

**Contestación al Informe provisional de la Fundación para el Conocimiento Madrid+d de fecha 04/02/2019, indicando como se han abordado los aspectos que deben ser modificados.**

## ASPECTOS A SUBSANAR

Los nuevos cambios se reflejan en color VERDE

### CRITERIO 2: JUSTIFICACIÓN

Las reflexiones sobre la empleabilidad de los futuros egresados que se hacen en la respuesta a la alegación deben incluirse en la Memoria de verificación.

Siguiendo las instrucciones de la Comisión, se ha incluido, al final del apartado 2.1 el texto sobre las perspectivas de empleabilidad de los egresados que había sido incluido en la respuesta a la observación recibida.

### CRITERIO 5: PLANIFICACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS

Al ser un título impartido exclusivamente en inglés, el criterio 5. Planificación de las Enseñanzas, debe estar redactado en su totalidad también en inglés, no sólo la sección de contenido de cada materia. Falta incorporar las traducciones al inglés de las Actividades Formativas, Metodologías Docentes y Sistemas de Evaluación

Siguiendo instrucciones de la Comisión, se han traducido al inglés las Actividades Formativas, Metodologías Docentes y Sistemas de Evaluación.

## RECOMENDACIONES

### CRITERIO 3: COMPETENCIAS

A pesar de la referencia a la guía de ANECA, la redacción de las competencias se confunde con los resultados de aprendizaje. Se recomienda subsanar.

La Universidad en general y esta Comisión en particular agradece enormemente las observaciones formuladas por la Comisión de Evaluación del título a través de la Fundación Madrid+d. Creemos que gracias a esas observaciones el proceso ha resultado en importantes mejoras para el título de Grado que se propone, lo que redundará en beneficio de los estudiantes y de la sociedad en general. En cuanto a la recomendación final sobre la redacción de las competencias, como se indicó están formuladas siguiendo las instrucciones publicadas por la guía ANECA. Por otro lado, el estilo de la redacción coincide con la de otros grados de nuestra Universidad ya acreditados, como por ejemplo el Grado en Ciencia e Ingeniería de Datos. Así pues,

hemos optado por mantener la redacción, agradeciendo el cuidado con que se ha hecho la revisión.

**Contestación al Informe provisional de la Fundación para el Conocimiento Madrid+d de fecha 30/11/2018, indicando como se han abordado los aspectos que deben ser modificados.**

**ASPECTOS A SUBSANAR**

Los nuevos cambios se reflejan en color rojo

**CRITERIO 1. DESCRIPCIÓN DEL TÍTULO**

La normativa de permanencia se incorpora en la Memoria de verificación a través de un link a la página web de la UC3M. Se debe incluir no obstante dentro de la Memoria (Criterio 5) la redacción de un extracto de esta normativa de permanencia.

Se ha subido al apartado 5 un resumen de la normativa de permanencia

**CRITERIO 2. JUSTIFICACIÓN**

Para justificar el Grado, la universidad afirma que “una carencia de la estrategia educativa implementada en España en estos estudios de ingeniería es la limitada capacidad de la mayoría de los titulados para buscar soluciones tecnológicas realmente innovadoras a los problemas que la sociedad demanda”, ignorando que las soluciones tecnológicas innovadoras y avanzadas son, según el tratado de Bolonia, objeto de especialización en nivel master. Afirma además en que “La poca profundidad con la que se estudian contenidos científicos básicos en la mayoría de los títulos de Ingeniería que se ofrecen actualmente en España es una consecuencia directa de la agresiva especialización que se ha perseguido en el diseño de estos programas”. Partiendo de estas bases, la universidad elabora una argumentación lógica, razonada y contundente, pero que pretende que los estudios propuestos caigan bajo el paraguas de la ingeniería, cuando tanto los fundamentos expuestos como el programa del grado lo asemejan más a unos estudios de física aplicada avanzada. De hecho, solamente el módulo 4 (54 ECTS) es propio de una ingeniería, y carece de alguno de los aspectos formativos que distinguen a una ingeniería de otros estudios aplicados, como el análisis en ingeniería, la aplicación práctica de la ingeniería y especialmente los proyectos de ingeniería, por citar los tres resultados de aprendizaje más relevantes de los definidos por ENAEE. Por consiguiente, se debe modificar el plan de estudios para justificar más claramente la palabra ingeniería en el nombre del grado o bien eliminar la misma del título del programa formativo.

El tratado de Bolonia distingue entre los estudios de Grado, que son aquellos que dan una formación básica y de tipo generalista y los estudios de Máster que proporcionan una formación mucho más específica y especializada y que, en muchos casos, sirve de puerta a la entrada en la investigación. El Grado de Ingeniería Física pretende dotar a los estudiantes de la formación básica necesaria, tanto en el

ámbito de las ciencias básicas como en el de la ingeniería, para que esté capacitado para poder desarrollar una futura carrera en el campo siempre cambiante y extremadamente competitivo de las tecnologías avanzadas. No se pretende, por supuesto, que los egresados estén ya en disposición de desarrollar y proponer tecnologías innovadoras y avanzadas desde el mismo momento que concluyen sus estudios de grado, pero sí que dispongan de todas las herramientas y los conocimientos básicos necesarios para poder desenvolverse con garantías en ese contexto, pudiendo por ejemplo acceder sin problemas a estudios de Máster en ese campo o comenzar a participar en actividades de desarrollo e implantación tecnológicas en el ámbito privado. Por ese motivo, el programa propuesto combina abundantes créditos de formación básica en ciencias que no suelen encontrarse en los programas tradicionales de ingeniería (por ejemplo, con asignaturas como la Física Cuántica o la Bioquímica) con otros muchos en campos de ingeniería más tradicional (como Ingeniería Electrónica, Térmica o de Materiales), e incluyendo finalmente otras asignaturas, concentradas en el último curso, que presentan al estudiante el mundo de las nuevas tecnologías de una forma descriptiva y que ilustran su conexión directa con estas disciplinas básicas. Sin embargo, es cierto que, tal y como resaltan los evaluadores, las palabras utilizadas para justificar el grado en la memoria original podrían estar más cerca de lo que se espera de un título de Máster que de un Grado. Por eso, hemos decidido sustituirlas por otras más adecuadas que despejen cualquier tipo de duda respecto al carácter básico y generalista del título ofertado. En concreto, hemos sustituido *“una carencia de la estrategia educativa implementada en España en estos estudios de ingeniería es la limitada capacidad de la mayoría de los titulados para buscar soluciones tecnológicas realmente innovadoras a los problemas que la sociedad demanda”* por *“una carencia de la estrategia educativa implementada en España en estos estudios de ingeniería es la escasa formación básica en ciencias que la mayoría de los titulados ha recibido, lo que de facto supone una limitación para el desarrollo de su futura carrera profesional al estar mermada su capacidad de buscar soluciones tecnológicas realmente innovadoras a los problemas que la sociedad demande”*.

La adscripción del título de Ingeniería Física al ámbito de la Ingeniería se debe, por un lado, al hecho de que el énfasis del título no es la ciencia básica en sí misma, sino

la relación de ésta con la tecnología y la búsqueda de soluciones tecnológicas. Por otro lado, a que ésta es la adscripción elegida de forma mayoritaria en los países donde existe este título, ya que es ofrecido habitualmente por escuelas de ingeniería como demuestran las referencias internacionales aportadas en la memoria (p.ej., los de Caltech, Univ. of Wisconsin o Univ. Berkeley en los Estados Unidos, o la Universidad Técnica de Munich o el Instituto Politécnico de Milán en Europa, entre otros muchos ejemplos). Este es el caso también del único título de Ingeniería Física que se oferta en España actualmente, que es el de la Universidad Politécnica de Cataluña.

En cuanto a la valoración de los evaluadores respecto a que la cantidad de créditos ECTS del ámbito de la ingeniería incluidos en el programa parecen insuficientes para considerarlo un título de ingeniería, y que por tanto parecería más adecuado o bien considerar el título dentro del ámbito de la Física Aplicada o aumentar el número de los créditos de Ingeniería, estamos en desacuerdo. Primero, porque el título de Ingeniería Física no debe considerarse ni un título de Ingeniería tradicional ni un título de Física tradicional, sino que está a caballo entre ambos. Tiene un carácter claramente multidisciplinar que pretende explotar las evidentes sinergias entre ambos campos, así como con otros como la Química o la Biología. Por lo tanto, el número de créditos de ingeniería ha de ser necesariamente menor que el de una ingeniería tradicional, como también lo es el número de créditos de Física respecto a lo que se incluiría en una titulación de Física tradicional. En cualquier caso nos gustaría llamar la atención sobre el hecho de que nuestro título incluye una mayor cantidad de ECTS en el ámbito de la ingeniería que el título de Ingeniería Física de la UPC antes mencionado, puesto que de los 180 ECTS obligatorios del título de la UPC solo 54 ECTS (el 30%) son de ingeniería mientras que el resto son de ciencias básicas. En nuestro caso, de los 204 ECTS obligatorios, 84 ECTS (el 41%, compuestos por los módulos 4 y 5) son del ámbito de la ingeniería. Además, la oferta de asignaturas optativas dentro ámbito de la ingeniería es muy grande. De hecho, el estudiante puede completar todos los créditos optativos (24 ECTS) con asignaturas de ingeniería si así lo deseara.

Finalmente, en lo referente a los resultados de aprendizaje sobre el análisis en ingeniería, la aplicación práctica de la ingeniería y los proyectos de ingeniería que los evaluadores echan de menos en la programa hemos de decir que aunque estos

resultados no se enunciaron de forma explícita en el programa previo, todos ellos son adquiridos por los estudiantes a lo largo del mismo. En la versión revisada del programa los hemos añadido explícitamente a la lista de resultados de aprendizaje y hemos identificado las asignaturas en las que se adquieren. Solamente nos gustaría hacer un comentario respecto a la ausencia de una asignatura específica sobre proyectos de ingeniería, algo que sí es común en los programas de los grados más tradicionales de Ingeniería pero que no existe en grados de ciencias. Puesto que el grado en Ingeniería Física se ha diseñado como un grado que establece un puente entre ambas disciplinas, se había considerado más adecuado el no adscribir este resultado de aprendizaje a una asignatura dedicada, siguiendo de hecho una tendencia que empieza a implantarse en muchos de los nuevos grados de Ingeniería, como es el caso por ejemplo de los grados de Ingeniería Aeroespacial (que tiene la acreditación EUR-ACE otorgada por la ENAEE desde 2016) y de Ingeniería Biomédica que se implantaron en la Universidad Carlos III de Madrid en la última década. Sí que es cierto, sin embargo, que todos los grados de las ramas Industrial y Telecomunicaciones ofertados en la UC3M contienen una asignatura específica de proyectos en sus programas. Puesto que estos grados son más cercanos en espíritu al que nos ocupa, hemos revisado esta decisión y siguiendo el consejo de los evaluadores se ha añadido una nueva asignatura obligatoria de 3 ECTS denominada “Proyectos de Ingeniería” en el primer cuatrimestre de cuarto curso, y se ha reducido a 3 ECTS la asignatura de “Sensores y Técnicas de Medida Avanzados”, que tenía anteriormente 6 ECTS. Hemos añadido también una nueva competencia (CE22: “Diseñar, planificar y estimar los costes de un proyecto de ingeniería”) que explicita los aspectos formativos asociados a esta nueva asignatura.

La justificación tampoco incluye un estudio riguroso de empleabilidad de los egresados en el futuro inmediato.

La Universidad Carlos III se toma muy en serio la empleabilidad de los egresados de cualquiera de los títulos que ofrece. De hecho, hace un seguimiento de la implantación laboral, los sueldos y la alienación del puesto de trabajo con los estudios realizados para los egresados de todos sus títulos mediante encuestas telefónicas realizadas al año y a los cinco años de haber obtenido el título. Esta información se suministra a los canales que la universidad ha implantado para realizar el control de calidad de todas sus titulaciones. En el caso de los estudios en

Ingeniería Física es, sin embargo, imposible realizar un estudio riguroso de empleabilidad en España en estos momentos. El motivo esencial es que es un título que no ha existido en este país hasta que la Universidad Politécnica de Cataluña lo implantó en el curso 2011-2012 con gran éxito, ofertando desde entonces un único grupo de 40 estudiantes. Los primeros egresados de la UPC salieron en el verano de 2014, lo que no da aún un plazo suficiente para poder realizar un estudio riguroso de este aspecto a medio o largo plazo.

Sin embargo, sí que esperamos una buena empleabilidad para estos egresados basándonos, sobre todo, en el buen funcionamiento que estos títulos han tenido y tienen en el extranjero, debido en gran parte a la gran calidad intelectual, curiosidad y energía de los estudiantes que atrae. Por ejemplo, una búsqueda de los salarios medios percibidos en los últimos años por distintos tipos de ingenieros en los Estados Unidos en la página web <https://www.payscale.com/> nos revela que mientras que un Ingeniero Eléctrico gana un salario medio de \$73.428 al año, un Ingeniero de Software \$83.388 y un Ingeniero Aeroespacial \$82.136, un Ingeniero Físico gana en promedio \$89.544 al año. Aunque es evidente que el número de Ingenieros Físicos demandados por la sociedad es sensiblemente inferior al del resto de ingenieros, su alta remuneración media demuestra el gran atractivo que tienen para el mercado laboral, tanto en el ámbito privado como en el académico.

### **CRITERIO 3. COMPETENCIAS**

Al ser el título impartido exclusivamente en inglés se deben traducir las competencias al idioma inglés.

Se procede a la traducción al inglés de dicho apartado.

Se debe revisar la redacción de las competencias específicas para que se formulen en términos de competencia y no de resultado de aprendizaje.

Se procede a la revisión como indica el evaluador y a la traducción al inglés de dicho apartado. Para ello, se ha seguido las indicaciones establecidas en la página 93 del siguiente documento de la ANECA:

[http://www.aneca.es/content/download/12155/136031/file/verifica\\_gm\\_guia\\_V05.](http://www.aneca.es/content/download/12155/136031/file/verifica_gm_guia_V05.pdf)

[pdf](#)

A pesar de que la justificación del grado incluye la participación en start-ups tecnológicas como uno de los argumentos más relevantes, el grado no define las competencias necesarias para gestionar adecuadamente una empresa. Debe corregirse este extremo.

Es cierto que la participación de los egresados en la creación de nuevas *start-ups* tecnológicas es uno de los argumentos dados en la memoria para justificar el grado en Ingeniería Física. Sin embargo, al diseñar el programa del grado se consideró que la muchos de los alumnos atraídos por el mismo no estarían necesariamente tan interesados en dedicarse a la gestión de empresas como a contribuir al desarrollo de las tecnologías sobre las que dichas *start-ups* puedan construirse. Otros muchos preferirían trabajar en empresas multinacionales del sector tecnológico o acceder a grandes laboratorios públicos de investigación y transferencia. Es por ello que se decidió no incluir como materia obligatoria ninguna asignatura que proporcione las competencias necesarias para gestionar una empresa. Sí se ha sido sensible, sin embargo, a los deseos de aquellos alumnos que puedan estar interesados en adquirir estas competencias. Pueden hacerlo sin ningún problema a través de los 24 ECTS optativos del programa. En el programa original era posible elegir cursar la asignatura optativa de 6 ECTS de *“Fundamentos de Gestión Empresarial/Introduction to business management”*. Con el fin de dar más oportunidades a estos estudiantes de adquirir estas competencias, si así lo desearan, se ha incluido una segunda asignatura optativa de 6 ECTS *“Innovación y cambio tecnológico/Innovation and Technological Change”*, que versa precisamente sobre el tratamiento de la innovación y la tecnología desde el punto de vista social, legal, comercial y empresarial.

La CE21 referente al TFG debería ser “Ejercicio original a presentar y defender ante un tribunal universitario, consistente en un proyecto en el ámbito de las tecnologías específicas de la titulación de naturaleza profesional en el que se sintetizen e integren las competencias adquiridas en las enseñanzas.”

Se modifica, de acuerdo con las indicaciones de la comisión, la redacción de la CE21.

Se ha de tener en cuenta que, a nivel de las escalas nanotecnológicas e inferiores, se debería diferenciar lo que es Ingeniería y lo que es Física.

En este punto discrepamos de la valoración de los evaluadores respecto a la necesidad de diferenciar entre Ingeniería y Física para escalas nanométricas e inferiores. Las asignaturas del programa del Grado en Ingeniería Física que



introducen y discuten la nanotecnología y sus aplicaciones se incluyen en el módulo de Tecnologías avanzadas, que se imparte sobre todo en el último curso. En él, se incluyen una serie de asignaturas que ilustran como muchos principios físicos vistos previamente permiten desarrollar nuevas aplicaciones tecnológicas en campos tan diversos como pueden ser la nanofotónica, la nanoelectrónica, la biotecnología o las tecnologías cuánticas. En unos estudios a nivel de Máster entenderíamos el categorizar estos contenidos separadamente entre Física e ingeniería, pero no nos parece adecuado hacer esa distinción a nivel de Grado puesto que uno de los objetivos principales de estas asignaturas es mostrar las grandísimas sinergias que existen entre estas disciplinas (y también con la Biología o la Química). Es por ello que la comisión que elaboró el grado tomó la decisión de agrupar todas estas asignaturas en este módulo, reforzando así el carácter multidisciplinar del título.

Teniendo en cuenta los conocimientos que se imparten en ciclos anteriores a la universidad, ¿Cómo es posible que el alumno llegue a un dominio de la Computación Cuántica en tan poco tiempo?

Coincidimos plenamente con la opinión de los evaluadores sobre que, previamente a acceder a los estudios de Grado, la exposición de los estudiantes a la Física Moderna es baja, limitada en muchos casos a contenidos meramente divulgativos, y que su dominio del lenguaje matemático es también muy limitado. Es por ello que el programa propuesto incluye un número importante de créditos que permitirá a los estudiantes adquirir rápidamente un bagaje físico y matemático de suficiente entidad como para poder comprender los conceptos básicos de la Computación Cuántica. A este nivel no se pretende que se conviertan en expertos en dicha disciplina, lo cual sería una competencia más propia de un título de Máster, pero sí que comprendan sus principios básicos y sus realizaciones y aplicaciones más importantes. Cuentan para ello con 12 ECTS de Mecánica Cuántica repartidos entre el segundo y tercer curso, y 6 ECTS más en cuarto curso con la asignatura obligatoria de “Computación e Información Cuántica”. Además, se ofertan otras dos asignaturas de 6 ECTS relacionadas entre las optativas (“Tecnologías Cuánticas” y “Fundamentos Matemáticos de la Mecánica Cuántica”). Previamente a cursar estas asignaturas, se ha introducido ya a los estudiantes a la Mecánica Hamiltoniana en la asignatura de 6 ECTS de “Mecánica y Relatividad” del primer cuatrimestre del segundo curso, así como a muchas de las herramientas matemáticas necesarias en las asignaturas de 6 ECTS de “Ecuaciones Diferenciales” y “Variable Compleja y Transformadas”, también

ambas en segundo curso. Con todo ello, estamos convencidos que los alumnos podrán tener una base amplia y relativamente profunda tanto de la Mecánica Cuántica como de muchas de sus aplicaciones más importantes, como es la Computación Cuántica.

No se observa con claridad cómo la Óptica se inserta en esta propuesta.

La Óptica aparece en el programa del Grado en Ingeniería Física en tres asignaturas de manera directa, y en alguna más de forma indirecta. Se trata por primera vez en la asignatura de 6 ECTS “Electromagnetismo” de segundo curso donde, en sus últimos temas, se introducen las ideas básicas de la óptica electromagnética (reflexión, refracción y propagación) y se conectan con su límite paraxial o geométrico. La óptica electromagnética se continúa desarrollando en la asignatura “Campos y Ondas Electromagnéticas” de tercer curso, donde se discuten los procesos de radiación y la transmisión de la luz. Finalmente, la Óptica juega un papel central en la asignatura de “Fotónica”, de tercer curso, en el contexto de láseres y de la interacción de la luz con la materia. Con el fin de hacer más explícita la presencia de la óptica en el programa hemos decidido cambiar el nombre de la asignatura de 6 ECTS de segundo antes mencionada de “Electromagnetismo” que pasa a denominarse “Electromagnetismo y óptica”, ya que es el primer momento en que se presenta a los estudiantes. También se ha incluido explícitamente el estudio del límite geométrico en el programa de la misma.

#### **CRITERIO 4: ACCESO Y ADMISIÓN DE ESTUDIANTES**

Al ser un título impartido exclusivamente en inglés, el criterio 4. Acceso y Admisión de Estudiantes, debe estar redactado en su totalidad también en inglés.

Se procede a la traducción al inglés de dicho apartado

#### **CRITERIO 5: PLANIFICACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS**

Al ser un título impartido exclusivamente en inglés, el criterio 5 “Planificación de las Enseñanzas” debe estar redactado en su totalidad también en inglés, no sólo la sección de contenido de cada materia.

Se procede a la traducción al inglés de dicho apartado

En la Memoria de verificación se proporciona, en general, información suficiente para poder confirmar que los contenidos que se describen en cada módulo o materia

guardan relación con las competencias establecidas. Sin embargo, la competencia específica CE21 (Saber analizar, elaborar y defender de forma individual un problema del ámbito disciplinar del Grado aplicando los conocimientos, habilidades, herramientas y estrategias adquiridas o desarrolladas en el mismo), se alcanza con las materias Materia 2 (Formación básica), Materia 3 (Ciencias básicas) y Materia 7 (TFG). Entendiéndose que esta competencia está relacionada con el desarrollo y defensa del TFG, se debe explicar la aportación que hacen las materias 2 y 3 a la consecución de dicha competencia.

En nuestra redacción original del programa entendíamos el TFG como un mecanismo a través del cual el alumno demostraba su capacidad de sintetizar y utilizar provechosamente todos los conocimientos y competencias adquiridas durante sus estudios para llevar a cabo con éxito un proyecto de ingeniería. Por lo tanto, a su consecución contribuirían competencias de todo tipo, desde las más básicas hasta las más específicas. Es por ello que asignamos competencias básicas al TFG. Sin embargo, el comentario de los evaluadores sugiere que dicha asignación es confusa y que es más adecuado el hacer una asignación más precisa de las competencias, por lo que hemos eliminado del TFG todas las competencias específicas relacionadas con las materias básicas (2 y 3) dejando únicamente la competencia específica CE21.

Se deben incluir las pruebas de evaluación como una nueva Actividad Formativa, modificando la Memoria en los apartados a los que afecte este cambio.

Siguiendo instrucciones de la Comisión, se incorpora la Actividad Formativa AF9. Dicha Actividad formativa recoge la prueba de evaluación final de aquellas asignaturas que tienen sistema de evaluación SE1. Se indica además el número de horas destinadas a dicha actividad

En la ficha de las siguientes dos asignaturas optativas (Introducción a la Espintrónica, Tecnología de materiales) aparece el francés como lengua de impartición. Debe aclararse este aspecto.

Se corrige el idioma de impartición que, por error, figuraba francés en lugar de inglés.

Se deben revisar las horas designadas a actividades prácticas. No es congruente el número actual de horas destinadas actividades prácticas y de laboratorios con unos estudios de ingeniería.

Siguiendo las directrices del Espacio Europeo de Educación Superior la docencia presencial de los alumnos es teórico-práctica. Por lo tanto, al menos la mitad de las 44 horas de clases teórico-prácticas establecidas en la AF1 son de docencia práctica. Pero, además de eso, los alumnos tienen 8 horas de laboratorio para las asignaturas de 6 ECTS. Dichas horas son las mismas que para el resto de estudios de ingeniería de la Universidad puesto que se encuentra normalizado.

## **CRITERIO 6: PERSONAL ACADÉMICO**

En la Memoria de verificación se ha incluido el personal docente disponible en los departamentos universitarios implicados principalmente en la docencia del presente Grado, especificándose los profesores asignados explícitamente al mismo. Para este personal docente se informa de su categoría académica, su tipo de vinculación a la universidad y su experiencia docente e investigadora. Sin embargo, la previsión de horas de dedicación del personal docente se corresponde directamente con los ECTS asignados con una estimación lectiva de 10 h/ECTS, lo que hace suponer que no habrá desdoble de grupos para actividades, como son las prácticas de laboratorio, que se desarrollarían mejor con grupo inferiores a 40 alumnos (número de alumnos previstos por curso). Debe aclararse esta circunstancia, y si, como cabe suponer por la definición del Título, se prevé el desdoble de grupo para algunas actividades formativas, se debe hacer la precisión docente complementaria que corresponda.

Se ha modificado el apartado 6.1 para incrementar de 10 a 12 horas por ECTS el tiempo de dedicación del profesorado de manera que sea posible llevar a cabo el desdoble de los grupos de práctica cuando el número de alumnos del grupo sea superior a 20

Existe una correcta identificación en la Memoria del personal de apoyo disponible, su categoría y experiencia laboral, y su vinculación con la Universidad, en referencia al personal de administración y servicios de los servicios centrales de la Universidad, pero falta la identificación del personal de apoyo que sean los técnicos de los laboratorios implicados en la docencia del Título.

Se ha modificado el apartado 6.2 para incluir el detalle del personal técnico de los laboratorios implicados en la docencia del título.

## **CRITERIO 10. CALENDARIO DE IMPLANTACIÓN**

Se ha definido un cronograma adecuado de implantación del nuevo Título, pero no se debe especificar el curso en el que dará comienzo el mismo, puesto que los títulos no pueden ser implantados hasta que haya concluido su proceso de verificación.

Se ha modificado la tabla de la sección 10.1 para expresarla en términos de años de implantación (AÑO1, AÑO2, AÑO3 y AÑO4), en vez de hacer referencia a cursos académicos concretos.

## RECOMENDACIONES

### CRITERIO 1. DESCRIPCIÓN DEL TÍTULO

La única lengua en que se imparte el título es inglés, por lo que el título del Grado debe incluirse también en inglés con objeto de evitar inducir a error a los potenciales alumnos sobre la lengua de impartición del título. Por ello, la denominación del título que figura en el apartado 1. Descripción del título debería figurar en español e inglés. Debe por tanto incluirse también los apartados 3, 4 y 5 de la memoria en castellano y en inglés.

Se procede a incorporar la denominación del título también en inglés. Además, como se ha indicado en apartados anteriores se procede a la traducción al inglés de los apartados 3, 4 y 5 de la memoria.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL TÍTULO

### 2.1 Justificación del título propuesto, argumentando el interés académico, científico o profesional del mismo

En el proceso de transformación de los antiguos grados de Ingeniería al contexto impuesto por el tratado de Bolonia se ha optado en la mayoría de los centros en España por una estrategia centrada en la pronta especialización de los egresados mediante programas que, en casi todos los casos, son finalistas y con atribuciones profesionales fuertemente reguladas por órdenes ministeriales. Es el caso, por ejemplo, de los diversos grados en Ingeniería Industrial, Ingeniería de Telecomunicaciones o Ingeniería Electrónica que se pueden cursar actualmente en España. Es importante darse cuenta de que dicha elección formativa facilita la incorporación de los egresados de estos títulos al entorno profesional más tradicional, en el que el desarrollo tecnológico es principalmente de tipo incremental, concentrándose sobre todo en adaptar y comercializar soluciones y tecnologías en su mayoría bien establecidas a los nuevos problemas que la sociedad pueda plantear. Puesto que las empresas más importantes de este sector conocen bien estos títulos tradicionales, sintiéndose cómodas con el tipo de formación que han recibido sus egresados, pueden así absorberlos rápidamente e incorporarlos con facilidad a sus procesos de producción y desarrollo.

Sin embargo, debería ser también evidente que **una carencia de la estrategia educativa implementada en España en estos estudios de ingeniería es la escasa formación básica en ciencias que la mayoría de los titulados recibe, lo que de facto supone una limitación para su futuro desarrollo profesional al verse mermada su capacidad de buscar, a lo largo de su carrera profesional, soluciones tecnológicas realmente innovadoras a los problemas que la sociedad demande.** Aunque la necesidad de profesionales con estas capacidades es ampliamente reconocida en el contexto actual, como **argumentamos** en los párrafos que siguen, es justo reconocer que son demandados en cantidades inferiores a las de los titulados más tradicionales. Su ubicación se encontraría, preferentemente, dentro de los departamentos de I+D de empresas tecnológicas de todo tipo, en los centros de investigación públicos y privados, o poblando los semilleros de emprendedores de los que surgen a menudo iniciativas de tipo *start-up* tecnológico, algunas de las cuales, como la experiencia reciente ha demostrado, pueden llegar a crecer enormemente e incluso cambiar la forma de concebir nuestra sociedad actual (valgan como ejemplos los archiconocidos casos de gigantes como Google, Microsoft, Apple, Tesla, SpaceX, ...).

Los motivos de las dificultades de los egresados de los títulos de ingeniería tradicionales a la hora de buscar soluciones innovadoras fuera de los ámbitos tecnológicos bien establecidos no se deben a su capacidad personal, sino que son claramente programáticos, y están relacionados con la baja intensidad de la formación en ciencias básicas que reciben durante los estudios de grado. Muchas de estas soluciones altamente tecnológicas han de buscarse cerca de los límites del conocimiento científico actual y requieren por tanto de una comprensión profunda de

sus principios básicos. La poca profundidad con la que se estudian contenidos científicos básicos en la mayoría de los títulos de Ingeniería que se ofrecen actualmente en España es una consecuencia directa de la agresiva especialización que se ha perseguido en el diseño de estos programas.

Estas simples reflexiones identifican, por tanto, un importante nicho formativo dentro del campo de la Ingeniería en España, que consideramos que es particularmente importante llenar y que es uno de los motivos que nos lleva a proponer este título. Entre muchos motivos, por el hecho antes mencionado de que la tecnología del futuro habrá de buscarse en las fronteras del conocimiento científico, lo que es especialmente cierto en nuestros días, ya bien entrado el siglo XXI. Valgan, como muestra, algunos ejemplos.

Es el caso de la medicina avanzada que busca el desarrollo de *nanobots* que puedan administrar medicamentos con gran precisión o eliminar patologías de forma localizada, actuando sólo allí donde sea necesario, lo que requiere el desarrollo de nanotecnologías compatibles con su uso en sistemas biológicos. Este tipo de iniciativas se enmarcan dentro de la gran explosión actual de todas las biociencias (es decir, la biología, la bioquímica, la biofísica, la bioingeniería, etc.), con su acercamiento holístico a la investigación de la complejidad de los sistemas biológicos que pretende descifrar y predecir cómo funcionan y reaccionan a distintas condiciones, para poder aprovecharse de este conocimiento a la hora de desarrollar nuevas biotecnologías. Otro ejemplo es la computación del futuro que, probablemente, utilizará ordenadores cuánticos que no tendrán necesidad de circuitería o de chips basados en semiconductores, sino que podrían utilizar la luz, y que no estarán limitados por los tamaños mínimos permitidos por la microelectrónica actual. También en el campo de la energía, donde una gran parte de la que necesitará la sociedad futura podría **generarse** de forma limpia y virtualmente inagotable en reactores donde plasmas a temperaturas de cientos de millones de grados serían confinados por intensos campos magnéticos generados por superconductores en los que se podrían conseguir reacciones de fusión en cantidades suficientes, en una forma análoga a como sucede en el centro de nuestro Sol.

Una situación como la descrita no es nueva, y fue de hecho el motivo de la aparición de los primeros grados en Ingeniería Física, mayoritariamente en los Estados Unidos, sobre todo a partir de los años 60. La invención del transistor en los años 50 y la consiguiente revolución tecnológica que provocó basada en el uso de semiconductores puso en relieve la necesidad de contar con ingenieros con una formación más profunda tanto en Física Cuántica como en Física del Estado Sólido. Únicamente de esta manera se pudo explotar al máximo las bondades de estas disciplinas, hasta ese momento desarrollada casi exclusivamente bajo el impulso de investigadores con intereses más fundamentales, para poder así generar nueva tecnología que pudiera facilitar el desarrollo económico y tecnológico de la sociedad. Estos primeros grados de Ingeniería Física se diseñaron de forma que se pudieran adquirir conocimientos básicos más

profundos que los que solían ser comunes en estudios de Ingeniería de la época, sobre todo en Física y Matemáticas, conjuntamente con otros cursos con programas de ingeniería más tradicionales, e incluyendo algunos más en los que se les presentaban los avances tecnológicos punteros en su tiempo. Se introdujeron así, en muchos casos por primera vez, cursos de Física Cuántica, Física del Estado Sólido y de Matemáticas Avanzadas en estudios de ingeniería. Se consiguió de esta forma ensanchar apreciablemente la base de conocimientos fundamentales de los ingenieros que emergen de estos títulos, al tiempo que se les introducía a los nuevos desarrollos tecnológicos del momento, sin perder por ello el contacto con las maneras y metodologías de las ingenierías más tradicionales. Se buscaba, por tanto, formar ingenieros que aportaran una manera diferente de pensar, más capaces de pensar a lo grande. De encontrar soluciones innovadoras que, por sí mismas, pudieran cambiar completamente un sector o un campo tecnológico.

La necesidad de disponer de este tipo de ingeniero, que se siente cómodo utilizando herramientas y tecnologías cercanas a las fronteras del conocimiento, se mantiene tan vigente ahora en los principios del siglo XXI como lo fue a principios de los años 60. La Unión Europea, por ejemplo, así lo reconoce dentro de su programa de financiación de la investigación y desarrollo conocido como el Programa Horizonte 2020 (<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>). Entre otras cuestiones, el programa se preocupa de enumerar primero **cuáles** considera que serán los retos más importantes a los que se **enfrenta** la sociedad del futuro a corto y medio plazo. Los encuentra sobre todo en sectores como la salud, la generación y almacenamiento de energía, el transporte o el clima. A continuación, se dedica a identificar aquellas tecnologías clave (KETs, *Key Enabling Technologies*) que considera más relevantes para resolverlos

(<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/key-enabling-technologies>) y para cuyo desarrollo ofrece financiación. Entre ellas, destaca las relacionadas con la **nanotecnología**, la búsqueda y uso de **materiales avanzados e inteligentes**, la **biotecnología** y el desarrollo de nuevas **técnicas avanzadas de fabricación, producción y procesado** estimando, incluso, crecimientos anuales muy altos para estos sectores claves (16% para la Nanotecnología, el 13% para la Micro- y Nanoelectrónica, el 8% para la Fotónica, y el 6 % para los Nuevos Materiales).

Por otra parte, y también en parte asociado a estas nuevas tecnologías habilitadoras, están apareciendo en los últimos años una creciente integración entre los ámbitos de la biología, la ingeniería, la física, las matemáticas y la computación alrededor del área de la Biomedicina/Bioingeniería. Esta convergencia busca, por ejemplo, el desarrollo de sistemas de sustitución de nuestras funciones fisiológicas (órganos artificiales, bio-órganos, órganos biónicos) y está dando lugar a nuevas disciplinas (biónica, biología de sistemas, biología sintética, ...) y conceptos ("*lab-on-a chip*", "*organ-on-a-chip*", 3-D *bioprinting*, etc.) que contribuirán a redefinir la Medicina del futuro. Se requieren también avances importantes en otras áreas afines a la ingeniería, la física y las ciencias biológicas como son el desarrollo y la incorporación de nuevos materiales biocompatibles y con funcionalidades avanzadas, el uso de nuevas técnicas



instrumentales de medida ópticas, electrónicas y mecánicas o la capacidad de micro- y nano-fabricación de bioestructuras a escala celular y molecular.

Además, la Unión Europea también ha identificado (y aprobado su futura financiación) otros programas tecnológicos que, si bien aún en una fase más incipiente de desarrollo, podrían cambiar de manera muy significativa la forma en la que la sociedad se desarrolle en el futuro cercano. Destaca, por ejemplo, la *Graphene Flagship* (<https://graphene-flagship.eu/>). Con este programa se pretende explorar las bondades del **grafeno** en lo que se refiere al desarrollo de materiales flexibles con aplicaciones en micro- y nano-electrónica y spintrónica, al desarrollo de baterías más eficientes y de sensores más potentes. Un segundo programa que comenzará a partir de 2018 es el de las **Tecnologías Cuánticas** y sus posibles usos para conseguir computadores más veloces, comunicaciones más fiables, algoritmos de encriptación más seguros o mejores sensores

(<http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/fetflag-03-2018.html>). Por último, también es relevante destacar el programa **Human Brain Project**, con el objetivo de acelerar el desarrollo de los campos de las neurociencias y la computación (<https://www.humanbrainproject.eu/en/>).

Como ya se ha mencionado al principio de esta sección, casi todos los programas de Ingeniería que se ofrecen en España actualmente (salvo una única excepción, el grado en Ingeniería Física que oferta la Universidad Politécnica de Cataluña desde el curso 2011-12 y que se discutirá posteriormente en la sección de referentes) no están diseñados con la idea de producir egresados capaces de enfrentarse de forma óptima a estas iniciativas, debido sobre todo a su enfoque prioritario hacia las especialidades de las ingenierías más tradicionales. Hay que reconocer, sin embargo, que sí que existen en España varios programas de Máster encaminados a reconvertir o facilitar a ingenieros tradicionales el poder contribuir a estos nuevos campos de desarrollo tecnológico (por ejemplo, existe un Máster en Ingeniería Física que se ofrece en la Universidad del País Vasco (<https://www.ehu.eus/es/web/masteringenieriafisica/aurkezpena>), y existen también programas de tipo Máster Universitario más especializados que podrían servir para iniciar a ingenieros en estas áreas de desarrollo tecnológico como son, por ejemplo, el Máster en Nanociencia y Nanotecnología Avanzados que ofrece la Universidad Autónoma de Barcelona (<http://www.uab.cat/web/estudiar/la-oferta-de-masteres-oficiales/informacion-general/nanociencia-y-nanotecnologia-avanzadas/-advanced-nanoscience-and-nanotechnology-1096480309770.html?param1=1345664653460>), el Máster en Nanofísica y Materiales Avanzados que ofrece la Universidad Complutense de Madrid (<https://www.ucm.es/masternanofisica/>) o el Máster en Nanociencia y Nanotecnología Molecular que se ofrece en la Universidad Autónoma de Madrid ([https://www.uam.es/ss/Satellite/Ciencias/es/1242650400756/1242650395934/estudio/detalle/Master\\_Universitario\\_en\\_Nanociencia\\_y\\_Nanotecnologia\\_Molecular.htm](https://www.uam.es/ss/Satellite/Ciencias/es/1242650400756/1242650395934/estudio/detalle/Master_Universitario_en_Nanociencia_y_Nanotecnologia_Molecular.htm)), por mencionar algunos de los varios programas que existen en nuestro país.

A nadie escapa, sin embargo, que una formación a nivel de Grado que éste diseñada desde el principio con la idea de formar a ingenieros físicos sería un camino mucho más óptimo y deseable que el hacerlo a través de cualquiera de estos programas de Máster. Para empezar, porque muchos de estos másteres no están pensados para ingenieros, sino para físicos y químicos que quieran dedicarse a la investigación en estos campos. Por ello, se suele avanzar rápidamente sobre los conceptos básicos, mucho de los cuales se han visto ya en profundidad en los grados de ciencia básica, yendo casi directamente a las aplicaciones. Es cierto que hay otros másteres, en cambio, que sí están diseñados de otro modo y tienen un acceso más plural que combina estudiantes de ciencias básicas y de ingeniería. Sin embargo, estos programas son complicados de organizar debido precisamente a la variedad de formaciones previas con la que acceden estos estudiantes y el tiempo relativamente corto del que se dispone para igualarlos (la mayoría de los másteres son de 60 a 120 ECTS, frente a los 240 ECTS de un grado). En un título de Grado, sin embargo, estos problemas apenas existen. Se puede distribuir con facilidad la formación en ciencias básicas del estudiante en los cuatro años del título, consiguiendo un grado de comprensión mucho más profundo de materias de por sí complicadas como puedan ser la Física Cuántica, la Física Estadística, la Biología Molecular o la Física/Química de la Materia Condensada. Esto, además, viene facilitado por el hecho de que la inmensa mayoría de los estudiantes provienen de los procesos de Selectividad y han tenido una formación en ciencias básicas mucho más homogénea. Es por eso por lo que pensamos que el grado en Ingeniería Física que se propone implantar en la Universidad Carlos III de Madrid contribuiría a llenar este nicho, ayudando así a abrir nuevos horizontes profesionales para graduados en ingeniería con un perfil más generalista e interdisciplinar, que pudiera contribuir de manera importante al desarrollo de las tecnologías del futuro en nuestro país. Su formación profunda y pluridisciplinar también les debería permitir acceder con posterioridad a un amplio espectro de Másteres especializados, tanto en el ámbito de la ingeniería más clásica como en el de la Tecnología y la Investigación, lo que pensamos que está en perfecta consonancia con las nuevas tendencias formativas que se han hecho hueco en la sociedad española y europea tras la implantación del Espacio Europeo de Educación Superior.

Resulta también conveniente mencionar que la ubicación de un grado en Ingeniería Física en una universidad de la Comunidad de Madrid como es el caso de la Universidad Carlos III es particularmente adecuado para los futuros egresados de este título, sobre todo si se tiene en cuenta el hecho de que la Comunidad de Madrid (CM) es la primera región española en gasto en I+D. Aunque los presupuestos en I+D son aún bastante inferiores respecto a los de los años anteriores a la reciente crisis económica, la CM invirtió más de 3.500 millones de Euros en I+D en 2016, lo que supone más del 25% de la inversión total de España en este campo y un 1.66% del PIB de la comunidad madrileña

([http://www.madrid.org/cs/Satellite?cid=1158849749349&language=es&pagename=Inversor%2FPage%2FINVE\\_contenidoFinal](http://www.madrid.org/cs/Satellite?cid=1158849749349&language=es&pagename=Inversor%2FPage%2FINVE_contenidoFinal)). De hecho, en Madrid se ubica un número importante de empresas e industrias, muchas de ellas multinacionales, con fuerte

actividad en I+D. Estas se centran sobre todo en torno a las tecnologías de la información y la comunicación, en la industria farmacéutica y la biotecnología, en la fabricación de instrumentos científicos, sensores de precisión y de productos electrónicos, así como en las industrias química, mecánica, automovilística, aeroespacial y ferroviaria (<http://www.madrid.mobi/UnidadesDescentralizadas/UDCObservEconomico/ObservatorioIndustrial/>). Madrid es también sede de muchos centros de investigación públicos que trabajan en el desarrollo de estas tecnologías (como el CSIC, el CIEMAT o el INTA), así como de universidades con programas de investigación internacionalmente reconocidos en estos campos. Por tanto, parece claro que la Comunidad de Madrid es uno de los lugares que más podría beneficiarse en España de poder disponer de egresados con el perfil aquí propuesto, que podrían incorporarse a muchas de estas empresas y centros de investigación madrileños.

En lo que se refiere a la demanda esperable por parte de los estudiantes para un grado como el que aquí se propone, pensamos que será razonablemente alta en la Comunidad de Madrid. La primera idea importante a la hora de estimar la demanda a esperar es que en un grado de este tipo no se trata de atraer a un número muy alto de estudiantes suficientemente buenos, sino de conseguir un número razonable de estudiantes muy brillantes. El alto grado de abstracción de los contenidos y el continuado esfuerzo requerido para superar los contenidos del título aconseja que, para garantizar su éxito, el alumnado esté constituido de estudiantes con una vocación científico-tecnológica muy fuerte y con altas notas de acceso. Se estima que dichos estudiantes existen en la Comunidad de Madrid en números suficientes altos como para garantizar el éxito de un grado como el aquí propuesto. Esta afirmación está basada en dos hechos. Primero, los resultados del Grado de Ingeniería Física de la Universidad Politécnica de Cataluña (<https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-fisica-barcelona-etsetb>), que comenzó a ofertarse en el curso 2011-2012 y que para el curso 2017-18 consiguió una nota de corte de 12,690 sobre 14, la más alta de la UPC, para una oferta de 40 plazas. La población de la Comunidad de Madrid es aproximadamente de 6.5 millones de personas frente a los 7.5 de Cataluña, que es la base de atracción principal de estudiantes de la UPC, lo que haría esperar un interés similar en Madrid por un título de este tipo. A estos habría que añadir los de comunidades limítrofes, como Castilla La Mancha, muchos de cuyos estudiantes también vienen a universidades de la Comunidad de Madrid. De hecho, es interesante destacar que actualmente uno de cada tres estudiantes que estudia en la UC3M proviene fuera del distrito de Madrid. Además, es interesante señalar que no habría una competencia significativa con el grado de la UPC, puesto que ambas captan a sus estudiantes en bolsas geográficas muy diferentes. El interés de los alumnos madrileños más brillantes en estudios de perfil científico es también apoyado por los resultados del doble grado en Física-Matemáticas que ofrece la Universidad Complutense de Madrid. Este título, con una oferta de 25 plazas, lleva consiguiendo la nota de corte más alta de toda la Comunidad de Madrid desde el curso 2014-15 habiendo logrado superar a los estudios de medicina que

tradicionalmente solían copar las primeras posiciones (aunque es justo reconocer que dichos estudios ofrecen un número significativamente superior de plazas). De esta forma, en el curso más reciente, el 2017-18, la nota de corte de acceso fue de 13,667 sobre 14

(<http://www.elmundo.es/madrid/2016/07/15/5788b6b1e5fdea66448b457a.html>). Es importante resaltar, sin embargo, que el Grado en Ingeniería Física aquí propuesto no pretende competir con el doble grado de Física-Matemáticas de la UCM, ya que el perfil que se busca aquí es el de aquellos estudiantes más interesados en los aspectos más aplicados de la Física y sus aplicaciones tecnológicas. Se trataría, por tanto, de estudios complementarios, no competitivos entre sí. Su coexistencia dentro de la misma ubicación geográfica sería por tanto muy beneficiosa a nuestro juicio.

Finalmente nos gustaría discutir la idoneidad de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) y de su Escuela Politécnica Superior (EPS) para impartir un título de este tipo. La EPS de la UC3M lleva ofertando grados de ingeniería desde su creación en 1990. En la actualidad oferta un buen abanico de títulos que engloban desde las disciplinas más tradicionales (Ingenierías del contexto Industrial, de Telecomunicaciones o Aeroespacial) a otras titulaciones más recientes como la Ingeniería Informática, la Ingeniería de la Energía o la Ingeniería Biomédica. Todos estos títulos están adaptados al Espacio Europeo de Educación Superior con muchos de ellos impartiendo en modelo bilingüe (castellano-inglés) o incluso exclusivamente en inglés. La recepción de todos estos títulos en la comunidad de Madrid es excelente, con una nota media de acceso en la EPS de 11,044 sobre 14 en el curso 2017-18, siendo los estudios con notas de acceso más altas de la EPS los de Ingeniería Biomédica (12,785 sobre 14), Ingeniería Aeroespacial (12,574) e Ingeniería en Tecnologías Industriales (11,004). La Universidad Carlos III de Madrid recibió, en el acceso más reciente del que hay datos que corresponde al curso 2016-17, 1.7 peticiones de admisión en primera opción por cada plaza ofertada. Se trata, por tanto, de una universidad muy atractiva para los estudiantes de la comunidad de Madrid y su entorno más cercano. Dado que el título se imparte íntegramente en inglés, sería de gran atractivo para potenciales mercados fuera de España como el europeo, americano o el asiático, entre otros. Esto no sólo incrementaría la posible demanda, sino también aumentaría las posibilidades de movilidad europea e internacional de sus estudiantes españoles, que es un gran valor añadido como se ha comprobado en muchos de los otros títulos de grado que se ofertan en la UC3M. Por último, cabe mencionar que La UC3M dispone además en su plantilla de un número grande de investigadores de reconocido prestigio, ubicados tanto en sus departamentos de ciencia básica como tecnológicos, que trabajan activamente en muchas de las áreas que se incluyen dentro del programa del grado como es el caso, por ejemplo, de la nanoelectrónica y la nanofotónica, de las aplicaciones de la nanotecnología a las ciencias biomédicas, del desarrollo de materiales inteligentes y de nuevos nanomateriales, así como del desarrollo de nuevas tecnologías de generación energética, incluyendo tanto a las energías renovables como a la fusión nuclear.

## ***2.2 Perspectiva de empleabilidad de los egresados***

La Universidad Carlos III se toma muy en serio la empleabilidad de los egresados de cualquiera de los títulos que ofrece. De hecho, hace un seguimiento de la implantación laboral, los sueldos y la alienación del puesto de trabajo con los estudios realizados para los egresados de todos sus títulos mediante encuestas telefónicas realizadas al año y a los cinco años de haber obtenido el título. Esta información se suministra a los canales que la universidad ha implantado para realizar el control de calidad de todas sus titulaciones. En el caso de los estudios en Ingeniería Física es, sin embargo, imposible realizar un estudio riguroso de empleabilidad en España en estos momentos. El motivo esencial es que es un título que no ha existido en este país hasta que la Universidad Politécnica de Cataluña lo implantó en el curso 2011-2012 con gran éxito, ofertando desde entonces un único grupo de 40 estudiantes. Los primeros egresados de la UPC salieron en el verano de 2014, lo que no da aún un plazo suficiente para poder realizar un estudio riguroso de este aspecto a medio o largo plazo.

Sin embargo, sí que esperamos una buena empleabilidad para estos egresados basándonos, sobre todo, en el buen funcionamiento que estos títulos han tenido y tienen en el extranjero, debido en gran parte a la gran calidad intelectual, curiosidad y energía de los estudiantes que atrae. Por ejemplo, una búsqueda de los salarios medios percibidos en los últimos años por distintos tipos de ingenieros en los Estados Unidos en la página web <https://www.payscale.com/> nos revela que mientras que un Ingeniero Eléctrico gana un salario medio de \$73.428 al año, un Ingeniero de Software \$83.388 y un Ingeniero Aeroespacial \$82.136, un Ingeniero Físico gana en promedio \$89.544 al año. Aunque es evidente que el número de Ingenieros Físicos demandados por la sociedad es sensiblemente inferior al del resto de ingenieros, su alta remuneración media demuestra el gran atractivo que tienen para el mercado laboral, tanto en el ámbito privado como en el académico.

## **2.1 Motivation: academic, scientific and professional interest of the proposed degree.**

During the process of transformation of all Spanish Engineering Programs within the new principles of the Bologna Treaty, a common strategy has been to focus on the fast specialization of the graduates by means of academic curricula that are strongly guided and heavily regulated by ministerial orders. This is the case, for instance, of the various programs currently offered by Spanish universities in Industrial Engineering, Mechanical Engineering, Electrical Engineering or Telecommunication Engineering. It is important to notice that this strategy makes it easier for graduates to find jobs within the Spanish traditional engineering sector, where technological development is in many cases incremental, mostly focused on adapting and deploying engineering solutions to the new challenges posed by our present society that are based on well established technologies. Since Spanish engineering companies are very familiar with these traditional engineering programs, they feel quite comfortable with the abilities acquired by these graduates. As a result, they hire them with ease and are able to train them quickly, integrate them into their workforce and make them successfully partake in their development and production processes.

It should also be apparent, however, that this strategy produces engineering graduates with a severe lack of general knowledge in basic science. This can be a serious drawback in terms of the future career development of these engineers since their ability to look for, to design and to develop truly innovative technological solutions is in general rather limited. It is fair to admit that engineers with this kind of abilities are not required in the same numbers as those with more traditional engineering skills. They are however very valuable and highly sought for in places such as R&D departments of technological companies as well as in research laboratories both private and public. They also populate the ranks of those young *entrepreneurs* that come up with the kind of new ideas and advancements on which technological start-up companies can successfully be built. It escapes nobody that some of these start-ups have the power to ultimately change the society in which we live in, as shown by current technological giants such as Google, Microsoft, Tesla, SpaceX, Apple and many others that started in this way.

The reasons why graduates of traditional engineering programs will have difficulties in coming up with truly innovative solutions outside of already well-established technologies must not be sought in a lack of intellectual capacity on their part but on the low amount of basic science classes contained in the academic curricula of these programs. This lack of depth and breadth is a direct consequence of the extremely focused design strategy followed in most Spanish Engineering Programs. However, as experience has shown frequently, many of these innovative solutions must be sought in fields that lie within the limits of current scientific knowledge and research, and require of a deep comprehension of their basic principles. All this discussion reveals a niche that exists among the engineering programs that are offered in the Spanish Education System. We feel that this is a void that must be filled, this being the main reason why

we propose a new program in Engineering Physics at the Universidad Carlos III de Madrid.

The realization that new technological solutions must be sought in the limits of current scientific knowledge is not new. It was as true at the beginning of the Industrial Revolution as it is today, in the first decades of the 21st century. We would like to provide some examples. Let's take first, for instance, the new fields in advanced medicine that are attempting to develop nanobots that could deliver medication locally with great precision or to act selectively against pathologies at the cellular level, acting only where needed, all of which requires the development of nanotechnologies that can be safely deployed within biological systems. These initiatives are representative of the current scientific revolution in the biosciences (i.e., biology, biochemistry, biophysics, bioengineering,...) that are quickly changing their traditional approach to a more holistic attitude that can address better the large complexity of the biological systems. This is expected to help in deciphering how these systems operate and react in various conditions in order to take advantage of that knowledge to develop viable biotechnological solutions. Another example comes from the future of computing that will probably be based on quantum computers that will no longer require circuitry or silicon-based chips, relying instead on pure light and quantum mechanics, not being limited by the constraints and operational boundaries of current microelectronics. A final example can be found within the research field of fusion energy production, that attempts at generating a large fraction of the energy that our future society will require by harnessing the power of the sun within earthly-based reactors where extremely hot plasmas will be confined by strong magnetic fields or compressed by high-power lasers.

A state of affairs similar to the one previously described was in fact the main reason for the appearance of the first programs in Engineering Physics in the United States in the 1960s and 70s. At that time, the main driver was the invention of the transistor in the 50s and the technological revolution based on semiconductors that followed. Engineers with a good knowledge in Quantum Mechanics and Solid State Physics became quickly in great demand by this newborn industry, since they were the best suited to take advantage of the many possibilities offered by these new disciplines, developed up to then mainly by physicists and researchers with a more fundamental motivation. Great economical and technological development followed, as is well known. These first Engineering Physics programs were designed to help their future graduates gain a much more intimate knowledge of basic Physics, which was unusual in engineering programs at the time. They included a large number of classes in Physics and Math, in addition to more traditional Engineering courses, plus a number of specific courses that targeted the most novel technological advances of the time. This was probably the first time in which engineers took courses in Quantum mechanics, Solid State Physics and Advanced Mathematics within an engineering curriculum. In this way, graduates obtained a multidisciplinary and interconnected view of all these disciplines, all

without losing sight of the traditional engineering way of thinking and working. The result was engineers able to think outside of the box to look for innovative solutions that could reshape completely a technological sector or discipline.

The same need for this type of engineer is as alive today as it was in the 60s. Someone that is as comfortable in activities close to the forefront of scientific research as when using more standard engineering tools. The European Union recognizes this need within its funding priorities for research and development within the Horizon 2020 initiative (<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>). Among other issues, this program first identifies the most important challenges that our society faces in the near future. These are found within sectors such as public health, the generation and storage of energy, climate change or transportation. Next, the program identifies those key technologies (or KETs) judged as the most relevant to solve all these issues (<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/area/key-enabling-technologies>) and prioritizes funding for their development. In particular, it discusses nanotechnologies, advanced and smart materials, biotechnologies, the development of new fabrication, production and processing techniques. It also predicts rather large annual increases for all these key sectors: 16% for nanotechnology, 13 % for micro- and nanoelectronics, 18% for nanophotonics or 6% for advanced materials.

In addition, the last few years have seen a surge in the integration of disciplines such as Biology, Engineering, Physics, Mathematics and Computation within the field of Biomedicine and Bioengineering. This convergence of interests and techniques is found, for instance, in the development of systems that might substitute or replace human organs (artificial organs, bio-organs, bionic organs, ...) and is resulting in the appearance of new disciplines (bionics, system biology, synthetic biology, ....) and concepts ("lab-on-a chip", "organ-on-a-chip", 3-D bioprinting, etc.) that will reshape the medicine of the future. This development requires the parallel development of other areas of engineering, physics and biology such as the development of biocompatible materials with advanced functionalities, new diagnostic tools or new micro- and macro biofabrication procedures at the cellular and molecular levels.

Furthermore, the European Union has also identified (and approved the funding of) other technological programs that, if still in a more premature phase, might reshape our future society in a very important way. One such program is the *Graphene Flagship* (<https://graphene-flagship.eu/>) that aims at exploring the possible uses of graphene to develop new flexible materials with use in micro and nanoelectronics as well as in spintronics, to build more efficient batteries or more accurate and precise sensors. Another program that will start to be funded in 2018 is that of Quantum Technologies



<http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/fetflag-03-2018.html>), and its possible applications to achieve faster computing, more reliable communications or safer data encrypting. Last but not least, we would like to mention the Human Brain Project (<https://www.humanbrainproject.eu/en/>) that will support and fund the development of neurosciences.

As mentioned earlier in this section, all Spanish Engineering programs (with just one exception, the Engineering Physics degree offered by the Universidad Politécnica de Cataluña since 2011) are not optimally designed to face any of these technological challenges due to the high degree of specialization of their academic curricula. There are Master programs in the Spanish Educational system that are better suited for this task, some of them even aiming at training engineering graduates specifically to build a future career in these new technological areas (for instance, there is a Master in Engineering Physics offered by the Universidad del País Vasco (<https://www.ehu.eus/es/web/masteringenieriafisica/aurkezpena>); other Master programs that might also be useful to introduce engineering graduates in these areas are the Master in Advanced Nanoscience and Nanotechnologies offered by the Universidad Autónoma de Barcelona (<http://www.uab.cat/web/estudiar/la-oferta-de-masteres-oficiales/informacion-general/nanociencia-y-nanotecnologia-avanzadas/-advanced-nanoscience-and-nanotechnology-1096480309770.html?param1=1345664653460>), the Master Program in Nanophysics and Advanced Materials offered by the Universidad Complutense de Madrid (<https://www.ucm.es/masternanofisica/>) or the Master Program in Nanoscience and y Molecular Nanotechnology offered by the Universidad Autónoma de Madrid ([https://www.uam.es/ss/Satellite/Ciencias/es/1242650400756/1242650395934/estudio/detalle/Master\\_Universitario\\_en\\_Nanociencia\\_y\\_Nanotecnologia\\_Molecular.htm](https://www.uam.es/ss/Satellite/Ciencias/es/1242650400756/1242650395934/estudio/detalle/Master_Universitario_en_Nanociencia_y_Nanotecnologia_Molecular.htm)), to mention a few of the programs available in Spain.

It should be apparent to anyone, however, that designing an undergraduate program in Engineering Physics would be a much more optimal path to produce graduates with these capacities and abilities. The first reason is that the majority of these Master Programs are not designed for engineers, but for Physics and Chemistry graduates that want to engage in research activities in these areas. Since these graduates have already taken classes on many the basic concepts, these programs navigate through them briefly, shifting the focus to applications and research too quickly for engineering graduates. There are some other Master Programs that target engineering graduates directly and that are more adequate for their training. However, they generally accept engineers of various disciplines. This heterogeneous intake of students makes the academic curriculum of these programs rather complicated to organize which, in combination with the short duration of these programs (they are typically one to two year programs, including between 60 and 120 ECTS; in comparison a four year degree contains 240 ECTS), compromises either the degree of leveling that can be carried out

or the depth of advanced material that can be addressed. This situation must be compared with that of a four year undergraduate program in Engineering Physics, where these problems are absent. First, the intake of students is much more homogeneous and it is straightforward to distribute the basic science courses among the four years of the degree. In this way, a much deeper understanding is possible of scientific disciplines as subtle and complicated as Quantum Physics, Statistical Physics, Molecular Biology or Condensed Matter Physics and Chemistry. This is the main motivation behind the proposal of the Engineering Physics Program at the Universidad Carlos III de Madrid. We think that such a program could help to fill the void previously identified within the Engineering Programs currently offered by the Spanish Educational System, helping to expand the career possibilities of our engineering graduates that would offer a more general and multidisciplinary profile to the public and private job market. The highly multidisciplinary and scientific training of our graduates would also make easier for them to join a wide spectrum of specialized Master Programs, from more traditional engineering to advanced research and technologies. We feel that this is in good alignment with current tendencies in education that has grown both in the Spanish and European societies after the implantation of the European Higher Education Area described in the Bologna Treaty.

It is also worthwhile to mention that the placement of an Engineering Physics Program in the academic offering of a university in the Comunidad de Madrid is particularly convenient at this time. The Comunidad de Madrid (CAM) is the region in Spain that invests more funding into R&D. In spite of the fact that the R&D budget has been decreased significantly with respect to its numbers previous to the recent economic crisis, the CAM still invested above 3.500 million Euros in R&D activities in 2016, about 25% of the overall R&D investment in SPAIN and 1.66% of the GDP of the CAM ([http://www.madrid.org/cs/Satellite?cid=1158849749349&language=es&pagename=Inversor%2FPage%2FINVE\\_contenidoFinal](http://www.madrid.org/cs/Satellite?cid=1158849749349&language=es&pagename=Inversor%2FPage%2FINVE_contenidoFinal)). Madrid is home to a large number of industries and companies, many of them international, that are heavily involved in R&D activities. Most of them focus their interests and activities in areas such as information and telecommunication technologies, pharmaceutical business and biotechnology, scientific instrument fabrication, precision sensors, electronics as well as the chemical, mechanical, auto, train and aerospace sectors (<http://www.madrid.mobi/UnidadesDescentralizadas/UDCObservEconomico/ObservatorioIndustrial/>). Madrid is also home to some of the more advanced publicly-funded research laboratories (such as CSIC, CIEMAT o INTA), as well as various universities with internationally recognized research programs in these areas. It seems thus apparent that the Comunidad de Madrid is one of the best places in Spain for Engineering Physics graduates to access the job market, be it in private companies or public research institutions.

In regards to the expected demand for a program on Engineering Physics in the Comunidad de Madrid, there are reasons to believe that it will be rather high. It is important to consider first that this is the kind of program that will attract a moderate

number of very good students, instead of a large number of reasonable good students. This profile of attraction is due in part to the high degree of abstraction of some of the courses in the program, and secondly by the large degree of compromise and effort that it requires from the students. In fact, we believe that the number of enrolled students must be kept low in order to guarantee that only excellent students with strong scientific and technological motivations enter into the program. We have estimated that a sufficient number of students fitting this profile do exist in the Comunidad de Madrid. We base this estimation in two facts. First, the excellent performance of the Engineering Physics program at the Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) (<https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-fisica-barcelona-etsetb>), that started in 2011 and that in 2018 manage to recruit 40 new students into the program, every one of them with grade above 12,690 (of a maximum of 14), the highest entrance grade in that university. The population of the Comunidad de Madrid is close to 6.5 million, whilst there are 7.5 million people in Cataluña, the main basin of attraction for UPC. Thus, we expect a similar level of interest for an Engineering Physics degree in Madrid. In addition, the Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) receives very good students from neighbouring regions such as Castilla-la-Mancha and Castilla-León. In fact, one of every three students at UC3M comes from outside of the Comunidad de Madrid. It is also worth noting that we expect little competition with the Engineering Physics program at UPC since the basins of attractions of these two universities barely overlap. Secondly, Madrilian students have shown great interest in recent years in joining a Double Degree in Physics and Mathematics that is offered by the Universidad Complutense de Madrid. This program, that recruits 25 new students every year, has the highest entrance grade of the Comunidad de Madrid since 2014 (<http://www.elmundo.es/madrid/2016/07/15/5788b6b1e5fdea66448b457a.html>). This grade is even higher than the one required to be accepted in any of the Medicine Faculties in Madrid, that traditionally have required the highest marks for many years. In particular, the minimum grade of students accepted into the Double Degree in Physics and Mathematics in 2018 was 13,667 (out of 14). We want to state that the program in Engineering Physics we propose does not intend to compete with this Double Degree, since the student profile we are seeking is that of students more interested in technological applications than in fundamental research. But the coexistence of these two degrees in the same geographical region is indeed very attractive in our opinion.

Finally, we want to discuss why the Universidad Carlos III de Madrid and, in particular, its Polytechnical School (EPS) is a very strong candidate to offer a high-quality program in Engineering Physics. The EPS has been offering Engineering Degrees since it was created in 1990. It has a wide offering of programs that extend from the more traditional engineering degrees (Mechanical, Electrical, Telecommunication or Aerospace) to more innovative and modern programs such as Computer Engineering, Biomedical Engineering or Energy Engineering. All these programs are adapted to the European High Education Area. The majority of them are offered in a bilingual model

(Spanish-English), but some are taught completely in English. The attraction of students into these programs is very successful. The average entrance grade into the EPS was 11.044 (out of 14) in 2017, with the highest marks corresponding to Biomedical Engineering (12.785), Aerospace Engineering (12,574) and Industrial Technology Engineering (11.004). In the last year, the Universidad Carlos III received 1.7 first-choice applications per position offered, showing that it is a very attractive university for students from the Comunidad de Madrid and its surrounding area. Since the program would be exclusively taught in English, it would also be very attractive internationally. This fact would not only increase the number of prospective students, but also facilitate the international mobility of our students, both within and outside of Europe as has been seen with other programs at UC3M. Finally, it is worth mentioning that UC3M has a large number of recognized researchers in the areas covered by this program as part of their permanent staff. This is the case, for instance, in the areas of nanotechnology and nanophotonics, biotechnology, advanced materials and new technologies for energy generation such as renewable sources and nuclear fusion.

## ***2.2 Prospects for the employability of Engineering Physics graduates.-***

Universidad Carlos III (UC3M) is an institution that has always cared about the success and performance of all its graduates in the job market. To try to improve their employability, UC3M carries out studies that monitor their placement success, their salaries and the alignment of their jobs with their degrees by means of phone surveys carried out both after one and five years of graduation. This information is then provided to several actors within the university that play a role in the quality control system in charge of monitoring all of its degrees. In the case of the Engineering Physics Program, however, this information is not yet available and, therefore, it is impossible to make any realistic quantitative assessment of their employability in the Spanish job market. The main reason is that the program is relatively new in Spain, having been first (and only) offered (40 students/year) with great success by the Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) in 2011-2012. The first graduates from UPC came out in the summer of 2014, too close in time to allow for any mid-to-long-term rigorous job placement studyl.

There are reasons, however, that make us be really confident that Engineering Physics graduates will have a very high employability. These are based, for the most part, in the great success that these programs have had and still do outside of Spain, fueled by the great intellectual capacity, large motivation and endless energy of the students that usually take part in them. As a token, we could perhaps mention that, when comparing the average annual salary earned by various types of engineers in the United States (<https://www.payscale.com/>), it is found that a typical graduate of Engineering Physics earns about \$89.544 a year while an Electrical Engineer makes on average \$73.428, a Software Engineer about \$83.388 and an Aerospace Engineer gets \$82.136. Even when taking into account that the number of Engineering Physicists is naturally much smaller

than that of more standard Engineering types, their high paying scale shows that these are highly appreciated and sought for profiles, both in industry and in academia.

## **2.2 Perfil del egresado y resultados de aprendizaje**

Los egresados del Grado en Ingeniería Física deben ser capaces de aplicar las ideas y conceptos fundamentales de la Física Moderna, las Matemáticas, la Química o la Biología a problemas relacionadas con la Ingeniería en áreas tecnológicas avanzadas, particularmente en aquellos campos en desarrollo en los que el progreso científico y tecnológico avanzan simultáneamente. Para ello, tendrán la formación básica necesaria para poder identificar y formular dichos problemas en el lenguaje de la ciencia moderna, la formación técnica requerida para poder diseñar y conducir experimentos que prueben dichas soluciones, y el conocimiento necesario para analizar e interpretar críticamente los resultados de los mismos. Los egresados también tendrán la capacidad para poder diseñar componentes, procesos, procedimientos o sistemas para satisfacer necesidades específicas en el ámbito tecnológico actual teniendo en cuenta no sólo los parámetros meramente técnicos o científicos, sino también aspectos sociales, económicos, éticos y de seguridad. Los egresados podrán desenvolverse adecuadamente en equipos multidisciplinares de cualquier tamaño, comunicarse efectivamente con ellos y establecer con fluidez relaciones interpersonales de trabajo. Por tanto, estarán capacitados para poder desarrollar su carrera profesional en todos los sectores del ámbito tecnológico más avanzado, tanto los académicos como los industriales y profesionales, que demanden un perfil de ingeniero con una fuerte componente de investigación y desarrollo.

### **RESULTADOS DEL APRENDIZAJE DEL TÍTULO (RA)**

**RA1** Haber adquirido conocimientos y demostrado una comprensión profunda de los principios básicos, tanto teóricos como prácticos, así como de la metodología de trabajo en los campos de las ciencias y la tecnología, con profundidad suficiente como para poder desenvolverse con soltura en los mismos;

**RA2** Poder, mediante argumentos, estrategias o procedimientos desarrollados por ellos mismos, aplicar sus conocimientos y capacidades a la resolución de problemas tecnológicos complejos que requieran del uso de ideas creativas e innovadoras;

**RA3** Tener la capacidad de buscar, recopilar e interpretar datos e informaciones relevantes sobre las que poder fundamentar sus conclusiones incluyendo, cuando sea preciso y pertinente, la reflexión sobre asuntos de índole social, científica o ética en el ámbito de su campo de estudio;

**RA4** Ser capaces de desenvolverse en situaciones complejas o que requieran el desarrollo de nuevas soluciones tanto en el ámbito académico como laboral o profesional dentro de su campo de estudio;

**RA5** Saber comunicar a todo tipo de audiencias (especializadas o no) de manera clara y precisa, conocimientos, metodologías, ideas, problemas y soluciones en el ámbito de su campo de especialidad;

**RA6** Ser capaces de identificar sus propias carencias y necesidades formativas en su campo de especialidad y entorno laboral/profesional y de planificar y organizar su propio aprendizaje con un alto grado de autonomía en cualquier situación.

## **RESULTADOS DE APRENDIZAJES ESPECÍFICOS DE CADA MATERIA**

- **MATERIA 1 Conocimientos transversales**
  - Saber desarrollar argumentos de forma oral y escrita.
  - Conocer y saber utilizar diferentes técnicas para manejar información bibliográfica y localizar documentos digitales en Internet.
  - Tener conocimientos en diversos aspectos necesarios para el desarrollo de actividades profesionales, incluyendo la resolución de conflictos, el trabajo en equipo y los procesos de negociación.
  - Saber utilizar hojas de cálculo para realizar cálculos matemáticos y estadísticos y representar gráficamente conjuntos de datos.
  
- **MATERIA 2 Formación Básica**
  - Utilizar adecuadamente el lenguaje matemático formal
  - Conocer y aplicar el método científico. Ser capaz de formular una hipótesis, desarrollarla y validarla.
  - Comprender y usar los conceptos básicos y las técnicas del cálculo en una y varias variables y del álgebra lineal.
  - Implementar con éxito algoritmos sencillos en lenguajes de programación avanzados o mediante programas específicos.
  - Comprender y usar los conceptos básicos de cálculo de probabilidad y estimación de error.
  - Comprender y aplicar los conceptos básicos de la Mecánica, la Termodinámica y el Electromagnetismo.
  - Comprender y aplicar los conceptos básicos de la Química.
  - Entender la relación entre la estructura y las propiedades de la materia.
  - Aplicar los principios de las transformaciones químicas al cálculo de reactivos y productos
  - Entender las propiedades de los principales compuestos inorgánicos y orgánicos de interés.

### **MATERIA 3 Ciencias Básicas**

- Integrar conceptos fundamentales de las Matemáticas, Física, Química y Biología y aplicarlos a la solución de problemas de Ingeniería.
- Aplicar herramientas numéricas y de simulación para comprender y resolver problemas del ámbito de las ciencias y la ingeniería.

- Conocer y usar tanto ecuaciones diferenciales ordinarias como en derivadas parciales. Conocer las propiedades básicas de las ecuaciones diferenciales más importantes de la Física y la Ingeniería.
  - Manejar y comprender las transformadas Z, de Fourier, Laplace y conocer sus aplicaciones más importantes en el ámbito de la ciencia y la ingeniería.
  - Usar formalismos en variable compleja con comodidad en los ámbitos de la Física y la ingeniería.
  - Comprender y dominar los conceptos de la Electricidad, Magnetismo y Ondas Electromagnéticas tanto en el vacío como en medios materiales.
  - Comprender y dominar los conceptos básicos de las formulaciones Lagrangiana y Hamiltoniana de la Mecánica y su relación con la formulación Newtoniana.
  - Comprender y dominar los conceptos básicos de la Física Cuántica. Ser capaz de resolver problemas sencillos en este contexto, tanto de forma exacta como aproximada.
  - Conocer las colectividades estadísticas. Conocer y aplicar las estadísticas clásicas y cuánticas de bosones y fermiones a problemas físicos y de ingeniería.
  - Comprender los principios de la Física y la Química del Estado Sólido, el origen de las propiedades de los sólidos y sus aplicaciones tecnológicas.
  - Comprender los principios físicos de los materiales semiconductores y sus aplicaciones.
  - Comprender la importancia y la interrelación de los fenómenos y procesos físicos y bioquímicos en los seres vivos a escala molecular, celular y tisular.
- MATERIA 4 Fundamentos de Ingeniería
    - Ser capaz de analizar problemas y de proponer e implementar soluciones prácticas en el contexto de la ingeniería;
    - Conocer los principios básicos de los dispositivos electrónicos y sus aplicaciones.
    - Conocer los procesos básicos de fabricación de dispositivos electrónicos y circuitos integrados.
    - Conocer y usar las principales técnicas en tiempo y frecuencia para el análisis de circuitos y señales.
    - Conocer la instrumentación y las técnicas experimentales más importantes en los ámbitos propios de la Ingeniería, la Física, la Química y la Biología
    - Dominar las estrategias más importantes para el diseño de experimentos en las áreas de Ciencia e Ingeniería.
    - Conocer las técnicas de análisis de datos experimentales y su procesamiento estadístico.
    - Comprender los principios de la propagación y radiación de ondas electromagnéticas.
    - Comprender los principios básicos de la interacción luz-materia y sus principales aplicaciones en la Ingeniería.
    - Comprender los conceptos básicos sobre las leyes de la Termodinámica, los procesos de transferencia de calor y las máquinas y ciclos térmicos.

- Comprender los conceptos básicos de la Mecánica de Fluidos, su formulación matemática y sus aplicaciones a problemas de la Ingeniería.
  - Ser capaz de planificar, dirigir y estimar los costes de un proyecto de ingeniería.
- MATERIA 5 Tecnologías Avanzadas
    - Comprender y aplicar los principios básicos de la Computación Cuántica y de la Teoría Cuántica de la Información.
    - Conocer y comprender los principios básicos de la Electrónica y la Fotónica a la nanoscala.
    - Comprender y aplicar los principios básicos de la Física de Plasmas. Conocer las aplicaciones tecnológicas más importantes de los plasmas en los campos de la Energía y la Ingeniería.
    - Comprender los fundamentos de los biomateriales. Familiarizarse con el diseño y los procesos de fabricación tanto de biomateriales y biosensores.
    - Comprender los principios de fabricación de dispositivos a la micro y nano-escala. Conocer sus principales aplicaciones a problemas de Ingeniería.
    - Conocer, comprender y manejar las aproximaciones holísticas para entender la complejidad de los sistemas biológicos y predecir su función y sus cambios en el tiempo (embriogénesis, envejecimiento, etc.) y en condiciones patológicas.
    - Conocer los principios que permiten el diseño e ingeniería de sistemas biológicos y organismos vivos a partir de sus componentes, para aplicaciones científicas o industriales.
    - Conocer los principios fundamentales y la problemática de los procesos de generación, conversión, transporte y almacenamiento de energía
  - MATERIA 6 Optativas
    - Completar los conocimientos básicos, transversales y obligatorios propios del Grado en función de las preferencias del estudiante, hacia destrezas más científicas, tecnológicas o computacionales, o hacia una formación laboral complementaria.
  - MATERIA 7 TFG
    - Diseñar, desarrollar y evaluar una solución tecnológica o científica a un problema de ciencia o ingeniería.
    - Escribir documentos técnicos de descripción de proyectos tecnológicos en este contexto.
    - Presentar correctamente un proyecto tecnológico en este contexto.



## **2.2 Profile of Graduates and learning achievements**

All graduates exiting the Engineering Physics program will be able to apply the fundamental ideas and concepts of Modern Physics, Mathematics, Chemistry and Biology to engineering-related problems within the area of advanced technologies, with special focus on those areas in development where scientific research and technological advances progress hand in hand. Graduates will also possess the basic scientific knowledge required to be able to identify the relevant issues and formulate them in the language of modern science, the technical training needed to design and perform experiments to identify and test solutions to those issues, as well as the mathematical and statistical prowess to be able to analyze and interpret the outcome of those experiments. All graduates will also be able to design components, processes, procedures and systems to satisfy any specific needs that may arise in technological problems and applications, not only in the scientific and technical side of things, but also in regards to any social, economic, ethical and safety issues that might arise. Graduates will be capable to work successfully within multidisciplinary groups of any size, to communicate effectively within them and to establish good and beneficial interpersonal work relationships with other members of these teams. In summary, they will be able to carry out a successful professional career in any sector of the technological job market, including not only industrial and professional sectors but also academia, that demands an engineering profile with a strong R&D dimension.

### **LEARNING ACHIEVEMENTS of the PROGRAM (LA)**

**LA1** To have acquired sufficient knowledge and proved a sufficiently deep comprehension of the basic principles, both theoretical and practical, and methodology of the more important fields in science and technology as to be able to work successfully in them;

**LA2** To be able, using arguments, strategies and procedures developed by themselves, to apply their knowledge and abilities to the successful solution of complex technological problems that require creating and innovative thinking;

**LA3** To be able to search for, collect and interpret relevant information and data to back up their conclusions including, whenever needed, the consideration of any social, scientific and ethical aspects relevant in their field of study;

**LA4** To be able to successfully manage themselves in the complex situations that might arise in their academic or professional fields of study and that might require the development of novel approaches or solutions;

**LA5** To be able to communicate, in a precise and clear manner, knowledge, methodologies, ideas, problems and solutions in their field or specialty to any kind of audience (specialist or not);

**LA6** To be aware of their own shortcomings and formative needs in their field of specialty, and to be able to plan and organize their own training with a high degree of independence.

## **SPECIFIC LEARNING ACHIEVEMENTS**

- AREA 1 Transversal knowledge
  - To be able to defend arguments in oral and written form.
  - To be familiar with different techniques to use bibliographical information and to search and locate relevant documents in the Internet;
  - To be familiar with different aspects of a professional career such as conflict resolution, team work or negotiation practices;
  - To be proficient in the use of numerical worksheets to carry out mathematical and statistical data analysis as well as graphical representation.
  
- AREA 2 Basic knowledge
  - To be proficient in the use of mathematics and mathematical language;
  - To be familiar with the scientific method. To be able to formulate a hypothesis, to develop it and to test it;
  - To understand and use the basic ideas and techniques of mathematical calculus with functions of one or several variables as well as linear algebra.
  - To be able to implement successfully simple algorithms either using programming languages or specific applications;
  - To understand and be able to use basic statistical concepts regarding probability and error estimation;
  - To understand and be able to use basic concepts of Mechanics, Thermodynamics, Electromagnetism and Optics;
  - To understand and be able to use basic concepts of Chemistry;
  - To understand the relationship between the structure of materials and their properties;
  - To be able to apply the principles of chemical reactions to the calculation of reactants and products;
  - To understand the basic properties of the most important organic and inorganic compounds;

### AREA 3 Basic Science

- To be able to integrate fundamental ideas from the fields of Mathematics, Physics, Chemistry and Biology in order to apply them to the solution of engineering problems;
- To be able to apply numerical tools and codes to simulate, understand and solve problems in the fields of Science and Engineering;
- To be familiar with and able to use ordinary and partial differential equations; to be familiar with the fundamental properties of the most important equations in Physics and Engineering;
- To be able to understand and use mathematical transforms (Z, Fourier, Laplace) as well as to be familiar with their applications in the fields of Science and Engineering;

- To be able to use formalisms expressed in complex variables in the fields of Physics and Engineering;
  - To understand the fundamental concepts of Electricity, Magnetism and Electromagnetic waves both in vacuum and in the presence of material media;
  - To understand and be able to use the basic concepts of the Lagrangian and Hamiltonian formulation of Mechanics as well as their relationship with the Newtonian formulation;
  - To understand and be able to use the basic ideas of Quantum Physics; to be able to solve simple problems in this context, either exactly or in approximate form;
  - To be familiar with the statistical ensembles; to be familiar with and able to use the classical and quantum statistical distributions (Maxwell, Bose and Fermi) in problems of Physics and Engineering;
  - To be familiar with and able to use the basic concepts of the Physics and Chemistry of Solids, the origin of their properties and their technological applications;
  - To understand the physical principles of semiconductors as well as their technological applications;
  - To understand the importance and relationships between the basic physical and biochemical processes that take place in living systems at the tissular, cellular and molecular levels;
- AREA 4 Engineering Basics
    - To be able to analyze problems and to propose and implement applied solutions in the context of engineering;
    - To be familiar with and able to use the basic principles of electronic devices and their applications;
    - To be familiar with and able to use the basic fabrication processes of electronic devices and integrated circuits;
    - To be familiar with and able to use the fundamental techniques for the temporal and frequency analysis of circuits and signals;
    - To be familiar with the most important measuring instruments and experimental techniques that are used in the fields of Engineering, Physics, Chemistry and Biology;
    - To be proficient in the design of experiments in the fields of Science and Engineering;
    - To be familiar with and able to use standard techniques for the statistical analysis and interpretation of experimental data;
    - To understand the basic principles of the propagation and radiation of electromagnetic waves;
    - To understand the basic principles of the light-matter interactions as well as their main applications in Engineering;
    - To understand the basic concepts of Thermodynamics, heat transfer and thermal cycles, engines and machines;

- To understand the basic concepts of Fluid Mechanics, including their mathematical description and their application to engineering problems.
  - To be able to plan, manage and estimate the costs of an engineering project.
- AREA 5 Advanced Technologies
    - To be familiar with and able to use the basic principles of Quantum Computation and the Theory of quantum information;
    - To be familiar with and able to use the basic principles of Electronics and Photonics at the nanoscale;
    - To be familiar with and able to use the basic principles of Plasma Physics; To be aware of the main technological applications of Plasma Physics in the fields of Energy and Engineering;
    - To understand the fundamental principles behind biomaterials. To be familiar with the design and fabrication processes of biomaterials and biosensors;
    - To understand the basic fabrication processes of microdevices and nanodevices; to be familiar with their main applications to engineering problems;
    - To be familiar with and able to use the holistic approximations used to study the inherent complexity of biological systems in order to predict their behaviour, functionality and aging in normal and pathological contexts;
    - To be familiar with and able to use the basic principles behind the design and engineering of biological systems and living beings for scientific or industrial applications;
    - To be familiar with the basic principles and issues regarding the generation, storage, conversion and transport of energy;
- AREA 6 Optatives
    - To complement and extend the basic, transversal and mandatory contents of the standard curriculum according to the preferences of the student; this extension can be designed at will by the student along scientific, technological, societal, computational or entrepreneurial lines.
- AREA 7 TFG
    - To be able to design, develop and test a scientific or technological solution to a problem in science or engineering.
    - To be able to write technical documents to describe technological projects in the context of science and engineering.
    - To be able to discuss and present a technological project to a general audience.

### 2.3. Referentes internos y externos a la Universidad proponente que avalen la adecuación de la propuesta a criterios nacionales o internacionales para títulos de similares características académicas

Los grados en Ingeniería Física aparecieron por primera vez en los Estados Unidos en la década de los 50 y 60, como mencionamos anteriormente. La intención entonces fue formar profesionales a medio camino entre el ingeniero tradicional y el científico dedicado a la investigación, concepto que sigue siendo igual de válido en nuestros días. Es decir, formar ingenieros con un conocimiento más profundo de los principios de las ciencias más básicas, pero sin perder por ello su orientación tecnológica y aplicada y las metodologías propias de la ingeniería, de modo que pudieran contribuir a buscar con más garantías de éxito soluciones no tradicionales a problemas acuciantes para la sociedad. Los contenidos de los títulos en Ingeniería Física han variado notablemente con los años desde entonces. Inicialmente se incluían sobre todo materias relacionadas con la Física Moderna, Física Cuántica y Física del Estado Sólido, pero poco a poco se han ido ampliando estos contenidos hacia otras áreas, y muchos títulos engloban actualmente cursos básicos de áreas como la Química o la Biología. El nombre del título más común sigue siendo, sin embargo, *Engineering Physics*, aunque es posible encontrar también algunas otras denominaciones como, por ejemplo, *Engineering Science* o *Applied Science and Engineering*.

Los programas internacionales que hemos consultado para elaborar el programa del título aquí propuesto, todos ellos de reconocido prestigio, se han recogido en la Tabla I.

UNIVERSIDAD	PAIS	LINK	FOCUS
Caltech	California, USA	<a href="http://www.aph.caltech.edu/index.html">http://www.aph.caltech.edu/index.html</a>	Nanotecnología y Fotónica.
Stanford University	California, USA	<a href="https://engineering.stanford.edu/students-academics/academics/undergraduate-degree-programs/engineering-physics-major">https://engineering.stanford.edu/students-academics/academics/undergraduate-degree-programs/engineering-physics-major</a>	Nanotecnología, Energía, Biotecnología y Tec. Cuánticas
University of California at Berkeley	California, USA	<a href="http://engineering-science.berkeley.edu/engineering-physics/">http://engineering-science.berkeley.edu/engineering-physics/</a>	Nanotecnología
University of Wisconsin at Madison	Wisconsin, USA	<a href="https://www.engr.wisc.edu/departments/engineering-physics/">https://www.engr.wisc.edu/departments/engineering-physics/</a>	Nanotecnología y Energía
Cornell University	New York, USA	<a href="http://www.aep.cornell.edu/academics/bachelorofscience.cfm">http://www.aep.cornell.edu/academics/bachelorofscience.cfm</a>	Nanotecnología, Fotónica y Energía

Harvard University	Massachusetts , USA	<a href="https://gsas.harvard.edu/programs-of-study/divisions/school-engineering-and-applied-sciences">https://gsas.harvard.edu/programs-of-study/divisions/school-engineering-and-applied-sciences</a>	Bioingeniería y Medioambiente
Technical University of Munich	Alemania	<a href="https://www.tum.de/en/studies/degree-programs/detail/ingenieurwissenschaften-engineering-science-bachelor-of-science-bsc/">https://www.tum.de/en/studies/degree-programs/detail/ingenieurwissenschaften-engineering-science-bachelor-of-science-bsc/</a>	Nanotecnología , Biotecnología y Tecnologías Cuánticas.
Chalmers University	Suecia	<a href="https://www.chalmers.se/en/education/programmes/masters-info/Pages/Applied-Physics.aspx">https://www.chalmers.se/en/education/programmes/masters-info/Pages/Applied-Physics.aspx</a>	Nanotecnología , Biotecnología y Energía
Instituto Politecnico de Milano	Italia	<a href="http://www.polinternational.polimi.it/educational-offer/laurea-equivalent-to-bachelor-of-science-programmes/physics-engineering/">http://www.polinternational.polimi.it/educational-offer/laurea-equivalent-to-bachelor-of-science-programmes/physics-engineering/</a>	Nanotecnología y Fotónica
INSA Toulouse	Francia	<a href="http://www.insa-toulouse.fr/fr/formaton/ingenieur/offre-de-formation-ects/sciences-technologies-sante-STIS/formaton-d-ingenieur-FI/ingenieur-specialite-genie-physique-program-fruai0310152xpri5gp000.html">http://www.insa-toulouse.fr/fr/formaton/ingenieur/offre-de-formation-ects/sciences-technologies-sante-STIS/formaton-d-ingenieur-FI/ingenieur-specialite-genie-physique-program-fruai0310152xpri5gp000.html</a>	Nanotecnología , Biotecnología y Energía.
Polytechnique Montreal	Canada	<a href="http://www.polymtl.ca/phys/la-profession-d-ingenieur-physicien">http://www.polymtl.ca/phys/la-profession-d-ingenieur-physicien</a>	Nanotecnología , Fotónica, Biotecnología y Energía.
Universidad Politécnica de Cataluña	España	<a href="https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-fisica-barcelona-etsetb">https://www.upc.edu/es/grados/ingenieria-fisica-barcelona-etsetb</a>	Nanotecnología , Fotónica Biotecnología y Tec. Cuánticas

TABLA I. Estudios utilizados como referentes, tanto internacionales como nacionales.

En lo que se refiere a las ciencias básicas que se imparten en los primeros cursos de los títulos utilizados como referencia, cabe decir que la gran mayoría de estos programas incluyen abundantes créditos de Física (cursos en Mecánica, Electromagnetismo, Física Estadística, Física Cuántica y Física del Estado Sólido, sobre todo), Matemáticas (los ya consabidos cursos en Calculo y Algebra, Ecuaciones Diferencias, Transformadas, etc.) y en Química (tanto inorgánica como orgánica). Aquellos programas que se enfocan al campo de la biotecnología en los últimos cursos suelen incluir también algún curso en Bioquímica y Biología en la formación básica de los primeros cursos.

En lo que se refiere a la formación más tecnológica, los distintos programas estudiados se separan dependiendo de las preferencias de cada universidad, que suelen estar fuertemente

alineada con las actividades de investigación que se realizan en sus departamentos. Aun así, casi todos los programas examinados se enfocan a las aplicaciones de la nanotecnología. Casi la mitad de los mismos incluyen también algún contenido de las áreas de la biotecnología o la energía. Esto no es sino un reflejo de los problemas más acuciantes de la sociedad actual a cuyas soluciones se pretende que los futuros egresados contribuyan, pero al mismo tiempo es indicativo de cuáles son los campos de investigación en los que la universidad destaca (así, por ejemplo, la Universidad de Wisconsin en Madison tiene uno de los programas más fuertes de los Estados Unidos en el ámbito de la energía, por lo que da una fuerte importancia a este enfoque en su título). También es interesante el mencionar que algunos programas en Ingeniería Física comienzan ya a incluir tecnologías que no tendrán un impacto inmediato, sino más a medio plazo, como son las Tecnologías Cuánticas (es el caso, por ejemplo, de la Universidad de Stanford y de la Técnica de Múnich, y también del grado recientemente ofertado por la Universidad Politécnica de Cataluña). Como comentario final mencionaremos que la mayoría de estos programas suelen completar su oferta docente con un número variable de asignaturas optativas que se pueden elegir de entre las asignaturas de ingeniería que se imparten en otros programas de ingeniería ofrecidos por cada universidad.

El programa de Ingeniería Física propuesto para su implantación en la Universidad Carlos III de Madrid sigue la misma filosofía dominante en todos estos programas. En los dos primeros cursos se incluyen mayoritariamente cursos de ciencias básicas (Física, Matemáticas, Química y Biología). El tercer curso se compone, fundamentalmente, de materias específicas de la ingeniería más tradicional (Electrónica, Mecánica de Fluidos, Ingeniería Térmica, Campos y Ondas, fotónica,) aunque siempre relacionados con los cursos tecnológicos más avanzados que se impartirán durante el último curso, a los que sirven de introducción. Finalmente, en el cuarto curso, se incluyen un grupo de asignaturas que introducirán a los estudiantes a temas actuales en los campos de la nanotecnología, la nanoelectrónica, la biotecnología, las tecnologías cuánticas y las tecnologías energéticas. La fórmula elegida aquí es una combinación de asignaturas obligatorias, que conforman el *corpus* común de conocimiento que será compartido por todos los estudiantes del grado y que le dotan de una personalidad bien definida, y de una selección adecuada de asignaturas optativas que permitirán a los estudiantes ahondar en más profundidad en aquellos temas tecnológicos que sean más de su interés. Por todo ello, pensamos que el programa aquí propuesto se alinea bastante bien con muchos de estos referentes internacionales, identificándose adecuadamente con la denominación propuesta para el mismo.

## 2.4 Descripción de los procedimientos de consulta internos y externos utilizados para la elaboración del plan de estudios

El procedimiento de creación y elaboración del Grado en Ingeniería Física objeto de esta memoria ha seguido las directrices aprobadas en su sesión del 26 de junio de 2008 por el Consejo de Gobierno de la Universidad, resumidas en la Tabla II, y que aparecen completas en el Anexo I.

ACTIVIDAD	ORGANO COMPETENTE
1. Iniciativa de creación de un nuevo grado.	Propuesta del Cº Gobierno, Cº Departamento, Juntas de Facultad o Escuela y Consejos de Instituto.
2. Elaboración y aprobación de estudios y cumplimiento requisitos previstos en el art. 141, apartados a, b, d.	Consejo de Dirección con el asesoramiento externo que considere conveniente. Aprobación de informe ejecutivo por el Rector.
3. Propuesta del Rector al Consejo Social sobre la viabilidad de la nueva titulación. Si se considera viable debe acompañar propuesta de composición comisión para la elaboración del plan de estudios.	
4. Informe favorable o desfavorable a la creación de la nueva titulación y a la composición de la Comisión que habrá de elaborar el plan.	Consejo Social
5. Aprobación o denegación de la creación del nuevo grado.	Consejo de Gobierno
6. Elaboración del plan de estudios.	Comisión encargada de la elaboración del plan
7. Información pública por el plazo de un mes	Centro que resulte directamente afectado por la implantación de las enseñanzas
8. Elevación de la propuesta relativa al plan de estudios al Rector. Aprobación por el Consejo de Dirección y presentación al Consejo de Gobierno por el Rector para su aprobación.	Junta de Facultad o Escuela
9. Aprobación del plan de estudios.	Consejo de Gobierno
10. Informe favorable sobre el plan de estudios y acuerdo de implantación de los estudios.	Consejo Social
11. Proceso de verificación.	ANECA y Consejo de Universidades
12. Implantación de la nueva titulación.	Comunidad Autónoma

Tabla II. Relación de actividades del procedimiento de tramitación de nuevos grados



La iniciativa de creación del grado surgió por parte de los Departamentos de Tecnología Electrónica, Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química, Bioingeniería e Ingeniería Aeroespacial, Física y Matemáticas de la UC3M. Se elaboró por parte de varios profesores de estos departamentos una memoria o estudio de viabilidad inicial que fue avalado por los distintos Consejos de Departamentos antes mencionados, y que se hizo llegar al Vicerrectorado de Estudios.

Posteriormente, dicho estudio de viabilidad fue presentado y aprobado ante el Consejo de Gobierno de la Universidad de 14 de diciembre de 2017 y el Consejo Social del mismo día, con lo que se aprobó la puesta en marcha y la comisión que elaboraría dicho grado. La comisión estaba compuesta por siete personas, tres de ellas profesores permanentes de la UC3M y cuatro miembros externos elegidos por ser expertos reconocidos en las áreas tecnológicas de interés para el grado. Los miembros internos de la comisión fueron:

- Prof. **Pablo Acedo** (presidente de la comisión), profesor Titular del Dpto. de Tecnología Electrónica.
  - Breve CV: Pablo Acedo es Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid (1993) y Doctor Ingeniero por la Universidad Carlos III de Madrid (2000). Sus principales líneas de investigación incluyen el desarrollo de fuentes ópticas multimodos (*Optical Frequency combs*) y sus aplicaciones en diversos campos como aplicaciones militares, medioambientales, industriales y biomédicas (metabolómica, ingeniería tisular); y el desarrollo de sistemas de instrumentación científica. En los últimos años es de destacar su actividad pionera en el desarrollo de sistemas de espectroscopía basados en arquitecturas electroópticas multiheterodinas (*Electro-optic Dual-Optical Frequency Combs*) donde es referencia internacional. Sus trabajos han dado lugar a más de 140 contribuciones en revistas de alto impacto y conferencias internacionales, incluyendo ponencias y seminarios invitados. Ha sido Investigador Principal de nueve proyectos de investigación con financiación de la Comisión Europea, el Gobierno español y la Comunidad de Madrid. Sus actividades de transferencia tecnología incluyen la dirección de diversos contratos con INDRA Sistemas, AIRBUS D&S y varias Pymes, así como la creación de spin-offs (LuzWavelabs, Lphi Technologies). En la actualidad es el Director del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III de Madrid.
- Prof. **Anxo Sánchez**, Catedrático del Dpto. de Matemáticas.
  - Breve CV: Anxo Sánchez se doctoró en Física Teórica (con premio extraordinario) por la Universidad Complutense de Madrid, España, en 1991. Posteriormente realizó una estancia postdoctoral en el Laboratorio Nacional de Los Álamos, EE.UU., como becario Fulbright. Actualmente es Catedrático de Matemática Aplicada y Director del

Departamento de Matemáticas de la Universidad Carlos III de Madrid, donde fundó el Grupo Interdisciplinario de Sistemas Complejos (GISC) en 1996 y donde también dirige la Unidad Mixta Interdisciplinar de Comportamiento y Complejidad Social (UMICCS) con las Universidades de Valencia y de Zaragoza. También es investigador y miembro del Comité Científico del Instituto UC3M-BS para Grandes Datos Financieros, e investigador asociado del BIFI, instituto de investigación de la Universidad de Zaragoza. Es coautor de más de 170 artículos en prestigiosas revistas internacionales, recibiendo más de 4.300 citas ( $h=36$ , marzo de 2018), y ha sido ponente invitado en más de 50 congresos nacionales e internacionales. Su investigación se centra principalmente en las aplicaciones de la física y las matemáticas de sistemas complejos a las ciencias sociales y biológicas, y ha contribuido al avance de diferentes campos que van desde la economía a la física de la materia condensada y la microelectrónica, pasando por la ecología y la informática teórica. Es o ha sido IP de 19 proyectos, con financiación de la Comisión Europea, el Gobierno español, la Comunidad de Madrid, la OTAN, el FSE y las Fundaciones BBVA y COTEC, y también ha colaborado con la empresa petrolera Repsol y con la consultora Everis. Actualmente es el coordinador del Proyecto H2020 FET Open "IBSEN".

- **Prof. Raúl Sánchez**, Catedrático del Dpto. de Física.
  - Breve CV: Raúl Sánchez es licenciado (1992) y doctor (1997) en CC. Físicas por la Universidad Complutense de Madrid. Ha impartido clases de Mecánica, Termodinámica y Electromagnetismo en varios grados de Ingeniería de la UC3M desde el año 2000, así como un gran número de cursos de doctorado en Física de Plasmas y Fusión Nuclear. Sirvió como Vicerrector de Grado de la UC3M desde 2011 a 2015. Su investigación se enmarca en los campos de la Física de Plasmas, la Fusión Termonuclear por Confinamiento Magnético y la Física de Sistemas Complejos. Sus trabajos se han publicado en más de 120 artículos en revistas internacionales y ha impartido más de 30 charlas invitadas en conferencias internacionales. Entre otros reconocimientos, recibió en 2009 el Premio "*Miguel Catalán en Ciencias*" dado por la Comunidad de Madrid a investigadores menores de 40 años y fue nombrado *Fellow* de la *American Physical Society* (APS) en 2017. Además de su puesto en la UC3M, es profesor honorario de la Universidad de Alaska desde el año 2006 y *Fellow* de la *ITER Scientist Network* asociada al experimento internacional del tokamak ITER desde 2016.

Los miembros externos de la comisión fueron:

- **Dr. Francisco Guinea** del Instituto de Ciencias de Materiales del CSIC
  - Breve CV: Francisco Guinea obtuvo su licenciatura (1975) y su doctorado (1980) en CC. Físicas en la Universidad Autónoma de Madrid. Es investigador del CSIC desde 1987. Ha sido profesor visitante en

numerosas universidades norteamericanas (U. Michigan, U. California en San Diego o Boston Univ.) así como en reconocidos centros de investigación tanto públicos como privados. Ha publicado más de 400 artículos en revistas internacionales y es uno de los científicos españoles más reconocidos en el campo de Física de la Materia Condensada y Nanociencia. Entre sus muchos reconocimientos destacan el Premio Nacional en Ciencias y la Medalla de Oro de la Real Sociedad Española de Física.

- Dr. **Juan José García Ripoll** del Instituto de Física Fundamental del CSIC
  - Breve CV: J. José García Ripoll se licenció (1997) y doctoró (2001) en CC. Físicas en la Universidad Complutense de Madrid. En ambos casos, logró el premio extraordinario de su promoción. Es Científico Titular del CSIC desde 2008, tras haber disfrutado una beca Ramón y Cajal entre 2006 y 2008. Ha publicado alrededor de 150 artículos en revistas internacionales dentro del campo de las tecnologías cuánticas, en el que tiene un reconocido prestigio nacional e internacional.
- Prof. **Juan Lasheras** del Dpto. de Ing. Aeroespacial de la Universidad de California en San Diego (UCSD)
  - Breve CV: Juan Lasheras es en la actualidad el *Stanford and Beverly Penner Professor of Engineering and Applied Sciences* del Departamento de Ingeniería Aeroespacial, Mecánica y Bioingeniería de la UCSD. Es Ingeniero Superior Aeronáutico por la Universidad Politécnica de Madrid (1975) y Doctor (1981) por la universidad de Princeton (New Jersey, USA). Tiene una larga carrera investigadora y docente, así como también en gestión universitaria. Su campo de investigación es la modelización matemática de mecánica de fluidos y sólidos relevantes a un gran número de campos que van desde la combustión y la propulsión a problemas biológicos y biomédicos, en los que ha publicado más de un centenar de trabajos en revistas internacionales. Entre sus muchos reconocimientos destaca el Premio F.N. Frenkiel dado por la *American Physical Society*. Es miembro de la Real Academia de Ingeniería de España (1999), *Fellow* de la *American Physical Society* (2000) de la *National Academy of Engineering of the USA* (2012) y de la *National Academy of Inventors of the USA* (2014).
- **Antonio Tagle**, director de I+D de Iberdrola (retirado).
  - Breve CV: José Antonio Tagle es licenciado (1973) y doctor (1980) en CC. Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid. Ha sido muy activo en labores de investigación tanto en Física de Superficies, en el campo de la Fusión Termonuclear por Confinamiento Magnético, en aplicaciones industriales de plasmas y en otros campos del mundo de la energía como las celdas de hidrógeno. Desde 1993 ha estado unido a la empresa eléctrica Iberdrola, donde ha pasado por varios cargos hasta llegar a ser el director de su Departamento de Innovación Tecnológica en 2006 hasta retirarse en 2015. Es autor de más de 250 publicaciones de

carácter científico, y ha servido como profesor invitado en varias universidades nacionales e internacionales.

El método de trabajo que se ha seguido para la elaboración del programa propuesto para el título de Grado y de la memoria asociada ha consistido en dividir las tareas necesarias entre dos subcomisiones: una comisión interna formada por los tres profesores de la UC3M mencionada anteriormente y ampliada con un profesor del Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química (Prof. Alejandro Várez Álvarez), otro del Departamento de Bioingeniería e Ingeniería Aeroespacial (Prof. José Luis Jorcano Noval) y otro del Departamento de Tecnología Electrónica (Prof. José Manuel Sánchez Pena); y una comisión global que incluye a todos los miembros (externos e internos) de la comisión.

La comisión interna se ha encargado de la redacción de los documentos pertinentes para preparar esta memoria, la elaboración de las fichas de las asignaturas y las labores necesarias para asegurarse de que el plan elaborado está en consonancia con la legalidad vigente y con las reglas de funcionamiento interno de la UC3M. El papel de la comisión global fue, inicialmente, el de definir los principios de diseño general del Grado, la identificación de los contenidos relevantes y la determinación tanto del orden como de la intensidad con los que deberían de incluirse en el programa. Todas estas ideas e instrucciones fueron plasmadas en los documentos que conforman esta memoria por los miembros de la comisión interna. Una vez finalizado este proceso, la labor de la comisión global pasó a ser la de revisar estos documentos para identificar carencias y/o errores y asegurarse de que se preservasen en el programa final el equilibrio adecuado entre contenidos básicos, tecnológicos y avanzados.

En la práctica, la comisión global se ha reunido dos veces presencialmente. La primera al inicio de los trabajos (19 de febrero de 2018) y la segunda cerca del final de los mismos (abril 2018). Se han mantenido contactos telemáticos con aquellos miembros externos cuando no han podido asistir a alguna de estas reuniones por motivos profesionales o geográficos, pero también en otros momentos, según ha sido necesario. La comisión interna ampliada, por otro lado, se ha reunido semanalmente desde la puesta en marcha de este proceso tras su aprobación en Consejo de Gobierno (diciembre de 2017) hasta que se completó toda la documentación (abril de 2018). Todas estas actividades se recogen en la Tabla III.

Actividad	Objetivos	Fecha/Frecuencia
Distribución cuestionario primer	Se reparte un cuestionario a los miembros externos para que expresen su opinión sobre los principios de diseño del grado. Se utiliza para	31 de enero de 2018

	diseñar la primera reunión de la comisión global	
Reunión Comisión Global	Discutir los principios de diseño del título. Participan J. A. Tagle y J.J. García Ripoll. F. Guinea y J. Lasheras excusan asistencia. Se les contacta telemáticamente.	19 de febrero de 2018 (Campus Puerta de Toledo)
Reunión Comisión Interna ampliada	Discutir progreso en la elaboración de los documentos que conforman la memoria del título	Semanal. Comienzo: diciembre de 2017 Final: abril de 2018
Distribución segundo cuestionario	Se utiliza para recabar la opinión de los miembros externos sobre el programa y la memoria elaborada por la comisión externa.	29 de marzo de 2018
Reunión Comisión Global	Evaluar el programa y la memoria elaborada. Participan de forma remota todos los miembros de la comisión	Abril de 2018

Tabla III. Actividades de la comisión de creación del título

Con el fin de tener una valoración del progreso del grado por parte de los miembros externos de la comisión más precisa y que fuera de mayor utilidad a los miembros de la comisión interna, se han utilizado cuestionarios que se distribuían entre los miembros externos, junto a la versión actualizada de los documentos relevantes, para consultar su opinión sobre temas concreto como la adecuación de los programas de ciertas asignaturas, la consistencia mutua entre asignaturas básicas y avanzadas, etc. Gracias a las respuestas a estos cuestionarios, los miembros de la comisión interna han podido responder de una forma más precisa y efectiva a las sugerencias de los miembros externos de la comisión.

Finalmente, pensamos que es también importante resaltar que los miembros internos de la comisión han recabado, cuando ha sido necesario, la ayuda de otros profesores e investigadores, tanto de la UC3M como de fuera de esta, para recoger opiniones, sugerencias y ayuda a la hora de elaborar los programas de algunas de las asignaturas que forman el programa propuesto. En todos estos casos se ha recurrido a reconocidos expertos en los temas de interés, para poder así garantizar un programa para el grado más relevante, actual, coherente y de mayor calidad.

## **ANEXO I- NORMATIVA SOBRE EL PROCEDIMIENTO PARA LA TRAMITACIÓN DE NUEVOS GRADOS, APROBADO POR EL CONSEJO DE GOBIERNO EN SESIÓN DE 26 DE JUNIO DE 2008.**

1. La iniciativa de creación de una nueva titulación de grado, de conformidad con lo establecido en el artículo 141.3 de los Estatutos, corresponde al Consejo de Gobierno, Consejos de Departamento, Juntas de Facultad o Escuela y Consejos de Instituto. La propuesta deberá indicar la denominación del título al que conducen los estudios y la rama de conocimiento al que quedará adscrito y contendrá un estudio preliminar en el que se analizarán los aspectos que se indican en el apartado 2.

2. Con el fin de comprobar la adecuación de la propuesta a las líneas programáticas y estratégicas de la universidad, el Rector, asistido por el Consejo de Dirección y con el asesoramiento externo que considere pertinente, aprobará un informe ejecutivo preliminar en el que se valorarán los aspectos siguientes:

a. Existencia de una demanda potencial de estudiantes no cubierta adecuadamente por otras universidades de nuestro entorno educativo.

b. Capacidad de atracción de buenos estudiantes españoles e internacionales, y que en consecuencia, potencie la movilidad en el Espacio Europeo de Educación Superior. Las propuestas deberán especificar si los estudios van a impartirse en inglés.

c. Contribución a la mejora o el refuerzo de las capacidades investigadoras o artísticas de las áreas de la Universidad.

d. Los mecanismos establecidos para garantizar unas enseñanzas con un nivel de calidad homologable al de las mejores instituciones educativas europeas.

e. Adecuación de la denominación del título propuesta y de la rama de conocimiento al que se adscribe, evitando la redundancia con estudios ya existentes en la Universidad.

3. El Rector elevará al Consejo Social la propuesta inicial sobre la viabilidad de la implantación del nuevo título de grado acompañada del informe ejecutivo preliminar, del estudio económico financiero previsto en el artículo 141.4 b) de los Estatutos y de un informe que recoja los aspectos clave del Sistema de Garantía Interna de Calidad de la Universidad. En el supuesto de que la propuesta inicial del Rector fuera favorable a la implantación del nuevo título de grado, deberá incluir además la composición de la Comisión que habrá de confeccionar el plan de estudios y un calendario de trabajo para la elaboración del mismo. La Comisión estará integrada necesariamente por al menos un 50% de personas externas a la Universidad que serán designadas en función de sus méritos investigadores y/o por los representantes de los sectores económicos y sociales relacionados con los estudios que se proponen.

4. Las propuestas de creación de nuevos títulos informadas favorablemente por el Consejo Social serán elevadas por el Rector al Consejo de Gobierno para su aprobación, de acuerdo con lo establecido en el artículo 141.2 de los Estatutos. El Rector pondrá en conocimiento del Consejo de Gobierno aquellas propuestas de creación de nuevos títulos informadas desfavorablemente por el Consejo Social.

5. Una vez concluido el plan de estudios y la memoria de verificación del mismo por la comisión encargada de su elaboración, el Rector lo remitirá al centro al que se adscribirán las enseñanzas, que deberá someterlo a información pública por un plazo no inferior a un mes, de acuerdo con lo previsto en el art. 141.5 de los Estatutos.

6. Finalizado el periodo de información pública, el centro afectado, a través de sus órganos de gobierno, elevará la correspondiente propuesta al Rector para su aprobación por el Consejo de Dirección. El Rector propondrá al Consejo de Gobierno la aprobación del plan de estudios en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 71 de los Estatutos.

7. Los planes de estudio aprobados por el Consejo de Gobierno deberán informarse favorablemente por el Consejo Social, que deberá autorizar también su implantación, con anterioridad a la iniciación del proceso de verificación y acreditación previsto en el artículo 28 e) de la Ley 6/2001, de 21 de diciembre y en los artículos 24 y ss. del RD 1393/2007, de 29 de octubre.

8. La Universidad elevará la correspondiente propuesta a la Comunidad Autónoma, que deberá autorizar la implantación de las enseñanzas oficiales de conformidad con lo establecido en el artículo 8.2 de la Ley Orgánica de Universidades 6/2001, de 21 de diciembre.

#### RELACIÓN DE ACTIVIDADES DEL PROCEDIMIENTO DE TRAMITACIÓN DE NUEVOS GRADOS

ACTIVIDAD	ORGANO COMPETENTE
1. Iniciativa de creación de un nuevo grado.	Propuesta del Cº Gobierno, Cº Departamento, Juntas de Facultad o Escuela y Consejos de Instituto.
2. Elaboración y aprobación de estudios y cumplimiento requisitos previstos en el art. 141, apartados a, b, d.	Consejo de Dirección con el asesoramiento externo que considere conveniente. Aprobación de informe ejecutivo por el Rector.
3. Propuesta del Rector al Consejo Social sobre la viabilidad de la nueva titulación. Si se considera viable debe acompañar propuesta de composición comisión para la elaboración del plan de estudios.	



4. Informe favorable o desfavorable a la creación de la nueva titulación y a la composición de la Comisión que habrá de elaborar el plan.	Consejo Social
5. Aprobación o denegación de la creación del nuevo grado.	Consejo de Gobierno
6. Elaboración del plan de estudios.	Comisión encargada de la elaboración del plan
7. Información pública por el plazo de un mes	Centro que resulte directamente afectado por la implantación de las enseñanzas
8. Elevación de la propuesta relativa al plan de estudios al Rector. Aprobación por el Consejo de Dirección y presentación al Consejo de Gobierno por el Rector para su aprobación.	Junta de Facultad o Escuela
9. Aprobación del plan de estudios.	Consejo de Gobierno
10. Informe favorable sobre el plan de estudios y acuerdo de implantación de los estudios.	Consejo Social
11. Proceso de verificación.	ANECA y Consejo de Universidades
12. Implantación de la nueva titulación.	Comunidad Autónoma