ficha Plan de trabajo



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Apéndice 1

Objetivos específicos ordenados por materias



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Apéndice 2

Objetivos específicos transversales



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas

Apéndice 3

Claustro de Profesores



Vuelta al índice general



Vuelta al Macrocuadro de asignaturas