

# MEMORIA PARA LA SOLICITUD DE VERIFICACIÓN

## TÍTULO DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN CUÁNTICA

### Responsable del título:

<b>1º Apellido</b>	López
<b>2º Apellido</b>	Lago
<b>Nombre</b>	Elena
<b>Cargo académico (decano/a, ...)</b>	Decana
<b>NIF</b>	33286928V

<b>Nombre de la Universidad</b>	Universidad de Santiago de Compostela
<b>CIF</b>	Q1518001A
<b>Centro responsable del título</b>	Facultad de Física
<b>Representante legal</b>	Antonio López Díaz (NIF 76565571C)

<b>Fecha de aprobación Junta de Centro:</b>	
<b>Fecha informe Comisión de Calidade do Centro:</b>	
<b>Compromisos de departamentos implicados en la docencia:</b>	

## Índice:

1_ DESCRIPCIÓN, OBJETIVOS FORMATIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL TÍTULO .....	2
1.10 Justificación del título .....	4
1.11 Principales objetivos formativos del título .....	6
1.14.a) Perfiles fundamentales de egreso a los que se orientan las enseñanzas .....	7
2_ RESULTADOS DEL PROCESO DE FORMACIÓN Y DE APRENDIZAJE .....	7
2.1. Conocimientos .....	9
2.2. Habilidades o destrezas .....	9
2.3. Competencias .....	10
2.4 Salidas Profesionales .....	14
3_ ADMISIÓN, RECONOCIMIENTO Y MOVILIDAD .....	16
3.1. Requisitos de acceso y procedimientos de admisión de estudiantes .....	17
3.2. Criterios para el reconocimiento y transferencia de créditos (artículo 10 RD 822/2021) .....	18
3.3. Procedimientos para la organización de la movilidad de los estudiantes propios y de acogida .....	20
4_ PLANIFICACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS .....	23
4.1. Estructura básica de las enseñanzas .....	23
4.2. Descripción básica de las actividades y metodologías docentes. ....	52
4.3. Descripción básica de los sistemas de evaluación .....	54
4.4. Descripción básica de las estructuras curriculares específicas y de innovación docente .....	54
5_ PERSONAL ACADÉMICO Y DE APOYO A LA DOCENCIA .....	56
5.1 Descripción de los perfiles básicos del profesorado y de otros recursos humanos necesarios y disponibles para desarrollar adecuadamente el plan de estudios propuesto. ....	56
6_ RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE: MATERIALES E INFRAESTRUCTURALES, PRÁCTICAS Y SERVICIOS .....	59
6.1 Recursos materiales y servicios .....	59
6.2 Procedimiento para la gestión de las prácticas .....	67
6.3 Previsión de dotación de recursos materiales y servicios .....	69
7_ CALENDARIO DE IMPLANTACIÓN .....	71
7.1 Cronograma de implantación del título .....	71
7.2 Procedimiento de adaptación, en su caso, al nuevo plan de estudios por parte del estudiantado procedente de la anterior ordenación universitaria. ....	71
7.3 Enseñanzas que se extinguen por la implantación del correspondiente título propuesto. ....	71
8_ SISTEMA INTERNO DE GARANTÍA DE LA CALIDAD .....	72
8.1 Sistema Interno de Garantía de Calidad .....	72
8.2 Medios de información pública .....	72
Anexos .....	72

**1 DESCRIPCIÓN, OBJETIVOS FORMATIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL TÍTULO**

<p>1.1 <b>Denominación del título</b> (en castellano, pudiendo ser en inglés u otro idioma en caso de que el título se imparta en este idioma. También podrá tener denominación bilingüe)</p> <p><i>Se considera bilingüe la titulación que imparte, al menos, la mitad de los ECTS del plan de estudios en un idioma no oficial en Galicia, excluyendo el TFG, el TFM y las prácticas externas. En este caso, la denominación de la titulación podrá ser bilingüe.</i></p>	<p>Máster Universitario en Ciencia y Tecnologías de Información Cuántica</p>			
<p>1.2 <b>Ámbito de conocimiento</b> al que se adscribe el título, que debe atender a la coherencia académica con los ámbitos de conocimiento de los módulos, materias o asignaturas que conforman sustancialmente la formación básica que se desarrolla en el plan de estudios (<a href="#">Anexo I RD 822/2021</a>)</p>	<p>Interdisciplinar</p> <p>Ámbito de conocimiento: Física y Astronomía</p>			
<p>1.3 <b>Especialidad/es</b></p>				
<p>1.3.1 ¿En su caso, es obligatorio cursar una especialidad?</p>	SI		No	
<p>1.4 Universidad/es participante/s</p>	<p>Universidad de Santiago de Compostela, Universidad de A Coruña, Universidad de Vigo</p>			
<p>1.4.bis) <b>Universidad responsable</b> de los procedimientos VSMA (verificación, seguimiento, modificación y acreditación)</p>	<p>Universidad de Santiago de Compostela</p>			
<p>1.5 Centro/s en los que se imparte</p>	<p>Facultad de Física de la Universidad de Santiago de Compostela</p> <p>Facultad de Informática de la Universidad de A Coruña</p> <p>Escuela de Enxeñaría de Telecomunicación de la Universidad de Vigo</p>			
<p>1.5.bis) En caso de impartirse en más de un centro, indiquen cual es el responsable de la coordinación de las enseñanzas. <i>Deberá ser obligatoriamente un centro de la universidad coordinadora</i></p>	<p>Facultad de Física de la Universidad de Santiago de Compostela</p>			
<p>1.6 <b>Modalidad de enseñanza</b> (<a href="#">ver artículo 14.7 del RD 822/2021</a>)</p>	Presencial	X		
	Híbrida			

	Virtual	
1.7 Número total de créditos ( <a href="#">ver Capítulo IV del RD 822/2021</a> )	60	X
	90	
	120	
1.8 Idioma o idiomas de impartición (en el caso de considerar lenguas no oficiales en la impartición debe incluirse en el apartado de <i>requisitos y criterios de admisión</i> información relativa al nivel necesario requerido para poder cursar el título al estudiantado cuya lengua materna no sea la de impartición en los términos establecidos en el MCERL)	Español, Gallego, Inglés	
1.9 Número de prazas ofertadas		
Número máximo de plazas de nuevo ingreso ofertadas en el <b>primer curso</b> de implantación <u>por modalidad de enseñanza</u>	Modalidad presencial: 24 Modalidad híbrida: Modalidad virtual:	
Número máximo de plazas de nuevo ingreso ofertadas en el <b>segundo curso</b> de implantación <u>por modalidad de enseñanza</u>	Modalidad presencial: 24 Modalidad híbrida: Modalidad virtual:	

Centro:	Facultad de Física	Código RUCT	15022899
Universidad:	Universidad de Santiago de Compostela	Código RUCT	007
Oferta de plazas del Centro:	Presencial: 8 Híbrida: Virtual:		
Especialidad/es	-		
Idiomas de impartición	Español, Gallego, Inglés		

En el caso de existir más de un centro de impartición (debe cubrirse un cuadro por cada centro):

Centro:	Facultad de Informática	Código RUCT	15025451
Universidad:	Universidad de A Coruña	Código RUCT	037
Oferta de plazas del Centro:	Presencial: 8 Híbrida: Virtual:		
Especialidad/es	-		
Idiomas de impartición	Español, Gallego, Inglés		

En el caso de existir más de un centro de impartición (debe cubrirse un cuadro por cada centro):

Centro:	Escuela de Ingeniería de Telecomunicación	Código RUCT	3601698
Universidad:	Universidad de Vigo	Código RUCT	038
Oferta de plazas del Centro:	Presencial: 8 Híbrida: Virtual:		
Especialidad/es	-		
Idiomas de impartición	Español, Gallego, Inglés		

### 1.10 Justificación del título

#### a) Interés académico, científico, profesional y social del título

La ciencia se encuentra inmersa en una “segunda revolución cuántica” que busca aprovechar el control sobre los fenómenos cuánticos logrado en las últimas décadas para crear tecnologías efectivas en diferentes campos, particularmente en la gestión de la información. Esta nueva revolución generará importantes oportunidades en los próximos años, asociadas a las tecnologías de simulación, sensores, computación, comunicaciones y criptografía. Las aplicaciones esperadas incluyen el manejo eficiente de conjuntos de datos muy grandes, la solución de problemas combinatorios exponenciales (con aplicaciones a la logística), el diseño por ordenador de moléculas y fármacos, la implementación de comunicaciones secretas y generación de claves seguras, o la capacidad de medir cantidades físicas con mucha mayor precisión (metrología cuántica). La Unión Europea ha declarado la Tecnología Cuántica como prioridad científica y tecnológica creando el programa [Quantum Flagship](#), dotado con mil millones de euros para desarrollar la iniciativa cuántica europea. Empresas y corporaciones (Google, Amazon, Microsoft,...) también invierten mucho en laboratorios para el desarrollo de tecnologías cuánticas, y cada semana se crean nuevas pequeñas empresas. De hecho, la oferta de graduados calificados ahora es insuficiente para satisfacer la demanda. En clave regional, la Xunta de Galicia también es sensible a esta oportunidad y por ello está destinando importantes recursos a la creación de un Polo Cuántico, inicialmente centrado en las tecnologías informáticas y de comunicaciones.

Todos estos desarrollos no se pueden hacer sin cuidar el factor de capital humano. Una acción educativa eficaz y resolutive es fundamental para posibilitar una generación de jóvenes que puedan aprovechar esta oportunidad sin tener que ir a buscarlas lejos.

Esta iniciativa pretende contribuir a este trabajo con una propuesta de *máster* diseñado para formar a los estudiantes de carreras técnicas en aspectos del paradigma cuántico, tanto teórico como experimental y tecnológico.

#### b) Procedimientos de consulta internos y externos utilizados para la elaboración del plan de estudios

El procedimiento seguido para la elaboración de este título de máster se ajusta a las normas y recomendaciones establecidas por las Universidades de A Coruña, Santiago de Compostela y Vigo. Concretamente, se están siguiendo los plazos y procedimientos descritos en el documento [“Calendario para presentación de novas propostas de titulacións de máster para a súa implantación no curso 2023/2024”](#).

En particular se ha constituido una Comisión Interuniversitaria Redactora del Plan de Estudios, formada por miembros de las tres universidades, un representante del PDI de la universidad coordinadora y un representante del estudiantado.

La realización del Plan de Estudios ha estado precedida de consultas a los miembros de dicha comisión, así como a los integrantes de las direcciones de centros en los que se impartirá el máster. Así mismo, los órganos competentes, Departamentos y Juntas de Centro, de aquellos en los que se imparta docencia han sido consultados y su apoyo expreso figura en la documentación aportada en la expresión de interés con la que ha dado inicio todo el proceso.

La Comisión Redactora mantiene reuniones periódicas de coordinación internas así como con el Vicerrectorado de Titulaciones e Internacionalización de la USC con quien se ha establecido un canal fluido de comunicación.

A la hora de valorar la demanda se ha tenido en cuenta la evolución de la matrícula en el Máster de Física de la USC, de estudiantes en las asignaturas de Fundamentos de Teoría de la Información y Sistemas Físicos para la Información Cuántica. Ambas asignaturas han experimentado un crecimiento constante de la demanda en los últimos años pasando a ser solicitadas por más del 70% de estudiantes del máster. En enero de 2022 se planteó un taller de Computación Cuántica en la Facultad de Física de la USC que tuvo una respuesta que alcanzó los 70 participantes.

En cuanto a los procedimientos de consulta externos, se han tenido en cuenta los planes de estudios de otros programas de máster afines. Este análisis ha servido tanto para inspirar la creación del programa como para potenciar la adecuación y singularidad de la propuesta que se hace de aquí. Concretamente, en el panorama nacional encontramos el [Máster en Ciencia y Tecnologías Cuánticas](#) en el área de Barcelona. A todos los niveles, es un referente de muy alto nivel. En comparación con él, el nuestro tiene una mayor diversidad de itinerarios.

También hemos consultado ofertas como la del máster en Ciencia y Tecnología Cuántica de la [UPV/EHU](#) con un perfil más académico y orientado a la investigación.

Son muy esclarecedoras las cifras de evolución de la demanda que nos han comunicado desde la organización de estos másters:

	2020/2021		2021/2022		2022/2023	
	Oferta	Demanda	Oferta	Demanda	Oferta	Demanda
Máster Barcelona			30	123	35	165
Máster UPV/EHU	20	65	20	75	20	65

Hay másteres que se solapan parcialmente con el que proponemos, por tener una vocación más especializada. Es el caso de los que solo pretenden centrarse en la computación cuántica como el que se plantea desde la [UPM](#) o el de la Universidad Privada [Nebrija](#). Además de existe una oferta formativa de posgrado, por ejemplo en la [Universidad Politécnica de Cataluña](#), dedicado al ámbito profesional.

Fuera del territorio nacional las ofertas proliferan. Hemos tenido en cuenta los siguientes másteres: ETH Zurich <https://master-qe.ethz.ch> y Universidad Técnica de Munich <https://www.ph.tum.de/academics/msc/qst/>

Así mismo hemos tenido muy en cuenta las recomendaciones del programa QTedu asociado a la Quantum Flagship de la Unión Europea <https://qtedu.eu/>

**c) Incardinación en el contexto de la planificación estratégica de la universidad o del sistema universitario de la Comunidad Autónoma, la oferta global de títulos y potencialidad de la/s universidad/es que lo imparten para alcanzar los resultados de aprendizaje planificados**

La implantación en el sistema universitario gallego de estudios de máster con perfil en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) ha experimentado un auge recientemente. Así por ejemplo, el Máster en Computación de Altas Prestaciones, el Máster en Matemática Industrial, o el Máster en Inteligencia Artificial. Un Máster en Ciencia y Tecnologías de Información Cuántica encaja y complementa esta oferta de forma natural y la equipara a la de otras comunidades como Cataluña, Euskadi o Madrid. Por ello, tiene un carácter esencial y estratégico.

Por otra parte, la comunidad Gallega está apostando firmemente por las tecnologías cuánticas con la puesta en marcha en 2021 del “Polo Cuántico Gallego”. La inversión sostenida en esta línea aconseja apostar firmemente por la formación de personal cualificado que permita maximizar el valor añadido de la actividad generada en Galicia. En este sentido, se aspira a plantear una oferta de interés para estudiantes de diferentes grados.

Las universidades que lo imparten cuentan con conocimientos y medios para poner en pie este máster. En particular, en las tres universidades existen grupos de investigación dinámicos en temas del máster. Eso es muy importante a la hora de plantear TFM's en cantidad y calidad suficiente. Se deduce por tanto que es viable económicamente, tanto en medios humanos como materiales, si bien será necesario complementar algunas necesidades puntuales.

**1.11 Principales objetivos formativos del título**

**1.11.a) Principales objetivos formativos del título**

- Proporcionar una formación especializada y avanzada en Ciencia y Tecnologías de Información cuántica que capacite al alumno para su incorporación a empresas tecnológicas o a grupos de investigación competitivos.
- Proporcionar un conocimiento actualizado del estado de desarrollo de un campo que evoluciona cada día, así como de sus actores principales.
- Adquirir destrezas y habilidades en una o varias vertientes concretas de las tecnologías cuánticas: computación, comunicaciones, metrología, etc.
- Introducir a los estudiantes en temas de investigación que les permita contemplar la opción de realizar una tesis doctoral.

**1.11.b). Objetivos formativos de las menciones o especialidades**

No procede al no haber especialidades

**1.12. Estructuras curriculares específicas y justificación de sus objetivos**

No hay

**1.13. Estrategias metodológicas de innovación docente específicas y justificación de sus objetivos**

No aplica

### **1.14.a) Perfiles fundamentales de egreso a los que se orientan las enseñanzas**

Los perfiles de egreso en el ámbito profesional abarcan la capacitación en los ámbitos de la computación cuántica, las comunicaciones cuánticas y la metrología y tecnología de sensores cuánticos.

Así mismo será muy relevante la oferta académica relacionada con un perfil de egreso académico, cuyo objetivo sea la realización de tesis doctorales en el campo de las tecnologías cuánticas.

### **1.14.b) En su caso, actividad profesional regulada habilitada por el título**

No aplica

### **1.15. Ámbito de conocimiento**

El ámbito de conocimiento al que se adscribe este Máster es el de Física y Astronomía.

## **2\_ RESULTADOS DEL PROCESO DE FORMACIÓN Y DE APRENDIZAJE**

### **2.1. Introducción y contexto**

El enfoque, la orientación, que se desprende de los documentos del Espacio Europeo de Educación Superior, así como las aportaciones de numerosos autores, ponen de relieve la necesidad de que la formación universitaria revise sus pilares constitutivos y centre su labor docente en la profundización de los aprendizajes de los universitarios, así como en mejorar la experiencia universitaria de los estudiantes. En el ámbito nacional, desde el punto de vista del Marco Español de Cualificaciones en la Educación Superior, la utilización de los resultados del aprendizaje permite el alineamiento de las cualificaciones con las exigencias de una buena formación universitaria. En cuanto a la orientación al mercado de trabajo, ofrece a los empleadores información sobre lo que los titulados saben y son capaces de hacer. Por otro lado, el uso de los resultados del aprendizaje es una buena referencia de la calidad de las enseñanzas, puesto que su definición obliga a los responsables académicos a reflexionar sobre los resultados deseados del título que ofrecen, y, por tanto, orienta los sistemas internos de garantía de calidad de las enseñanzas para lograrlos. Por su parte, para las agencias de garantía de calidad y acreditación, los resultados del aprendizaje son un criterio esencial de sus sistemas externos de garantía de calidad.

La utilización de los resultados del aprendizaje viene apoyada tanto por las políticas educativas como por la práctica cotidiana de algunas universidades europeas. Probablemente el concepto de los resultados del aprendizaje y sus implicaciones puede ser considerado como uno de los temas más candentes de los últimos años en el ámbito de la educación superior europea. Existe una diferencia clara entre los resultados del aprendizaje a nivel global de la enseñanza y los resultados del aprendizaje de los módulos, materias, o de las asignaturas. Los primeros se refieren a lo que el estudiante sabrá, comprenderá y será capaz de hacer como resultado integral de la enseñanza. Es decir, son aquellos resultados del aprendizaje que se espera que un estudiante logre al término del proceso de formación para la obtención de una cualificación o de un título concreto. Por su parte, los resultados del aprendizaje de asignatura, materia, o módulo



identifican lo que se espera que el estudiante sepa, comprenda y sea capaz de hacer al término de la correspondiente unidad académica. En este caso, los resultados del aprendizaje están directamente vinculados con una estrategia concreta de enseñanza y con unos métodos específicos de evaluación. Este alineamiento entre resultados, actividades de enseñanza y estrategias de evaluación dota de transparencia el proceso global de enseñanza-aprendizaje y permite garantizar la coherencia interna de los módulos y las asignaturas.

## 2.2. Conocimientos

UNIDADES DE CONOCIMIENTO	
CON_01	Conocer los fundamentos teóricos de mecánica cuántica, el formalismo matemático, los axiomas y sistemas más sencillos.
CON_02	Adquirir conocimientos sobre sistemas cuánticos de muchos grados de libertad como medio para almacenar y procesar información.
CON_03	Conocer las bases físicas que permiten codificar y procesar información. Comprensión de las nuevas reglas que impone la Mecánica Cuántica para su procesado.
CON_04	Tener conocimientos de computación cuántica, algoritmia, circuitos, su programación en diferentes lenguajes y plataformas accesibles.
CON_05	Tener conocimientos sobre teoría cuántica de la información, las limitaciones universales, y sus implicaciones para la computación, las comunicaciones y la metrología.
CON_06	Adquirir conocimientos sobre sistemas físicos susceptibles de implementar el tratamiento de la información en grados de libertad cuánticos.
CON_07	Tener conocimientos sobre óptica cuántica y el papel y las propiedades de la luz y su manipulación en el procesamiento la información y las comunicaciones cuánticas.
CON_08	Tener conocimientos sobre complejidad computacional, las nuevas clases de complejidad y las oportunidades que ofrece la computación cuántica para abordar problemas de clase NP
CON_09	Tener conocimientos sobre metrología y sensado cuánticos: los principios teóricos y las implementaciones experimentales.
CON_10	Conocimientos sobre nuevos materiales cuánticos de estado sólido, sus propiedades física y topológicas.
CON_11	Conocimientos sobre comunicaciones cuánticas, los principios teóricos, y las implementaciones experimentales, tanto terrestres como aéreas y vía satélite.
CON_12	Tener conocimientos sobre criptografía cuántica, sus bases teóricas, las implementaciones existentes y los retos y desafíos que afrontan.
CON_13	Tener conocimientos sobre las limitaciones física y técnicas a las implementaciones de los sistemas de procesamiento de información cuántica: ruidos, decoherencia, etc., así como de las estrategias de mitigación o corrección que se proponen.
CON_14	Tener conocimientos de conjuntos de problemas en los que la computación cuántica en su estadio de desarrollo actual puede ofrecer una ventaja sobre la clásica: química, biología, optimización, logística, finanzas, etc.
CON_15	Tener conocimientos sobre aspectos de alto nivel en computación cuántica: aprendizaje máquina cuántica, simuladores cuánticos, arquitecturas, etc.
CON_16	Tener conocimiento de arquitecturas de ordenadores cuánticos, diferentes plataformas y "full stack".
CON_17	Tener conocimientos de técnicas experimentales para la información y la comunicación cuánticas. Dispositivos ópticos y de estado sólido.

## 2.3. Habilidades o destrezas

HABILIDADES O DESTREZAS		
HD0	Hábitos de pensamiento crítico	
	HD01	Analizar y descomponer un concepto complejo, examinar cada parte y observar cómo encajan entre sí
	HD02	Clasificar e identificar tipos o grupos, mostrando cómo cada categoría es distinta de las demás
	HD03	Comparar y contrastar y señalar las similitudes y diferencias entre dos o más temas o conceptos

	HD04	Evaluar y decidir sobre el valor de algo comparándolo con un estándar de valor aceptado
	HD05	Analizar las causas y los efectos de un problema y encontrar una manera de detener las causas o los efectos
HD1	Hábitos de pensamiento creativo	
	HD11	Elaborar de forma precisa las preguntas relevantes a un problema concreto.
	HD12	Encontrar la conjunción entre forma y función y dar forma a los materiales para un propósito específico
	HD13	Improvisar soluciones de una manera novedosa para resolver un problema.
	HD14	Innovar y crear algo que no ha existido antes, ya sea un objeto, un procedimiento o una idea
HD2	Destrezas de comunicación	
	HD21	Analizar la situación, pensar en el sujeto, el propósito, el remitente, el receptor, el medio y el contexto de un mensaje
	HD22	Evaluar los mensajes, decidir si son correctos, completos, fiables, fidedignos y actualizados
	HD23	Comunicarse utilizando las normas esperadas para el medio elegido.
	HD24	Participar activamente en la actividad presencial en el aula.
HD3	Habilidades de trabajo colaborativo	
	HD31	Asignar recursos y responsabilidades de forma que todos los miembros de un equipo puedan trabajar de manera óptima
	HD32	Tener una idea clara de lo que no está funcionando bien y de las mejoras que se podrían hacer.
	HD33	Establecer metas para que el grupo analice la situación, decida qué resultado se desea y establezca claramente un objetivo alcanzable
	HD34	Crear un ambiente en el que todos los miembros puedan contribuir de acuerdo a sus habilidades

## 2.4. Competencias

En el marco del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) la enseñanza se estructura en torno a la adquisición de competencias que se definen como “el conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes que se adquieren o desarrollan mediante experiencias formativas coordinadas, las cuales tienen el propósito de lograr conocimientos funcionales que den respuesta de modo eficiente a una tarea o problema de la vida cotidiana y profesional que requiera un proceso de enseñanza y aprendizaje” y que deben reflejarse en resultados del aprendizaje evaluables en el alumnado que cursa una determinada titulación. El conjunto de competencias consideradas en este nuevo título se estructura en competencias básicas, generales, transversales y específicas. El conjunto de materias y asignaturas del nuevo título garantizará que el estudiantado adquiera las competencias básicas de acuerdo con el Real Decreto 822/2021.

COMPETENCIAS BÁSICAS	
CB1	Adquisición de herramientas y conocimientos que permitan el desarrollo de ideas originales e innovadoras en un contexto empresarial o académico.
CB2	Capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio
CB3	Capacidad para integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad antes de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre responsabilidades sociales y éticas.
CB4	Saber comunicar sus conclusiones –y los conocimientos y razones últimas que las sustentan– a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades.

CB5	Adquirir habilidades de aprendizaje que les permitan continuar progresando de un modo autónomo.
-----	---

Una vez establecidas las competencias básicas, los estudiantes del presente máster deberían haber adquirido un conjunto de habilidades y destrezas, que englobamos bajo el epígrafe de competencias generales.

COMPETENCIAS GENERALES	
CG1	Mantener y extender planteamientos teóricos fundados para permitir la introducción y explotación de conceptos y desarrollos avanzados en los diversos ámbitos de las tecnologías cuánticas.
CG2	Manejar con soltura y rigor los fundamentos teóricos y las técnicas de los sistemas cuánticos: comunicación cuántica, información cuántica y computación cuántica
CG3	Buscar y seleccionar la información útil, necesaria para resolver problemas complejos del ámbito de las tecnologías cuánticas, manejando las fuentes bibliográficas del campo.
CG4	Elaborar adecuadamente y con originalidad composiciones escritas o argumentos motivados, redactar planes, proyectos de trabajo, artículos científicos y formular hipótesis razonables de trabajo.

Análogamente, deben definirse un conjunto de competencias transversales que pueden ser de tres tipos:

- Instrumentales; usadas para el aprendizaje y la formación. Algunas de ellas son: técnicas aprendizaje autónomo, análisis y síntesis, organización y planificación, resolución de problemas y toma de decisiones.
- Interpersonales; permiten mantener una buena relación social. Entre las cuales se encuentran: compromiso ético, negociación, reconocimiento de la diversidad y multiculturalidad y razonamiento crítico.
- Sistemáticas; relacionadas con la gestión de la totalidad de la actuación. Pueden ser: creatividad, liderazgo, adaptación a nuevas situaciones, gestión de proyectos por objetivos, iniciativa y espíritu emprendedor.

COMPETENCIAS TRANSVERSALES (CT)	
CT03	Utilizar las herramientas básicas de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) necesarias para el ejercicio de su profesión y para el aprendizaje a lo largo de su vida.
CT04	Desarrollarse para el ejercicio de una ciudadanía respetuosa con la cultura democrática, los derechos humanos y la perspectiva de género
CT05	Entender la importancia de la cultura emprendedora y conocer los medios al alcance de las personas emprendedoras.
CT07	Desarrollar la capacidad de trabajar en equipos interdisciplinarios o transdisciplinarios, para ofrecer propuestas que contribuyan a un desarrollo sostenible ambiental, económico, político y social.
CT08	Valorar la importancia que tiene la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico en el avance socioeconómico y cultural de la sociedad.
CT09	Tener la capacidad de gestionar tiempos y recursos: desarrollar planes, priorizar actividades, identificar las críticas, establecer plazos y cumplirlos
CT10	Ser capaz de aplicar los conocimientos, capacidades y actitudes a la realidad empresarial y profesional, planificando, gestionando y evaluando proyectos en el ámbito de las tecnologías cuánticas.
CT11	Ser capaz de plantear, modelar y resolver problemas que requieran la aplicación de métodos, técnicas y tecnologías de inteligencia artificial

COMPETENCIAS ESPECÍFICAS (CE)	
CE1	Comprender el dominio, los conceptos, los métodos y las técnicas básicas de la mecánica cuántica: formalismo matemático, postulados, operadores, matrices, esfera de Bloch, estados fotónicos.
CE2	Conocer y adquirir competencia en las técnicas experimentales para el procesado de la información cuántica: interacciones, medidas, oscilaciones, interferencias, sistemas de comunicaciones, ...
CE3	Comprensión y conocimiento de los fundamentos de la Teoría Cuántica de la Información, así como los aspectos básicos de los cuatro tipos de tecnologías cuánticas: computación, comunicaciones, metrología, simulación.
CE4	Conocer y saber aplicar las teorías físicas inherentes a la comprensión de los sistemas para el procesado de la información cuántica, incluyendo la termodinámica cuántica así como aspectos avanzados de magnetismo y mecánica cuántica.
CE5	Conocer y comprender la naturaleza de las plataformas físicas para el procesado de la información cuántica en sistemas de estado sólido: sistemas superconductores, criogenia y materiales cuánticos, incluyendo el estudio de estados topológicos.
CE6	Conocer y comprender la naturaleza de las plataformas físicas para el procesado de la información cuántica en sistemas fotónicos: óptica cuántica, sistemas ópticos integrados, sistemas opto-atómicos, sistemas de detección y medida, fotónica de semiconductores.
CE7	Adquirir y saber aplicar los principios básicos de la computación cuántica: analizar, comprender e implementar algoritmos cuánticos, dominando los lenguajes informáticos apropiados así como comprender el paradigma de circuito cuántico.
CE8	Conocer los algoritmos y estrategias de computación clásica inspirados en computación cuántica: redes tensoriales, estados producto de matrices, etc.
CE9	Conocer y saber aplicar aspectos avanzados de computación cuántica: aprendizaje cuántico, arquitectura cuántica eficiente, modo de operación de los aceleradores cuánticos, computación de altas prestaciones, sistemas cuánticos basados en reglas y aplicaciones a cálculo numérico.
CE10	Conocer escenarios de aplicación práctica de la computación cuántica en problemas de interés científico, tecnológico y financiero. Identificar de dominios que exhiban <i>ventaja cuántica</i> . Conocer las instituciones y empresas que son actores en la computación cuántica, adquiriendo una perspectiva de la agenda que es razonable esperar en los próximos años.
CE11	Adquirir una base sólida sobre la teoría cuántica de la información en su aplicación a las comunicaciones cuánticas, así como sobre la tecnología de dispositivos fotónicos empleados en comunicaciones cuánticas, tanto terrestres como aéreas y vía satélite.
CE12	Adquirir destrezas para el diseño y la estimación de recursos que permitan el desarrollo de canales y redes de comunicación cuánticas y de computación distribuida. Conocer el estado de desarrollo y de implementación actual de redes cuánticas, y los planes para su expansión.
CE13	Conocer las estrategias de criptografía cuántica y su viabilidad y solvencia en el contexto de la internet cuántica, quantum blockchain, y las comunicaciones secretas, adquiriendo una visión panorámica de los actores que serán esenciales en su despliegue.

Establecido el marco de trabajo, a continuación se describen la relación de las distintas asignaturas con las competencias específicas señaladas.

Materias	Conocimientos Habilidades Competencias Específicas
Mecánica Cuántica I	CON_01,CON_02 HD1,HD2,HD2,HD3 CE1

Mecánica Cuántica II	CON_10,CON_02 HD1,HD2,HD2,HD3 CE1,CE2,CE3
Fundamentos de Información Cuántica	CON_02,CON_03,CON_05 HD1,HD2,HD2,HD3 CE2,CE3,CE7
Introducción a la Computación Cuántica	CON_03,CON_04 HD1,HD2,HD2,HD3 CE7,CE8
Fundamentos de Comunicaciones Cuánticas	CON_11,CON_12 HD1,HD2,HD2,HD3 CE3,CE6,CE11,CE12
Prácticas Externas I	CON_14 HD1,HD2,HD2,HD3 CE10,C13
Herramientas de la Computación Cuántica	CON_04,CON_06 HD1,HD2,HD2,HD3 CE3,CE7,CE10
Programación e Implementación de Algoritmos Cuánticos	CON_03,CON-04 HD1,HD2,HD2,HD3 CE7
Sistemas Cuánticos Basados en Reglas	CON_03,CON_04 HD1,HD2,HD2,HD3 CE9
Teoría de la Información Cuántica Avanzada	CON_03,CON_13 HD1,HD2,HD2,HD3 CE3, CE11
Tecnologías Fotónicas para la Comunicación Cuántica	CON_07,CON_11,CON_13 HD1,HD2,HD2,HD3 CE6,CE11
Óptica Cuántica	CON_07 HD1,HD2,HD2,HD3 CE6
Sistemas Físicos para la Información Cuántica	CON_06,CON_07,CON_10 HD1,HD2,HD2,HD3 CE4,CE6
Laboratorio de Comunicaciones Cuánticas	CON_01,CON_02 HD1,HD2,HD2,HD3 CE2, CE6
Redes de Comunicaciones Cuánticas	CON_11,CON_12,CON_13 HD1,HD2,HD2,HD3 CE11,CE12
Mecánica Cuántica Avanzada	CON_01,CON_02 HD1,HD2,HD2,HD3 CE5, CE6
Computación Cuántica y Aprendizaje Máquina	CON_04,CON_15 HD1,HD2,HD2,HD3 CE9, CE10
Aplicaciones Prácticas de la Computación Cuántica	CON_14 HD1,HD2,HD2,HD3 CE8,CE10
Computación Cuántica y Computación de Altas Prestaciones	CON_15 HD1,HD2,HD2,HD3 CE8,CE9,CE10

Arquitecturas de la Computación Cuántica	CON_04,CON_16 HD1,HD2,HD2,HD3 CE9,CE10
Comunicaciones Cuánticas Vía Satélite	CON_11,CON_12 HD1,HD2,HD2,HD3 CE11,CE12,CE13
Comunicaciones Cuánticas Avanzadas	CON_11,CON_12 HD1,HD2,HD2,HD3 CE11,CE12
Códigos de Corrección de Errores	CON_13 HD1,HD2,HD2,HD3 CE13
Ciencia y Tecnología de la Superconductividad	CON_06,CON_10 HD1,HD2,HD2,HD3 CE4,CE5
Materiales Cuánticos	CON_06,CON_10 HD1,HD2,HD2,HD3 CE4,CE5
Fotónica de Semiconductores	CON_06,CON_07 HD1,HD2,HD2,HD3 CE6
Metrología Cuántica	CON_05,CON_07 HD1,HD2,HD2,HD3 CE3
Técnicas Experimentales para la Información Cuántica	CON_01,CON_17 HD1,HD2,HD2,HD3 CE2,CE4,CE5,CE11
Introducción a la Simulación Cuántica	CON_04,CON_14 HD1,HD2,HD2,HD3 CE3, CE8
Métodos Numéricos en Computación Cuántica	CON_04,CON_14 HD1,HD2,HD2,HD3 CE9, CE10
Sistemas Abiertos y Termodinámica Cuántica	CON_01,CON_02 HD1,HD2,HD2,HD3 CE4, CE6
Prácticas Externas II	CON_14 HD1,HD2,HD2,HD3 CE10,CE13
Trabajo de Fin de Máster	HD1,HD2,HD2,HD3

### 2.5 Salidas Profesionales

Los perfiles de egreso de este máster contemplan la posibilidad de encauzar la actividad posterior tanto en el ámbito empresarial como en el académico.

En cuanto al primero, en el sector de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) hay una demanda de personal cualificado en constante crecimiento. Dentro del mismo, muchas empresas están posicionándose de cara a la llegada de la revolución cuántica. Entre ellas destaca el sector financiero con una fuerte apuesta por la Computación Cuántica en el cálculo de riesgos. Les sigue la logística de grandes cadenas y, en ciernes, la industria farmacéutica y bioquímica. Progresivamente, las redes de comunicaciones cuánticas seguras se van implementando en

muchas ciudades del mundo y llegarán a ser una red parecida a internet. La metrología y el sensado cuánticos son estrategias que cada vez son más usadas por las empresas de tecnología punta.

En cuanto al segundo ámbito, el máster permite una continuidad académica en varios programas de doctorado a los que los propios departamentos que imparten la docencia están adscritos: Ciencia de Materiales, Física Nuclear y de Partículas, Láser Fotónica y Visión, Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, etc.



### 3\_ ADMISIÓN, RECONOCIMIENTO Y MOVILIDAD

*Descripción de los canales de difusión para informar a los potenciales alumnos.*

Se aprovecharán los procedimientos de información utilizados habitualmente por las Universidades de A Coruña, Santiago de Compostela y Vigo para todos sus estudios. Adicionalmente, se utilizará: información multimedia (web, portales, videos), información documental e impresa, así como jornadas de difusión e información personalizada.

Las tres universidades cuentan con los correspondientes vicerrectorados responsables de la oferta de titulaciones oficiales (grados, másteres y programas de doctorado) y que se encargan de la promoción y publicidad a nivel institucional, con la colaboración de otros vicerrectorados y servicios. De forma genérica las utilidades que existen para obtener información acerca de la oferta de másters en los tres campus universitarios se resume a continuación:

#### Universidad de A Coruña

El Servicio de Asesoramiento y Promoción del Estudiante (SAPE) y la Guía del Estudiantado, con los sitios web: <http://www.udc.es/sape> /y <http://www.udc.es/estudiantes> , difunden información acerca de la oferta de la universidad, el proceso de matrícula y, en general, orientan en cuanto les resulta de interés a los posibles alumnos. Los estudiantes pueden encontrar la información necesaria sobre los estudios de máster en el siguiente enlace de la UDC: <http://estudios.udc.es/es/degrees> La información actualizada relativa a la admisión y matrícula en los másteres se puede obtener a través de la página web de la UDC: <http://www.udc.es/matricula> .

#### Universidad de Santiago de Compostela

La USC cuenta con un programa específico de información y difusión de su oferta de estudios a través de de su página web: <http://www.usc.es/gl/perfis/futuros/index.html>

Además desarrolla, desde hace años, un programa de información y orientación en los Centros, de Enseñanza Media y otros, de Galicia, denominado “Programa A Ponte”. <http://www.usc.es/gl/perfis/futuros/aponte>, en cuyo marco el profesorado universitario imparte charlas informativas en estos centros, y se organizan “Jornadas de Puertas Abiertas” en las que futuros/as estudiantes visitan las Facultades, centros e instalaciones de la USC.

La información relativa al acceso a la Universidad y la matrícula se facilita a través de la página web de la USC, , que mantiene información constantemente actualizada sobre la normativa de acceso, matrícula, oferta de titulaciones, centros, servicios de apoyo al alumnado, etc. Además, la USC cuenta con una oficina física, la Oficina de Información Universitaria (OIU), con una unidad específica dirigida a la orientación preuniversitaria.

#### Universidad de Vigo

La información sobre la oferta de estudios de máster y el proceso de acceso y matrícula tiene en la UVigo un apartado específico en su página web (<https://www.uvigo.gal/es/ven-uvigo/estudiantado-posgrado>) disponible en gallego, español e inglés. La universidad organiza también unas jornadas de orientación sobre másteres, presencial y online, dirigidas a estudiantes de grado, en las que se informa de la oferta formativa y los requisitos de acceso. El Máster de Ciencia y Tecnologías de la Información Cuántica tiene además un espacio propio en la página web de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación (<https://teleco.uvigo.es/estudios/mestrados/mestrado/>) que recoge la información docente, el plan de estudios y la forma de contacto para futuros estudiantes, y que irá acumulando la

normativa específica de los estudios.

En el aspecto relativo a la difusión a nivel estatal e internacional, las tres universidades gallegas participan anualmente en ferias y exposiciones acerca de la oferta docente de Universidades y Centros de Enseñanza Superior, tanto a nivel local como nacional (Aula) e internacional (NAFSA, ACTFL en Estados Unidos, y especialmente Europosgrado en Latinoamérica), para promocionar su oferta de estudios.

Por otro lado, los estudiantes del último año de los grados reciben de sus universidades información sobre la oferta de títulos de máster durante el verano del año en que terminan esos estudios. Adicionalmente, los coordinadores en cada una de las universidades organizarán una sesión informativa en sus centros en el mes de mayo, destinada especialmente a los estudiantes de último curso de grado que puedan estar interesados en continuar sus estudios en este máster, abriendo la posibilidad de asistencia a otras personas potencialmente interesadas.

Finalmente, el máster contará con una página web propia que sirva tanto como canal de coordinación interna como de difusión de su oferta.

### **3.1. Requisitos de acceso y procedimientos de admisión de estudiantes**

#### **3.1.a) Perfil de ingreso recomendado**

El perfil de ingreso recomendado es el de titulados universitarios en el ámbito de las ciencias (principalmente Física pero también Química, Matemáticas, Nanociencia y Nanotecnología y otras titulaciones relacionadas) y de la ingeniería (principalmente Ingeniería Informática e Ingeniería de Telecomunicaciones, pero también Ingeniería Industrial, Ingeniería Aeroespacial, Ingeniería Física y otras titulaciones relacionadas).

En un sentido más concreto, son necesarios conocimientos en el ámbito de las Matemáticas (álgebra lineal, análisis, probabilidad) y recomendables en programación básica.

#### **3.1.b) Requisitos generales de acceso**

En el desarrollo de la presente propuesta se ha tenido en cuenta lo establecido por el RD 822/2021 de 29 de septiembre. El artículo 18 de dicho real decreto establece que para acceder a las enseñanzas oficiales de máster será necesario estar en posesión de un título universitario oficial de Graduada o Graduado español o equivalente es condición para acceder a un Máster Universitario, o en su caso disponer de otro título de Máster Universitario, o títulos del mismo nivel que el título español de Grado o Máster expedidos por universidades e instituciones de educación superior de un país del EEES que en dicho país permita el acceso a los estudios de Máster.

De igual modo, podrán acceder a un Máster Universitario del sistema universitario español personas en posesión de títulos procedentes de sistemas educativos que no formen parte del EEES, que equivalgan al título de Grado, sin necesidad de homologación del título, pero sí de comprobación por parte de la universidad del nivel de formación que implican, siempre y cuando en el país donde se haya expedido dicho título permita acceder a estudios de nivel de postgrado universitario. En ningún caso el acceso por esta vía implicará la homologación del título previo del que disponía la persona interesada ni su reconocimiento a otros efectos que el de realizar los estudios de Máster.

### 3.1.c) Requisitos específicos

Certificado B1 de inglés o equivalente según la normativa de cada universidad.

### 3.1.d) Procedimiento y criterios de admisión

El sistema de admisión del alumnado se realizará de acuerdo con los criterios y procedimientos establecidos en las tres universidades gallegas, siempre siguiendo los principios de objetividad, imparcialidad, mérito y capacidad.

Las competencias últimas en materia de admisión son responsabilidad de la Comisión Académica de Máster.

#### Información sobre el procedimiento de admisión:

<https://www.usc.gal/es/admision/master>

<https://www.uvigo.gal/es/estudiar/acceder/acceso-masteres>

<https://estudios.udc.es/gl/StudyAtUdc/master>

#### Criterios de admisión:

La Comisión Académica de Máster será la encargada de valorar los méritos previos, para garantizar que hayan conducido a la adquisición de los conocimientos necesarios para acometer este máster. Los conceptos que se evaluarán aportarán un máximo de puntos según la siguiente tabla.

Titulaciones de Grado cursadas:

- Grado en Física, Informática, Ingeniería Informática, Ingeniería de Telecomunicaciones o equivalentes (6 pts.)
- Grado en Matemáticas o Química (5 pts.)
- Otras Ingenierías, Ciencias, Tecnología, Nanotecnología o equivalentes (hasta 4 pts.)

Curriculum Vitae

- Expediente académico (hasta 2 pts.)
- Otros másters en temas relacionados con la mecánica cuántica y sus aplicaciones (hasta 1 pto.)
- Experiencia profesional o investigadora en el campo del máster (hasta 1 pto.)

El proceso de preinscripción, admisión y matrícula del alumnado extranjero se ajustará a las normativas correspondientes vigentes en cada universidad participante.

### **3.2. Criterios para el reconocimiento y transferencia de créditos (artículo 10 RD 822/2021)**

Las tres universidades, USC, UDC y UVigo, cuentan con una "Normativa de transferencia y reconocimiento de créditos para titulaciones adaptadas al Espacio Europeo de Educación

Superior”, de cuya aplicación son responsables los Vicerrectorados con competencias en oferta docente y la Secretaría General con los Servicios de ellos dependientes.

Estas normativas están accesible públicamente a través de la web de las distintas universidades, en los enlaces:

<https://www.usc.gal/es/normativa/Alumnado/index.html>

[https://www.udc.gal/export/sites/udc/normativa/\\_galeria\\_down/academica/Norm\\_tceees\\_adaptada\\_e.pdf](https://www.udc.gal/export/sites/udc/normativa/_galeria_down/academica/Norm_tceees_adaptada_e.pdf)

<https://secretaria.uvigo.gal/uv/web/normativa/public/show/255>

Con carácter general, el procedimiento para el reconocimiento de créditos se iniciará a petición de la o el interesado, quien presentará una solicitud en la secretaría de alumnado del centro de adscripción de la titulación, dirigida a la Comisión Académica del Master, dentro de los plazos previstos al efecto.

#### **Criterios de reconocimiento de créditos**

Los criterios generales de reconocimiento de créditos son aquellos que fije el Gobierno de cada universidad. Las universidades, mediante la Normativa de intercambios de aplicación y las resoluciones rectorales que la desarrollen, establecerán el sistema para el reconocimiento de estos créditos.

La Comisión Académica de la titulación establecerá las equivalencias entre estudios superados en otras universidades y los que puedan ser reconocidos en el plan de estudios. Así mismo, podrá establecer tablas de equivalencia especificando los créditos que se reconocen.

La experiencia laboral y profesional acreditada podrá ser también reconocida en forma de créditos de la asignatura Prácticas Externas I o Prácticas Externas II. Será preciso que confiera, al menos, el 75% de las competencias de las mencionadas. La Comisión Académica valorará y aprobará, si es el caso, las solicitudes de reconocimiento de créditos, previo informe del profesorado que imparte las materias y a la vista de la documentación que presenten los solicitantes que, como mínimo, ha de ser: copia de la vida laboral o contrato laboral y certificado de la empresa donde consten las funciones y tareas que realiza o ha realizado en el puesto de trabajo, así como el tiempo total de meses y horas trabajados. El número de créditos que pueden ser objeto de reconocimiento a partir de experiencia profesional o laboral no podrá ser inferior a 3 créditos a cambio de un mínimo de 6 meses de contrato y 900 horas de trabajo. Tampoco podrá ser superior al 15% de los créditos totales del título.

#### **Sistema y procedimiento para el reconocimiento y la transferencia de créditos**

La universidad dará validez, mediante el acto de reconocimiento, a que el estudiante tiene acreditadas competencias de la titulación y el cumplimiento de parte de los objetivos de la misma en los términos definidos en el EEES.

Para estos efectos los centros establecerán tablas de equivalencia entre estudios cursados en otras universidades y aquellos que le podrán ser reconocidos en el plan de estudios de la propia universidad. En esta tabla se especificarán los créditos que se reconocen y, de ser el caso, las

asignaturas, las materias o los módulos equivalentes. Igualmente se establecerán tablas de equivalencia entre titulaciones correspondientes a la ordenación de enseñanzas anteriores al R.D. 822/2021.

Las universidades podrán declarar equivalentes directamente o mediante convenios, titulaciones extranjeras que den acceso a titulaciones oficiales de cada universidad o establecer en esos convenios el reconocimiento en parte de estudios extranjeros. La universidad dará adecuada difusión a estos convenios.

Al estudiante se le comunicarán los créditos reconocidos y las materias o asignaturas a las que correspondan, en su caso, así como el número de créditos necesarios y las materias o asignaturas que le restan para la obtención del título.

El reconocimiento se iniciará por instancia de parte, salvo lo previsto en la normativa de aplicación, en el centro en el que el estudiante va a iniciar o continuar los estudios que pretende reconocer créditos, mediante presentación de una instancia dirigida al director del centro.

En cuanto a la transferencia de créditos, todos los créditos obtenidos en enseñanzas oficiales cursadas en alguna de las universidades participantes o en otra universidad del EEES serán objeto de incorporación al expediente del estudiante, tras la petición del mismo a la dirección del centro. La solicitud se resolverá de acuerdo con lo establecido en la normativa vigente de cada universidad.

**Reconocimiento de créditos cursados en Títulos Propios:**

1. Mínimo: 0
2. Máximo: 9

**Reconocimiento de créditos cursados por Acreditación Experiencia Laboral y Profesional**

3. Mínimo: 0
4. Máximo: 9

El conjunto de créditos reconocibles no podrá superar globalmente el 15% del total de créditos ofertados, es decir 9 ECTS.

***3.3. Procedimientos para la organización de la movilidad de los estudiantes propios y de acogida***

A continuación, se incluye la información sobre este apartado en las universidades involucradas en el título.

En la USC la movilidad de estudiantes está regulada a través del “*Reglamento de Intercambios Interuniversitarios*” aprobado por el Consejo de Gobierno el 26 de octubre de 2012 y publicado en el Diario Oficial de Galicia el 28 de noviembre (<http://hdl.handle.net/10347/12723>).

Su planificación y gestión se desarrolla a través de la Oficina de Movilidad <https://www.usc.gal/gl/servizos/unidades/oficina-mobilidade> . Ello se hará en coordinación con los centros universitarios a través de la “Unidad de apoyo a la gestión de centros y departamentos” (UAGCD) y del vicedecano/a responsable de programas de intercambio. Actualmente la Universidad de Santiago de Compostela colabora en los programas Sócrates-Erasmus +, Erasmus Mundus y Sicue, que complementa con varios programas que pretenden fomentar la movilidad de los miembros de la comunidad universitaria con Universidades de

América, Asia, Australia y Suiza. La normativa aplicar puede obtenerse en este enlace <https://www.usc.gal/gl/institucional/gobierno/area/normativa/alumnado> .

En cuanto a programas de ayudas a la movilidad propios de la Universidad de Santiago de Compostela, existen en la actualidad los siguientes:

Programa de becas de movilidad para Universidades de Estados Unidos y Puerto Rico integradas en la red ISEP.

1. Programa de becas de movilidad para Universidades de América, Asia y Australia con las que se tienen establecido convenio bilateral.
2. Programa de becas de movilidad Erasmus para Universidades de países europeos
3. Programa de becas de movilidad *Erasmus Mundus External Cooperation Window* (EMECW) para Universidades de Asia Central.

La USC, a través de la Oficina de Movilidad mantiene un sistema de información permanente a través de la web, que se complementa con campañas y acciones informativas específicas de promoción de las convocatorias. Además, cuenta con recursos de apoyo para el estudiantado de acogida, tales como la reserva de plazas en las Residencias Universitarias, o el Programa de Atención a Estudiantes Extracomunitarios (PATEX) del Vicerrectorado con competencias en movilidad, a través del cual voluntarios/as de la USC realizan tareas de acompañamiento dirigidas a la integración en la ciudad y en la Universidad del alumnado de acogida.

En cuanto a estudiantes de acogida, se organiza una sesión de recepción, al inicio de cada cuatrimestre, en la que se les informa y orienta sobre el centro y los estudios, al tiempo que se les pone en contacto con los coordinadores académicos, que actuarán como tutores, y el personal del Centro implicado en su atención.

La Facultad de Físicas de la USC, además de los responsables citados anteriormente, cuenta con la colaboración de varios docentes que actúan como coordinadores académicos, y cuya función es tutelar y asistir en sus decisiones académicas al alumnado propio y de acogida, así como firmar los acuerdos académicos de movilidad que aseguren que la acción se encuadre en los objetivos y competencias del título.

El centro, con el Responsable Académico de Movilidad y de la Comisión de Título, promueve la incorporación de nuevos acuerdos académicos basándose en recomendaciones del personal docente, y vela porque esas acciones sean un complemento a la formación del alumnado del Centro, evaluando anualmente la renovación de cada acuerdo.

La selección de candidatos se lleva a cabo, para cada convocatoria o programa, por una Comisión de Selección, compuesta por las coordinadoras Erasmus y Sicue-Séneca del Centro, la persona responsable de movilidad y la gestora, acorde con los criterios de baremación, previamente definidos.

En la UDC, al vicerrectorado competente en asuntos de Relaciones Internacionales, como un órgano competente para planificar, apoyar y desarrollar la política de internacionalización, le corresponde la dirección de la política de movilidad internacional de la Universidad, así como la supervisión y la coordinación de todas las demás instancias de la UDC involucradas en la gestión y la organización de los diferentes programas de movilidad.

La Oficina de Relaciones Internacionales (ORI) es la unidad técnica y administrativa responsable de la coordinación de la gestión de la movilidad del alumnado en el marco de los programas,

acuerdos y convenios suscritos por la UDC ([https://www.udc.es/export/sites/udc/ori/galeria\\_down/inf\\_estudiantes\\_UDC/regulamento\\_mobilidade\\_internacional\\_versixn\\_consolidada\\_fevereiro\\_2015-1.pdf](https://www.udc.es/export/sites/udc/ori/galeria_down/inf_estudiantes_UDC/regulamento_mobilidade_internacional_versixn_consolidada_fevereiro_2015-1.pdf)).

En la Facultad de Informática de la UDC hay una persona responsable de dirigir y administrar la política de internacionalización del centro. La FIC participa en programas de movilidad Erasmus+, Convenios bilaterales, SICUE y otros, para los que la Universidad de A Coruña proporciona financiación a través de su participación en los siguientes programas de ayudas tanto para estudiantes propios como de acogida:

1. Programa de movilidad Erasmus+ con países comunitarios.
2. Programa de movilidad Erasmus + KA107 (Países asociados).
3. Programa de movilidad internacional en el marco de convenios bilaterales o de doble titulación internacional con instituciones que, por ámbito geográfico o contenido, se encuentran fuera de la órbita de los programas anteriores.
4. Programa NILS de Ciencia y Sostenibilidad.
5. Becas Banco Santander.

Más información en la web <https://www.fic.udc.es/es/movilidad>.

En la UVigo, la Escola de Enxeñaría de Telecomunicación mantiene una larga tradición de intercambio de estudiantes apoyados en los programas Erasmus/ISEP/SICUE, que gestiona en colaboración con la Oficina de Relaciones Internacionales (ORI) de la Universidad ([http://www.uvigo.es/uvigo\\_es/administracion/ori/](http://www.uvigo.es/uvigo_es/administracion/ori/)). La gestión y supervisión de estudiantes y alumnas que se envían a otras universidades comienza por el proceso de selección de los candidatos, donde priman tanto su expediente académico como su dominio de la lengua remota si el país anfitrión no es de habla hispana. Seguidamente, y de forma individualizada, se analiza y diseña el contrato de estudios que cada estudiante realizará en la universidad destino, comprobando la idoneidad de las equivalencias entre materias (contenidos) y la cantidad y la distribución de la carga de trabajo según el número de meses de estancia. Finalmente, aunque no menos importante, la Escuela también vela y presta apoyo continuado a las alumnas una vez que se encuentran en su destino, tanto en los temas académicos (modificaciones de los contratos de estudio originales, etc.) como en los meramente administrativos, siendo muchas veces el medio de comunicación más rápido y sencillo para ellos con la propia ORI.

La ORI también presta apoyo tanto a estudiantes, como a docentes propios y extranjeros, antes de su llegada y durante la estancia. Con respecto al alumnado extranjero, gestiona la aceptación, remite las cartas de aceptación para que, si procede, pueda tramitar su visado, elabora anualmente una *Guía del estudiante extranjero* y envía a sus domicilios paquetes informativos sobre la Universidad de Vigo, con información sobre los diferentes campus y ciudades, recepción, visados, viaje, búsqueda de alojamiento, matrícula y posibilidades de estudios, etc. La ORI es el punto de referencia de llegada del alumnado extranjero de intercambio a la Universidad de Vigo. Este servicio se ocupa de asesorarlo y proporcionarle alojamiento y de organizar actividades y visitas culturales específicas. Cuenta además con un programa propio de voluntariado y acogida de estudiantes de intercambio coordinado por la ORI y formado por aquel estudiantado de la Universidad de Vigo que se ofrece como voluntario para ayudar al alumnado extranjero que llega por primera vez a la Universidad de Vigo. Para fomentar la integración del estudiante extranjero de intercambio y que pueda mejorar su conocimiento del idioma, la ORI ha puesto en marcha una acción denominada "tándem de conversa". Más información en [http://www.uvigo.es/uvigo\\_es/administracion/ori/estranxeiros/guia/index.html](http://www.uvigo.es/uvigo_es/administracion/ori/estranxeiros/guia/index.html)

La Universidad de Vigo participa en los siguientes programas de ayudas a la movilidad tanto para estudiantes propios como de acogida:

1. Programa SICUE.
2. Programa de becas del Banco de Santander.
3. Programa de movilidad con Universidades de Estados Unidos y Puerto Rico integradas en la red ISEP.
4. Programa movilidad Erasmus con Universidades de países europeos.
5. Programa de movilidad Erasmus+ con países extracomunitarios.
6. Programa de intercambio para ingenierías con universidades integradas en la red GE4 para destinos en Asia, Rusia y Australia.
7. Programa Vulcanus con Japón para prácticas industriales.
8. Programa IEMEE para el intercambio en el ámbito de la ingeniería industrial con universidades australianas.
9. Programa de ayudas propias a la movilidad para universidades con las que se tienen establecido convenio bilateral en países tales como: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Honduras, Ecuador, México, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay, Canadá, Estados Unidos, Federación Rusa, India, Jordania, Kazajstán, Corea del Sur, Taiwán o Vietnam.

La Comisión Académica del Máster será la encargada de definir la equivalencia entre las materias que el alumnado del Máster va a cursar en las universidad de destino en los programa movilidad.

### 4\_ PLANIFICACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS

#### 4.1. Estructura básica de las enseñanzas

Se propone un máster de 60 créditos ECTS.

En su configuración estándar, para superar el máster un estudiante deberá cursar

- 15 créditos ECTS del módulo troncal de materias obligatorias,
- 27 créditos ECTS de asignaturas optativas y
- 3 créditos ECTS de prácticas externas
- realizar un TFM de 15 créditos ECTS.

Las superación de todas estos requisitos dará derecho a la obtención del título de máster. De forma voluntaria, el alumno podrá acogerse a uno de los tres itinerarios específicos o intensificaciones curriculares: Computación Cuántica, Comunicaciones Cuánticas y Física de la Información Cuántica. La realización de un itinerario podrá ser reflejada como información complementaria en el suplemento europeo al título de máster (SET). Dicha realización requiere superar las asignaturas contenidas en el módulo correspondiente a dicho itinerario (15 créditos) y elegir el resto (12 créditos) entre todas las asignaturas optativas ofertadas (incluidas las de los otros módulos).

#### 4.1.a) Resumen del plan de estudios

##### Distribución de créditos

	Créditos a cursar	Créditos ofertados
--	-------------------	--------------------



Créditos obligatorios	15	15
Créditos optativos (incluidos los correspondientes a las prácticas optativas)	27	78
Prácticas externas (sólo si son obligatorias)	3	3
Créditos trabajo fin de máster	15	15
<b>Total créditos</b>	<b>60</b>	<b>111</b>

**Distribución temporal de las materias:**

En el siguiente cuadro se especifica la oferta global de asignaturas y su distribución temporal.

OB = obligatoria, OP = optativa

OFERTA DE CRÉDITOS					
1º CUATRIMESTRE	ECTS	Carácter	2º CUATRIMESTRE	ECTS	Carácter
Mecánica Cuántica I	3	OB	Aplicaciones Prácticas de la Computación Cuántica	3	OP
Mecánica Cuántica II	3	OB	Computación Cuántica y Computación de Altas Prestaciones	3	OP
Fundamentos de Información Cuántica	3	OB	Materiales Cuánticos	3	OP
Introducción a la Computación Cuántica	3	OB	Metrología y Sensores Cuánticos	3	OP
Fundamentos de Comunicaciones Cuánticas	3	OB	Sistemas Abiertos y Termodinámica Cuántica	3	OP
Herramientas de la Computación Cuántica	3	OP	Códigos de Corrección de Errores	3	OP
Programación e Implementación de Algoritmos Cuánticos	3	OP	Redes de Comunicaciones Cuánticas	3	OP
Computación Cuántica y Aprendizaje Máquina	3	OP	Métodos Numéricos en Computación Cuántica	3	OP
Óptica Cuántica	3	OP	Introducción a la Simulación Cuántica	3	OP
Sistemas Físicos para la Información Cuántica	3	OP	Ciencia y Tecnología de la Superconductividad	3	OP
Comunicaciones Cuánticas Avanzadas	3	OP	Fotónica de Semiconductores	3	OP
Teoría de la Información Cuántica Avanzada	3	OP	Sistemas Cuánticos Basados en Reglas	3	OP

Tecnologías Fotónicas para la Comunicación Cuántica	3	OP	Laboratorio de Comunicaciones Cuánticas	3	OP
Mecánica Cuántica Avanzada	3	OP	Comunicaciones Cuánticas Vía Satélite	3	OP
Arquitecturas de la Computación Cuántica	3	OP	Prácticas Externas I	3	OB
Técnicas Experimentales para la Información Cuántica	3	OP	Prácticas Externas II	3	OP
			Trabajo de Fin de Máster	15	TFM
<b>TOTAL</b>	<b>48</b>		<b>TOTAL</b>	<b>63</b>	

**Estructura por módulos:**

MÓDULO	MATERIA	CARÁCTER	CUATRIMESTRE	ECTS	MODALIDAD
Obligatorio	Mecánica Cuántica I	OB	1	3	Presencial
	Mecánica Cuántica II	OB	1	3	Presencial
	Fundamentos de Información Cuántica	OB	1	3	Presencial
	Introducción a la Computación Cuántica	OB	1	3	Presencial
	Fundamentos de Comunicaciones Cuánticas	OB	1	3	Presencial
	<b>Total ECTS</b>				<b>15</b>

MÓDULO	MATERIA	CARÁCTER	CUATRIMESTRE	ECTS	MODALIDAD
Computación Cuántica	Herramientas de la Computación Cuántica	OP	1	3	Presencial
	Programación e Implementación de Algoritmos Cuánticos	OP	1	3	Presencial
	Computación Cuántica y Aprendizaje Máquina	OP	1	3	Presencial
	Computación Cuántica y Computación de Altas Prestaciones	OP	2	3	Presencial
	Aplicaciones Prácticas de la Computación Cuántica	OP	2	3	Presencial
<b>Total ECTS</b>				<b>15</b>	

MÓDULO	MATERIA	CARÁCTER	CUATRIMESTRE	ECTS	MODALIDAD
Comunicaciones Cuánticas	Teoría de la Información Cuántica Avanzada	OP	1	3	Presencial
	Tecnologías Fotónicas para la Comunicación Cuántica	OP	1	3	Presencial
	Códigos de Corrección de Errores	OP	2	3	Presencial
	Comunicaciones Cuánticas Avanzadas	OP	1	3	Presencial
	Redes de Comunicaciones Cuánticas	OP	2	3	Presencial
<b>Total ECTS</b>					<b>15</b>

MÓDULO	MATERIA	CARÁCTER	CUATRIMESTRE	ECTS	MODALIDAD
Física de la Información Cuántica	Óptica Cuántica	OP	1	3	Presencial
	Materiales Cuánticos	OP	2	3	Presencial
	Sistemas Abiertos y Termodinámica Cuántica	OP	2	3	Presencial
	Sistemas Físicos para la Información Cuántica	OP	1	3	Presencial
	Metrología y Sensores Cuánticos	OP	2	3	Presencial
<b>Total ECTS</b>					<b>15</b>

#### 4.1.b) Plan de estudios detallado (por materia)

La presencialidad indicada en las asignaturas, de acuerdo a su modalidad de impartición (presencial, híbrida o virtual), se ajustará a la normativa vigente de las universidades participantes que regule la modalidad docente de los estudios y estará supeditada a las instrucciones que figuren en el Procedimiento para la elaboración del Plan docente anual (PDA) de cada curso académico. Las fichas de las materias, que figuran a continuación, recogen las horas de presencialidad requerida por crédito ECTS a efectos de justificar la modalidad de impartición de las materias y, en consecuencia, del título.

#### OBLIGATORIAS

<b>Denominación: Mecánica Cuántica I</b>	
<b>CARÁCTER</b>	Obligatoria
<b>ECTS</b>	3
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	1º

LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción:</b>		
Este curso de Mecánica Cuántica empieza desde cero y abarca todos los temas que serán requeridos por las distintas asignaturas. Estará enfocado a estudiantes que provengan de grados o másteres en los que no se haya visto nunca Mecánica Cuántica: ingeniería, matemáticas, etc. Comenzará con un repaso de métodos matemáticos y continuará con un estudio a fondo de los axiomas de la Mecánica Cuántica y sus consecuencias prácticas.		
<b>Contenidos</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perspectiva histórica. Experimentos básicos.</li> <li>2. Espacios de Hilbert complejos, notación de Dirac.</li> <li>3. Operadores, autovalores y autovectores. Matrices de Pauli.</li> <li>4. Postulados de la MC. Medidas, valores esperados</li> <li>5. Estados de espín</li> <li>6 Mecanica Ondulatoria y Evolución temporal.</li> <li>7 Matriz Densidad</li> </ol>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Mecánica Cuántica II		
<b>CARÁCTER</b>	Obligatoria	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	1º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción:</b>		
Esta es la segunda parte del curso introductorio a Mecánica Cuántica. En ella se sitúan los conocimientos de cualquier estudiante en un nivel suficiente para poder configurar un itinerario completo con materias obligatorias y optativas. La docencia se orientará al estudio de conceptos esenciales para entender la Teoría Cuántica de la Información, así como la implementación de dicha información en sistemas físicos de naturaleza cuántica.		
<b>Contenidos:</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Repaso de Mecanica ondulatoria de una partícula</li> <li>2. Oscilador armónico Operadores creación y destrucción.</li> <li>3. Sistemas multipartitos, producto tensorial, operadores. Paradoja EPR</li> </ol>		

4. Estadística cuántica: bosones y fermiones.		
5. Interacción átomo campo electromagnético		
6. Cuantización del campo electromagnético.		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Fundamentos de Información Cuántica		
CARÁCTER	Obligatoria	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	1º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción:		
<p>Esta asignatura proporciona al alumno bases teóricas y herramientas conceptuales que se van a utilizar en muchos contextos para procesar información mediante dispositivos cuánticos. Después de un repaso de Mecánica Cuántica y de Teoría Clásica de la Información se estudiarán las bases de la Teoría Cuántica de la Información. Especial atención se prestará a conceptos como entrelazamiento, correlación, medidas generalizadas, distinguibilidad, desigualdades de Bell generalizadas y cotas fundamentales a la compresión y la transmisión de datos. Finalmente se dará una introducción a estimación cuántica y sus figuras de mérito como bases de la metrología cuántica.</p>		
Contenidos:		
<p>Teoría clásica de la información. Teoremas de Shannon.                      Información y física, Principio de Landauer.                      Repaso de Mecánica Cuántica. Matrices densidad.                      Entrelazamiento y correlaciones. Desigualdades de Bell.                      Circuitos, Codificación Densa, Teleportación. Intercambio de Entrelazamiento.                      Medidas generalizadas y teoría de la detección. Distinguibilidad.                      Entropías cuánticas. Compresión de datos.                      Elementos de metrología cuántica, estimación de parámetros.</p>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		

Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

<b>Denominación: Introducción a la Computación Cuántica</b>		
<b>CARÁCTER</b>	Obligatoria	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	1º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción:</b>		
<p>Esta materia pretende transmitir a los estudiantes los conceptos fundamentales de la Computación Cuántica, el formalismo matemático necesario para trabajar con qubits, las ventajas informáticas y computacionales de la superposición cuántica y del entrelazamiento cuántico y definir un marco de trabajo que contemple la evolución de los sistemas clásicos determinísticos hasta llegar a los sistemas cuánticos, pasando por los sistemas típicamente probabilísticos. Una vez establecido este marco de trabajo, se analizarán conceptualmente algunos de los algoritmos cuánticos y de estimación de fase más relevantes. El desarrollo de programas informáticos que implementen estos algoritmos será tratado, en profundidad, en otra materia del itinerario de computación cuántica.</p>		
<b>Contenidos:</b>		
<p>Matemáticas de la Computación Cuántica                      Reversibilidad y Arquitecturas Reversibles                      Puertas Lógicas Reversibles y Cuánticas                      Sistemas Determinísticos, Probabilísticos y Cuánticos                      Descripción Formal de Algoritmos Cuánticos                      Prácticas de programación de circuitos cuánticos.</p>		
<b>ACTIVIDAD FORMATIVA</b>	<b>HORAS</b>	<b>PRESENCIALIDAD (%)</b>
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
<b>METODOLOGÍAS DOCENTES</b>		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

<b>Denominación: Fundamentos de Comunicaciones Cuánticas</b>	
<b>CARÁCTER</b>	Obligatoria

ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	1º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción:</b>		
Esta asignatura proporciona al alumno los conceptos y técnicas básicas de operación de los sistemas de comunicaciones cuánticos, con especial énfasis en la construcción de canales de comunicaciones seguras y en el análisis de los protocolos en que se fundamentan. Se tratarán la distribución cuántica de claves, las diferentes posibilidades de implementación tecnológica y las técnicas de análisis de la seguridad de estos esquemas.		
<b>Contenidos:</b>		
Criptografía clásica y post-cuántica Distribución cuántica de claves (QKD) Principales protocolos de QKD: preparación & medida, basados en entrelazamiento, basados en interferencia Análisis de seguridad Implementaciones tecnológicas con láseres: <i>decoy-state, measurement device-independent, device-independent, twin-field</i> Otros protocolos de comunicaciones cuánticas: teleportación, codificación densa, <i>bit commitment</i> , quantum radar		
<b>ACTIVIDAD FORMATIVA</b>	<b>HORAS</b>	<b>PRESENCIALIDAD (%)</b>
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
<b>METODOLOGÍAS DOCENTES</b>		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
<b>SISTEMA DE EVALUACIÓN</b>	<b>PONDERACIÓN MÍNIMA</b>	<b>PONDERACIÓN MÁXIMA</b>
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

**OPTATIVAS**

<b>Denominación: Herramientas de la Computación Cuántica</b>		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	1º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción:</b>		
La computación cuántica es un área emergente con un potencial significativo, especialmente		

en el área de problemas de optimización. Dado que la computación cuántica funciona con un mecanismo diferente al de la computación clásica, el enfoque del software para la computación cuántica también es diferente. Siguiendo el paradigma de los circuitos cuánticos, en esta materia se hará un desarrollo completo, profundo y riguroso de las diferentes técnicas y herramientas necesarias para el desarrollo y ejecución de software cuántico.

Contenidos:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Circuitos Cuánticos</li> <li>· Lenguajes de Programación</li> <li>· Software para la Simulación Cuántica</li> <li>· Procesadores Cuánticos</li> <li>· Prácticas de Laboratorio</li> </ul>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	10	100%
Docencia práctica	5	100%
Prácticas de Laboratorio	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Programación e Implementación de Algoritmos Cuánticos		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	1º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción:		
<p>El propósito de los computadores cuánticos es aprovechar las propiedades cuánticas de los <i>qubits</i> y poder ejecutar algoritmos cuánticos que utilizan la superposición y el entrelazamiento para ofrecer una capacidad de procesamiento mucho mayor que los algoritmos clásicos. Es importante indicar que el verdadero cambio de paradigma no consiste en hacer lo mismo que hacen las computadoras digitales o clásicas, sino que los algoritmos cuánticos permiten realizar ciertas operaciones de una manera totalmente diferente que en muchos casos resulta ser más eficiente, es decir, en mucho menos tiempo o utilizando muchos menos recursos computacionales. Este curso está diseñado para que los estudiantes aprendan en el laboratorio aspectos relevantes de la programación cuántica de algoritmos vistos anteriormente.</p> <p><b>Resultados del Aprendizaje</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño, implementación y programación de sistemas cuánticos</li> <li>• Análisis informático de algoritmos cuánticos e híbridos</li> <li>• Implementación práctica de algoritmos cuánticos en simuladores</li> <li>• Implementación práctica de algoritmos en procesadores cuánticos</li> </ul>		
Contenidos		



<ul style="list-style-type: none"> <li>· Algoritmos de Deutsch y Deutsch-Jozsa</li> <li>· Algoritmo de Simon y Transformada Cuántica de Fourier</li> <li>· Algoritmo Cuántico de Estimación de Fase</li> <li>· Algoritmo de Grover</li> <li>· Algoritmo de Shor</li> </ul>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	10	100%
Docencia práctica	5	100%
Prácticas de Laboratorio	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Computación Cuántica y Aprendizaje Máquina		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	1º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción:		
<p>Aprendizaje Máquina y Computación Cuántica son materias relevantes y de creciente interés en investigación y desarrollo tecnológico en la actualidad. Este tema ilustra cómo el Aprendizaje Máquina puede ser optimizado utilizando técnicas de Computación Cuántica. Se incluye una revisión exhaustiva de ambas materias, para luego buscar sinergias entre ellas y encontrar dominios de aplicación y procedimientos que mejoren el comportamiento de los algoritmos actuales de Aprendizaje Máquina y Computación Cuántica. Posteriormente, se implementarán y probarán las aplicaciones diseñadas, evaluando sus resultados y contrastándolos con los métodos clásicos equivalentes, para comprobar su correcto funcionamiento.</p>		
Contenidos		
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Principios y Conceptos Básicos</li> <li>· Máquinas Cuánticas de Soporte Vectorial</li> <li>· Análisis Cuántico de Componentes Principales</li> <li>· Reconocimiento Cuántico de Patrones</li> <li>· Redes Neuronales Cuánticas</li> </ul>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	10	100%
Docencia práctica	5	100%
Prácticas de Laboratorio	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%

Total	75	33.3%
<b>METODOLOGÍAS DOCENTES</b>		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
<b>SISTEMA DE EVALUACIÓN</b>	<b>PONDERACIÓN MÍNIMA</b>	<b>PONDERACIÓN MÁXIMA</b>
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

<b>Denominación: Computación Cuántica y Computación de Altas Prestaciones</b>		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	2º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción:</b>		
<p>El advenimiento de la computación cuántica supondrá un incremento sin precedentes en la capacidad de cómputo de la informática de consumo. Trasladar estas mejoras a la computación de altas prestaciones (HPC) abrirá un potencial de desarrollo sin precedentes a ciertas aplicaciones estratégicas (dinámica de fluidos computacional, entrenamientos de IA, aplicaciones financieras a gran escala, bioinformática, etc...). Para ello, esta materia explicará cómo diseñar soluciones HPC que permitan integrar a gran escala computación clásica de altas prestaciones, entrada/salida masiva y aceleradores cuánticos. Por otra parte, es necesario aprender a detectar oportunidades para aplicar esta clase de soluciones en problemas resueltos con soluciones clásicas HPC. Finalmente, la evaluación del rendimiento nos permitirá identificar cuellos de botella en el rendimiento como paso previo a aplicar diferentes optimizaciones.</p>		
<b>Contenidos</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Fundamentos de la Computación de Altas Prestaciones (HPC)</li> <li>· Arquitectura de las Unidades de Procesamiento Cuántico</li> <li>· Integración de Computación Clásica y Cuántica en entornos HPC</li> <li>· Casos de uso de computación cuántica en entornos HPC</li> <li>· Evaluación de rendimiento en Computación Cuántica</li> </ul>		
<b>ACTIVIDAD FORMATIVA</b>	<b>HORAS</b>	<b>PRESENCIALIDAD (%)</b>
Docencia teórica	10	100%
Docencia práctica	5	100%
Prácticas de Laboratorio	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
<b>METODOLOGÍAS DOCENTES</b>		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
<b>SISTEMA DE EVALUACIÓN</b>	<b>PONDERACIÓN MÍNIMA</b>	<b>PONDERACIÓN MÁXIMA</b>
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de	0%	30%

trabajos		
----------	--	--

Denominación: Aplicaciones Prácticas de la Computación Cuántica		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	2º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
Descripción:		
<p>La computación cuántica es una tecnología que se encuentra en pleno auge. El potencial que tiene puede suponer un cambio de paradigma en la forma de afrontar problemas de la sociedad actual. Algunos de los computadores cuánticos funcionales hoy en día ya son eficaces en la resolución de ciertos problemas altamente complejos. De este modo, la computación cuántica se perfila como un camino prometedor en diversos campos. En esta materia se lleva a cabo un repaso del estado actual de la computación cuántica, así como sus perspectivas futuras.</p>		
Contenidos		
<p>Aplicaciones en la Industria                      Aplicaciones en Ciencias de la Salud                      Aplicaciones en Química y Diseño de Fármacos                      Aplicaciones en Economía y Finanzas                      Otras aplicaciones</p>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	10	100%
Docencia práctica	5	100%
Prácticas de Laboratorio	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Arquitecturas de la Computación Cuántica		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	1º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí

Descripción		
<p>Aún no se ha resuelto el problema de qué hardware sería el ideal para la computación cuántica. Al respecto, se han definido una serie de condiciones que deben cumplir las arquitecturas cuánticas, y que pueden encontrarse en la conocida <i>lista de Di Vincenzo</i>. Sin embargo, en toda arquitectura cuántica, deben mantenerse una serie de restricciones como las siguientes: el sistema ha de poder inicializarse, esto es, llevarse a un estado de partida conocido y controlado, también tiene que ser posible hacer manipulaciones sobre los qubits de forma controlada, con un conjunto de operaciones que forme un conjunto universal de puertas lógicas(para poder reproducir cualquier otra puerta lógica posible). Análogamente, el sistema ha de mantener su coherencia cuántica, además de ser posible leer el estado final del sistema, tras el cálculo. Por último, el sistema ha de ser escalable: tiene que haber una forma definida de aumentar el número de qubits, para tratar con problemas de mayor coste computacional. En esta materia se tratará de ver, desde una perspectiva histórica, pero rigurosa, las distintas aproximaciones que han sido propuestas para resolver el problema de cuál es la mejor aproximación para construir una arquitectura cuántica eficiente</p>		
Contenidos		
Requisitos de las Arquitecturas Cuánticas Computadora Cuántica de Benioff Computadora Cuántica de Feynman Computadora Cuántica de Deutsch Computadora Cuántica de Kane		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	10	100%
Docencia práctica	5	100%
Prácticas de Laboratorio	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Métodos Numéricos en Computación Cuántica		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	2º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
<p>La aplicación de la Computación Cuántica a los problemas de simulación numérica de procesos y productos es muy prometedora aunque, actualmente, se requiere el avance de la tecnología de los ordenadores cuánticos para abordar la complejidad de los problemas que surgen en las aplicaciones reales en distintas disciplinas. Por otro lado, las prestaciones de la Computación Cuántica necesitan en muchas ocasiones un rediseño de los métodos numéricos clásicos, o la construcción de nuevos métodos, para que resulten eficientes. En esta asignatura se hará una introducción a los algoritmos</p>		

cuánticos relacionados con distintos problemas que resuelven los métodos numéricos, como los relacionados con funciones de una variable, las aproximaciones en cálculo numérico matricial, la optimización numérica y la simulación. Además de explicar los problemas que abordan los métodos numéricos y algunos algoritmos que se manejan en Computación Cuántica para resolverlos, se realizará la implementación práctica de dichos algoritmos.

**Contenidos**

Introducción a los Métodos Numéricos en Computación Cuántica  
 Métodos Numéricos Cuánticos en Funciones de una Variable  
 Algoritmos Cuánticos de Cálculo Numérico Matricial  
 Algoritmos Cuánticos de Métodos Numéricos de Optimización  
 Algoritmos Cuánticos de Simulación Numérica y Estocástica

ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%

**METODOLOGÍAS DOCENTES**

Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.

SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

**Denominación: Sistemas Cuánticos Basados en Reglas**

<b>CARÁCTER</b>	Optativa
-----------------	----------

<b>ECTS</b>	3
-------------	---

<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º</b> cuatrimestre	2º
---	----

**LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE**

CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí

**Descripción**

Esta materia trata de establecer sinergias entre dos áreas de investigación y desarrollo aparentemente desconectadas: la inteligencia artificial y la computación cuántica. El curso comienza con una breve descripción de los orígenes de la inteligencia artificial simbólica y el tipo de problemas que se intenta resolver. A continuación, se centra en un tipo específico de programas de inteligencia artificial simbólica, los sistemas basados en reglas. Aspectos relacionados con los sistemas basados en reglas serán tratados de manera exhaustiva y rigurosa desde la perspectiva de la computación cuántica. Esta materia incluye el desarrollo de modelos cuánticos para el tratamiento del conocimiento inexacto, y la construcción de una arquitectura cuántica equivalente a un circuito inferencial convencional. La materia concluye con la construcción de un sistema basado en reglas cuánticas.

**Contenidos**

- Fundamentos de Sistemas de Producción
- Circuitos Inferenciales Cuánticos
- Representación Cuántica del Conocimiento Impreciso
- Propagación Cuántica de la Incertidumbre Clásica
- Modelo Cuántico de Factores de Certidumbre

ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Óptica Cuántica		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	1º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
<p>Esta asignatura proporciona al alumno los aspectos teóricos y las herramientas conceptuales y formales de la Óptica Cuántica, es decir, aprehender el concepto de estados de luz cuántica, como se generan, como se propagan de forma espacio-temporal, como se transforman con sistemas ópticos y como se detectan. Los conocimientos que se adquieren permiten por una parte profundizar en aspectos opto-cuánticos fundamentales (variable discreta y continua, entrelazamiento e hiperentrelazamiento, medida sin interacción, compresión de ruido cuántico, polarización cuántica, coherencia e interferencia cuántica, etc.) y por otra aplicarlos en cualquier campo donde la ciencia y tecnología fotónica pueda ser usada (procesado/computación cuántica, comunicaciones cuánticas, metrología cuántica, ...)</p>		
Contenidos		
<p>1.-Propagación cuántica de la luz: Formulación Hamiltoniana. Propagación cuántica temporal. Operador Momento. Propagación cuántica espacial. Estudio de diferentes estados cuánticos de luz (Número, Caóticos, Coherentes, Comprimidos, Entrelazados, Gato, Fase, ...) y sus representaciones (Q, P, W, Fase, E, ...).</p> <p>2.-Estados cuánticos y dispositivos ópticos: Estudio cuántico de dispositivos ópticos (basados en modos ópticos de camino: divisores, acopladores, ...). Estados de campo óptico. Estados cuánticos de luz puros y mezcla. Detección homodina. Decoherencia opto-cuántica. Aplicaciones a procesado cuántico (portas lógicas, generación de N-qudits, medidas proyectivas, ...).</p> <p>3.-Polarización cuántica de la luz: Operador de espín. Concepto de polarización cuántica. Operadores de Stokes. Grado de polarización cuántica. Momento angular orbital. Dispositivos (polarizadores, retardadores, ...) y aplicaciones al procesado cuántico, teleportación cuántica y criptografía cuántica.</p> <p>4.-Interferencia y coherencia opto-cuántica: Probabilidad de detección de Glauber. Interferometría opto-cuántica. Funciones de coherencia opto-cuántica de orden arbitrario. Aplicaciones metroológicas (medida de fase, litografía subdifractiva, imagen cuántica, ...)</p> <p>5.-Optica cuántica no lineal: Operadores Momento no lineales de segundo y tercer orden (SPDC, FWM, Kerr, ...). Generación de estados cuánticos de luz (comprimidos, gato, ...). SPDC de doble paso. No demolición cuántica, ...</p>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)

Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
<b>METODOLOGÍAS DOCENTES</b>		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
<b>SISTEMA DE EVALUACIÓN</b>	<b>PONDERACIÓN MÍNIMA</b>	<b>PONDERACIÓN MÁXIMA</b>
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

<b>Denominación: Sistemas Físicos para la Información Cuántica</b>		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	1º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción</b>		
<p>Esta asignatura proporciona al alumno los aspectos teóricos y las herramientas conceptuales y formales para conocer con cierta profundidad implementaciones físicas, usando diferentes sistemas físicos, de operaciones cuánticas para procesado y computación cuántica, comunicaciones cuánticas y metrología cuántica. Los sistemas estudiados son los de tipo totalmente fotónico, los opto-atómicos (cavidades cuánticas, iones atrapados, redes ópticas, ...) de materia condensada (RMN, puntos cuánticos, ...) y de sistemas superconductores. Se finaliza con el estudio de distintos sistemas de detección de estados cuánticos 1-qubit, 2-qubits y en general N-qubits y N-qudits.</p>		
<b>Contenidos</b>		
<p>-Sistemas fotónicos con elementos ópticos, micro-ópticos e integrados lineales, no lineales y topológicos (divisores, acopladores, retardadores, ...) para computación cuántica de propósito específico, para simulación física y para comunicaciones cuánticas (teleportación fotónica, criptografía con estados de luz cuántica no entrelazada y entrelazada, comunicación densa, ...)</p> <p>-Sistemas opto-atómicos (y de óptica atómica) para computación de propósito general. Interacción Luz-Materia de Jaynes-Cummings y efecto Ramsey. Cavidades opto-cuánticas. Sistemas de iones atrapados. Sistemas de redes óptica.</p> <p>-Sistemas de materia condensada para computación cuántica de propósito específico y general. Sistemas RMN. Sistemas NVC. Sistemas semiconductores de puntos Cuánticos.</p> <p>-Sistemas superconductores para computación cuántica de propósito general y específico. Uniones Josephson. Qbits de carga y flujo.</p> <p>-Sistemas de detección y medida de estados de N-qubits e N-qudits. Métodos de coincidencias. Métodos de ionización de campo. Metodo FID (RMN). Medida de número de fotóns, ...</p>		
<b>ACTIVIDAD FORMATIVA</b>	<b>HORAS PRESENCIAIS</b>	<b>PRESENCIALIDAD (%)</b>
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%

Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
<b>METODOLOGÍAS DOCENTES</b>		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
<b>SISTEMA DE EVALUACIÓN</b>	<b>PONDERACIÓN MÍNIMA</b>	<b>PONDERACIÓN MÁXIMA</b>
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

<b>Denominación: Técnicas Experimentales para la Información Cuántica</b>		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	1º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción</b>		
<p>Esta asignatura proporciona al alumno los aspectos experimentales fundamentales sobre distintas tecnologías físicas para su uso y aplicación en información cuántica (procesado/computación cuántica, comunicaciones cuánticas y metrología cuántica). La materia se centrará sobre sistemas totalmente fotónicos, sistemas superconductores, sistemas de estado sólido y dispositivos de detección.</p>		
<b>Contenidos</b>		
<p>-Técnicas experimentales para desarrollar sistemas fotónicos para información cuántica: fuentes de luz cuántica bifotón, luz entrelazada, ...; transformaciones cuánticas con dispositivos ópticos básicos; detección cuántica (proyectiva, coincidencias, ...)</p> <p>-Técnicas experimentales en sistemas basados en superconductores u otros materiales cuánticos: técnicas criogénicas; medidas en superconductores u otros sólidos nano-coherentes; sus protectorados cuánticos; integración en dispositivos híbridos y sensores.</p> <p>-Simulaciones y experiencias básicas: desigualdades de Bell, protocolo BB84, interferencia HOM, QRNG, ...</p>		
<b>ACTIVIDAD FORMATIVA</b>	<b>HORAS</b>	<b>PRESENCIALIDAD (%)</b>
Prácticas de laboratorio	25	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33%
<b>METODOLOGÍAS DOCENTES</b>		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
<b>SISTEMA DE EVALUACIÓN</b>	<b>PONDERACIÓN MÍNIMA</b>	<b>PONDERACIÓN MÁXIMA</b>
Seguimiento	0%	20%
Informe de Prácticas	60%	90%
Evaluación Continua	0%	30%



Denominación: Metrología y Sensores Cuánticos		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	2º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
<p>Esta asignatura proporciona al alumno los aspectos fundamentales de la metrología cuántica y sus distintas tecnologías físicas para uso y aplicación en problemas de medida y sensores. Se abordan distintas tecnologías altamente prometedoras como la fotónica, el estado sólido y la superconductividad, y se abordan sistemas y aplicaciones más complejos como los relojes ópticos, las redes neuronales cuánticas, etc.</p>		
Contenidos		
<p>-Fundamentos: estimación de parámetros, umbrales. Estimación de parámetros. Métrica de Fisher, límites de Heisenberg (LH) y Cramer Rao, ...</p> <p>-Metrología óptica cuántica: detección fotónica y detección homodina y heterodina. Interferometría Mach-Zehnder (MZ) e implementación óptica del LH. Estados noon y litografía subdifractiva, y microscopía. Interferometría óptica con estados comprimidos e interferometría multiparamétrica en MZ. Introducción a la imagen cuántica, ...</p> <p>-Metrología cuántica de estado sólido y superconductividad: NV, Efecto Hall, SQUIDS, ...</p> <p>-Sistemas y Aplicaciones: Sistemas de relojes ópticos (Ion+Oscilador-Local+Peine-óptico), sistemas de redes neuronales fotónicas, etc.</p>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Materiales Cuánticos		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	2º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		

En esta materia el alumno adquirirá competencias sobre conceptos actuales en física de la materia condensada. La asignatura ofrece una visión general sobre lo que hoy en día se conoce como materiales cuánticos, aquellos cuyas propiedades físicas son inherentemente cuánticas (más allá de la naturaleza cuántica del enlace químico o la teoría de bandas). La adquisición de esta visión pasa por comprender los estados colectivos que ocurren en un sistema multielectrónico fuertemente correlacionado. Serán competencias específicas:

- Comprender el concepto de cuasipartícula y su aplicación a los estados colectivos electrónicos en sólidos.
- Comprender el magnetismo como un fenómeno cuántico colectivo.
- Entender los límites del magnetismo itinerante y localizado.
- Manejar los conceptos básicos de un modelo de Hubbard aplicado a una transición metal-aislante.
- Conocer los estados de materia cuántica y materia con topología no trivial.

**Contenidos**

1. Electrones interactuantes: Sistemas de muchas partículas y segunda cuantización. Estadísticas de fermiones y de bosones. Líquido de Fermi de Landau. Gas de electrones interactuante. Transición de Anderson y de Mott.
2. Magnetismo cuántico: Modelo de Heisenberg. Modelo de Hubbard. Fases ferromagnéticas, antiferromagnéticas, metálicas y aislantes.
3. Propiedades topológicas de la materia: Fase de Berry. Conexión de Berry. Curvatura de Berry. Efecto Hall cuántico. Teoría moderna de la polarización. Ecuación de Dirac: Grafeno. Aislantes topológicos. Efecto Hall cuántico de espín. Fermiones de Weyl.

ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%

**METODOLOGÍAS DOCENTES**

Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.

SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

<b>Denominación: Fotónica de Semiconductores</b>		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	2º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción</b>		
Esta asignatura proporciona los fundamentos de las propiedades fotónicas de materiales y dispositivos semiconductores. Entre otros, se estudiarán dispositivos emisores de luz clásica como láseres (estado coherente) y cuántica como los LED de punto cuántico (fotón simple) o como la generación de SPDC (estado bi-fotón, ...). También se estudiarán detectores		

de luz cuántica tanto para medidas temporales (fotodiodo de avalancha de fotón simple o SAPD) como para medidas espaciales (sensores de imagen EMCCD, ...). Tanto las fuentes como los detectores de semiconductor se presentarán tanto en su versión de volumen (3D) como en su versión de fotónica integrada cuando proceda, esta última por su elevado interés en tecnologías emergentes.

**Contenidos**

-Fundamentos de fotometría y radiometría clásica y cuántica  
 -Principios físicos de semiconductores para fotónica 3D e integrada  
 -LEDs, Láseres de semiconductor, Fuentes de fotón simple, Fuentes SPDC, ...  
 -Fotodetectores: fotodiodos, sensores de imagen, detectores (APDs, SAPDs, ...).

ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%

**METODOLOGÍAS DOCENTES**

Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.

SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

**Denominación: Ciencia y Tecnología de la Superconductividad**

**CARÁCTER** Optativa

**ECTS** 3

**DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º** 2º  
 cuadrimestre

**LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE**

**CASTELLANO** **GALEGO** **Inglés**

Sí Sí Sí

**Descripción**

En esta asignatura el estudiantado se familiarizará con los materiales superconductores incluyendo los desarrollos de nueva generación (cupratos y pnicturos, híbridos, nanoestructurados, bidimensionales, topológicos, etc.) y su uso para dispositivos empleados en tecnologías cuánticas, así como aspectos relacionados de criociencia y criotecnología. Se abordarán la descripción de los materiales y cuál es la naturaleza de sus estados y protectorados cuánticos, y finalmente se discutirá en correspondiente detalle y profundidad los dispositivos de información y metrología cuántica que estas propiedades cuánticas permiten (incluyendo por ejemplo sensores fotónicos, sensores magnéticos de cuantos de flujo, dispositivos híbridos para superconductividad funcional, neurosensores, ratchets, etc.).

**Contenidos**

--1- Materiales superconductores contemporáneos; características de su estado superconductor, de su parámetro de orden y de sus protectorados cuánticos. 1.1-clásicos. 1.2-de alta temperatura cupratos y pnicturos. 1.3-nanoestructurados e híbridos. 1.4-unidimensionales, bidimensionales y topológicos. 1.5-otros materiales con supercondensados cuánticos

--2- Dispositivos superconductores contemporáneos. 2.1-Dispositivos por efecto proximidad y túnel cuántico: Uniones débiles y Josephson. Sensores de interferencia cuántica (SQUID). Emisores THz por efecto Josephson intrínseco. Qubits (de carga, de fase, de flujo). 2.2- Sensores transition-edge: Bolométricos, hot electron, de rotura de pares, de avalanchas; térmicos, fotónicos y electrónicos. 2.3-Dispositivos híbridos y nanoestructurados para elementos funcionales: Ratchets, sensores de vorticidad SAW, sensores nanohilo, sistemas superconductor + piezoeléctrico, otros. 2.4-Otros dispositivos: Almacenamiento de energía a escalas macro y micro; motores, generadores y estabilizadores eléctricos superconductores; cables 2G. 2.5-Criotecnología para la operación de dispositivos superconductores.

ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Evaluación continua	60%	80%
Trabajos de extensión	20%	40%

Denominación: Introducción a la Simulación Cuántica		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	2º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
<p>En el origen de la computación cuántica está la famosa afirmación de Feynman según la cual, un ordenador clásico nunca podrá calcular las propiedades de un sistema cuántico debido al requisito de memoria exponencialmente creciente con el tamaño del sistema. La aplicación de la computación cuántica al estudio de sistemas cuánticos se conoce con el nombre de simulación cuántica.</p> <p>Esta disciplina se divide en dos paradigmas: la simulación cuántica digital y la simulación cuántica análoga. En el primer caso se trata de obtener soluciones a la evolución cuántica de un sistema real mediante circuitos ejecutados en ordenadores cuánticos universales, o en ordenadores clásicos que los simulan digitalmente en casos de tamaño pequeño. Para este último caso se han desarrollado herramientas muy potentes como las redes de tensores.</p> <p>El segundo paradigma se basa en el enorme desarrollo del denominado Control Cuántico en algunos sistemas muy concretos: redes de átomos, sistemas fotónicos, etc. La evolución de temporal de estos sistemas altamente controlables es isomorfa a la del problema que se quiere estudiar. De ahí la palabra computación cuántica análoga (no analógica). En cierto modo se trata de computadoras cuánticas no universales, sino altamente especializadas. Entre los dos paradigmas anteriores existen propuestas intermedias como los ordenadores DWave de computación cuántica adiabática.</p>		
Contenidos		
- Estudio de problemas a estudiar mediante simulación cuántica, modelo de Hubbard.		

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simulación cuántica en ordenadores cuánticos. Trotterización, Fermionización, Computación Cuántica Adiabática y Contradiabática. Atajos adiabáticos.</li> <li>- Simulación clásica de computación cuántica: redes de tensores, MPS, PEPS, Simulación analógica de sistemas cuánticos. Conceptos fundamentales. Implementaciones en sistemas de átomos enfriados, redes ópticas, sistemas fotónicos, circuitos superconductores.</li> </ul>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Mecánica Cuántica Avanzada		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	1º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
El objetivo de este curso es presentar una selección de temas que complementen la formación del estudiante en el campo de la Física Cuántica. Los temas concretos han sido elegidos por su relevancia en la temática del máster en el contexto actual.		
Contenidos		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estados coherentes del oscilador armónico. Gatos de Schrödinger. Estados comprimidos. Distribuciones de cuasiprobabilidad</li> <li>2. Problema de medida. Decoherencia y aparición de la realidad clásica. Modelos de decoherencia. Localización debida a colisiones con partículas ambientales.</li> <li>3. Dinámica cuántica generalizada. Operadores de Kraus e saltos cuánticos. Superoperadores y ecuaciones piloto. Ecuación de Lindblad.</li> <li>4. Aplicación al oscilador armónico amortiguado.</li> <li>5. Interacción radiación-materia. Modelo de Rabi. Campo electromagnético cuantizado. Modelo de Jaynes-Cummings.</li> </ol>		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		

Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

<b>Denominación: Sistemas Abiertos y Termodinámica Cuántica</b>		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	2º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción</b>		
<p>La termodinámica cuántica estudia la emergencia de las leyes termodinámicas en sistemas cuánticos, en particular en sistemas nanoscópicos. La herramienta fundamental que se utiliza es la teoría de sistemas cuánticos abiertos y las correspondientes ecuaciones de evolución, que permiten estudiar los intercambios energéticos fuera del equilibrio de los sistemas pequeños, así como el control de la decoherencia en los sistemas de procesamiento cuántico de la información. En esta asignatura se introducirá al alumno a estos temas, de forma que le permita seguir los avances más recientes de la literatura científica en el campo.</p>		
<b>Contenidos</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Los principios de la termodinámica moderna. Termodinámica estocástica. Igualdad de Jarzynski y teorema de fluctuación de Crooks.</li> <li>2. Trabajo, calor y producción de entropía en sistemas cuánticos.</li> <li>3. Termometría cuántica. Máquinas térmicas cuánticas y ciclos de Otto. Baterías cuánticas.</li> <li>4. Termodinámica cuántica de los sistemas abiertos. Ecuaciones piloto y trayectorias cuánticas. Difusión de estados cuánticos. Termodinámica en promedio: primera y segunda ley de la termodinámica.</li> <li>5. Termodinámica de la información cuántica. Cota de Landauer. Teoremas de fluctuación. Mecanismo de Kibble-Zurek.</li> <li>6. Decoherencia. Subespacios libres.</li> <li>7. Sistemas forzados periódicamente. Cristales de tiempo.</li> </ol>		
<b>ACTIVIDAD FORMATIVA</b>	<b>HORAS</b>	<b>PRESENCIALIDAD (%)</b>
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
<b>METODOLOGÍAS DOCENTES</b>		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías.		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%

Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%
---------------------------------------	----	-----

<b>Denominación: Tecnologías Fotónicas para la Comunicación Cuántica</b>		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	1º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción</b>		
Esta asignatura proporciona los conocimientos básicos sobre los dispositivos electrónicos y fotónicos necesarios en un enlace de comunicaciones cuántico: láseres y otras fuentes ópticas, fotodetectores. También se estudian las características y modelos de los canales de transmisión por fibra óptica y de espacio libre.		
<b>Contenidos</b>		
§Fuentes ópticas (láseres, fuentes de fotones individuales y fuentes de entrelazamiento) §Codificación en polarización, fase y tiempo §Detección óptica y tecnologías de detectores de fotones individuales §Canales de transmisión: fibra óptica y espacio libre §Principales plataformas experimentales de QKD.		
<b>ACTIVIDADES FORMATIVAS</b>		
<b>ACTIVIDAD FORMATIVA</b>	<b>HORAS</b>	<b>PRESENCIALIDAD (%)</b>
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
<b>METODOLOGÍAS DOCENTES</b>		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
<b>SISTEMA DE EVALUACIÓN</b>	<b>PONDERACIÓN MÍNIMA</b>	<b>PONDERACIÓN MÁXIMA</b>
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

<b>Denominación: Teoría de la Información Cuántica Avanzada</b>		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	1º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción</b>		

Esta asignatura se centra en el análisis de la capacidad de canales clásicos y cuánticos desde el punto de vista de la teoría de la información, en los regímenes de un solo uso (one shot) y asintótico. Se presentan y revisan los principales resultados de capacidad cuántica en sistemas punto a punto con y sin realimentación.

**Contenidos**

Canales cuánticos: unitarios mixtos, Weyl, Schur  
 Capacidad clásica de canales cuánticos: entanglement assisted, Holevo, información coherente  
 Capacidad cuántica de canal: T. de capacidad cuántica  
 No aditividad y super-activación  
 Feedback-assisted quantum systems  
 Entanglement distillation

**ACTIVIDADES FORMATIVA**

ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%

**METODOLOGÍAS DOCENTES**

Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías

SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

<b>Denominación: Códigos de Corrección de Errores</b>		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	2º	
<b>LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE</b>		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
<b>Descripción</b>		
La corrección de errores es básica en cualquier operación de cómputo, medida o comunicaciones de sistemas cuánticos. En esta asignatura se presenta la teoría de este tipo de códigos de control de errores, apoyada en la teoría algebraica clásica. Se revisan las principales construcciones y resultados en esta área.		
<b>Contenidos</b>		
Estabilizador: propiedades Construcciones a partir de códigos clásicos Cotas Hamming, Singleton, GV Códigos correctores asimétricos Decodificación Códigos entanglement-assisted Códigos de superficie y tóricos Implementaciones Computación codificada Aplicaciones en computación distribuida y comunicaciones		



ACTIVIDADES FORMATIVAS		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Redes de Comunicaciones Cuánticas		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	2º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
Elementos físicos, lógicos y de arquitectura de la Internet cuántica: entrelazamiento, repetidores y memorias, routers, arquitectura de sistemas, modos de operación y caracterización de las prestaciones		
Contenidos		
§Intercambio y destilación de entrelazamiento §Memorias cuánticas §Repetidores cuánticos: pares de Bell; repetidores basados en memorias, repetidores solo-fotónicos §distribución de entrelazamiento §Arquitectura de la Internet cuántica §Modos de servicio, interfaces y primitivas §Simulación §Computación cuántica distribuida		
ACTIVIDADES FORMATIVAS		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Comunicaciones Cuánticas Avanzadas		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	1º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
Descripción		
Esta asignatura describe y analiza la seguridad de canales de comunicaciones cuánticos, y presenta técnicas para la determinación de la tasa de generación de claves secretas en un sistema QKD.		
Contenidos		
§Demostraciones de seguridad: Shor-Preskill, basada en complementariedad y basada en entropía §Limitaciones a la tasa de generación de clave secreta §Hackeo cuántico y contramedidas §Device-independent QKD y QRNG		
ACTIVIDADES FORMATIVAS		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Comunicaciones Cuánticas Vía Satélite		
<b>CARÁCTER</b>	Optativa	
<b>ECTS</b>	3	
<b>DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre</b>	2º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
<b>CASTELLANO</b>	<b>GALEGO</b>	<b>Inglés</b>
Sí	Sí	Sí
Descripción		
El canal de espacio libre y las comunicaciones por satélite son lo suficientemente diferenciadas como para requerir un tratamiento específico. En esta asignatura se presenta el marco tecnológico de esta clase de sistemas, incidiendo en la integración con las redes cuánticas terrestres. La caracterización del canal libre se aborda en detalle.		
Contenidos		
§Introducción a las comunicaciones vía satélite §Principales arquitecturas para comunicaciones cuánticas; integración con la red cuántica terrena §Transmisores y receptores ópticos §Telescopios y óptica adaptativa §Sistemas de apuntamiento, adquisición y tracking §Caracterización de canal y balance de enlace §Principales plataformas experimentales para QKD vía satélite §Casos de uso.		

ACTIVIDADES FORMATIVAS		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Método expositivo. Método interactivo. Estudio de Casos. Trabajo autónomo. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Exámenes finales o parciales	20%	60%
Evaluación continua	20%	60%
Trabajos de extensión	0%	40%
Exposición oral y defensa de trabajos	0%	30%

Denominación: Laboratorio de Comunicaciones Cuánticas		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	2º	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
Medida y caracterización experimental de sistemas QKD comerciales. Medida y caracterización práctica de fuentes y detectores fotónicos.		
Contenidos		
Medida y caracterización experimental de sistemas QKD comerciales. Medida y caracterización práctica de fuentes y detectores fotónicos.		
ACTIVIDADES FORMATIVAS		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Docencia teórica	15	100%
Docencia práctica	10	100%
Trabajo personal del alumnado	50	0%
Total	75	33.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Tutela de trabajo práctico, Trabajo autónomo, Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Seguimiento	10%	40%
Evaluación de Informes	60%	90%

Denominación: Prácticas Externas I		
CARÁCTER	Obligatoria	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	2	

LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
El objetivo de esta materia es que el estudiante conozca la realidad laboral de una empresa o institución, adquiriendo experiencia y habilidades profesionales y aplicando en un entorno real los conocimientos adquiridos. La extensión de esta optativa está pensada para prácticas en empresas o instituciones que requieran de una duración de 70 horas.		
Contenidos		
Realización de prácticas en organizaciones empresariales o académicas Redacción de memoria final de actividades		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS	PRESENCIALIDAD (%)
Actividad en un entorno profesional	70	100%
Elaboración y presentación de informe	5	0%
Total	75	93.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Trabajo autónomo. Aprendizaje por proyectos. Tutorías.		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Seguimiento	10%	40%
Evaluación de Informes	60%	90%

Denominación: Prácticas Externas II		
CARÁCTER	Optativa	
ECTS	3	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	2	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
El objetivo de esta materia es que el estudiante conozca la realidad laboral de una empresa o institución, adquiriendo experiencia y habilidades profesionales y aplicando en un entorno real los conocimientos adquiridos. Esta asignatura está pensada para yuxtaponerse con Prácticas Externas I con el objetivo de poder acometer prácticas en empresas o institutos que ofrezcan convenios de 140 horas.		
Contenidos		
Realización de prácticas en organizaciones empresariales o académicas Redacción de memoria final de actividades		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS PRESENCIAIS	PRESENCIALIDAD (%)
Actividad en un entorno profesional	70	100%
Elaboración y presentación de informe	5	0%
Total	75	93.3%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Trabajo autónomo y supervisado. Aprendizaje por proyectos. Tutorías.		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Seguimiento	10%	40%

Evaluación de Informes	60%	90%
------------------------	-----	-----

Denominación: Trabajo de Fin de Máster		
CARÁCTER	TFM	
ECTS	15	
DESPLIEGUE TEMPORAL: 1º/2º cuatrimestre	2	
LENGUAS EN LAS QUE SE IMPARTE		
CASTELLANO	GALEGO	Inglés
Sí	Sí	Sí
Descripción		
En el TFM el alumno desarrollará una trabajo sobre el trabajo que el ámbito de las materias que está cursando, con un alcance que esté de acuerdo con el número de créditos de la materia.		
Contenidos		
Definición del proyecto: objetivos, alcance y planteamiento metodológico. Realización del proyecto: análisis del problema, aplicación de métodos teóricos y técnicas. Redacción del informe final. Presentación y defensa del trabajo realizado en acto público.		
ACTIVIDAD FORMATIVA	HORAS PRESENCIAIS	PRESENCIALIDAD (%)
Tutorización individual del alumno	10	100%
Realización del trabajo académicamente dirigido	340	0%
Elaboración de informe final	25	0%
Total	375	0.025%
METODOLOGÍAS DOCENTES		
Trabajo autónomo. Aprendizaje por proyectos. Tutorías		
SISTEMA DE EVALUACIÓN	PONDERACIÓN MÍNIMA	PONDERACIÓN MÁXIMA
Memoria de Trabajo Escrito	30%	80%
Defensa oral	30%	80%
Informe del tutor	30%	80%

#### 4.2. Descripción básica de las actividades y metodologías docentes.

En todos los casos en los que la actividad sea presencial, se recurrirá a medios de comunicación electrónica por videoconferencia para facilitar la docencia remota, la cuál será simultánea en los tres campus. Esto afecta en particular a las clases expositivas e interactivas, así como a las tutorías. Cuando esto no sea posible (prácticas de laboratorio) se adaptarán los horarios para minimizar la movilidad.

#### Actividades formativas:

*Docencia teórica:* clases expositiva basadas en el diálogo con los alumnos complementadas con el uso de medios audiovisuales.

*Docencia práctica:* seminarios y sesiones para la adquisición de competencias en base a la resolución de problemas, estudio de casos y realización de proyectos. Los proyectos, de calado más amplio, se pueden realizar de forma individual o en grupos de trabajo.

*Trabajo personal del alumno:* tiempo para el estudio de la materia dada y la resolución de ejercicios propuestos.

*Prácticas de laboratorio:* sesiones prácticas en aulas de informática o laboratorios docentes. Actividades dirigidas para adquirir habilidades experimentales y competencias en el uso de herramientas tecnológicas. Puede requerir la presentación oral de los informes de prácticas realizadas, las cuales, se pueden realizar de forma individual o en grupos de trabajo.

*Tutorías:* Esta actividad está destinada a una interacción personalizada entre el profesor y el alumno. Podrá ser solicitada en cualquier momento. Aplica en particular a asignaturas como “Prácticas externas” y “Trabajo de fin de máster”, en las que el estudiante goza de una cierta autonomía en su aprendizaje.

*Actividad en un entorno profesional:* el alumnado realizará prácticas en organizaciones y empresas reales, en donde se integrará en proyectos de interés económico. De esta forma adquirirá una perspectiva que le permita situar en un correcto lugar el aprendizaje realizado.

*Realización del trabajo académicamente dirigido:* se refiere al conjunto de actividades y tareas conducentes a la realización del Trabajo de Fin de Máster.

*Elaboración y presentación de informes:* hace referencia a los informes tanto de TFM como de prácticas externas. Será un elemento fundamental para la evaluación de la actividad.

#### **Metodologías docentes:**

*Método expositivo:* el profesorado presenta un tema al alumnado con el objetivo de facilitar un conjunto de información con alcance concreto. Esta metodología docente se aplicará a la actividad formativa “Clases de teoría”.

*Método interactivo:* de aplicación en las clases de problemas, incentiva la participación del estudiante, fomentando que busque y explique soluciones.

*Tutorías:* el profesorado atenderá al alumnado en sesiones de tutorías individualizadas dedicadas a la orientación en el estudio y la resolución de dudas sobre los contenidos y trabajos de la asignatura.

*Trabajo autónomo:* es de aplicación en todas las actividades formativas. El trabajo de preparación, estudio, realización de memorias, profundización de conceptos, forma parte de esta metodología.

*Tutela de trabajo práctico:* es de aplicación en la realización de trabajos de laboratorio, de fin de máster y prácticas externas. También en la prácticas de laboratorio. En todos los casos, el alumno tendrá bien claro el fin que se pretende alcanzar y los medios con los que cuenta.

*Estudio de casos:* se plantea al alumnado un escenario de trabajo, real o ficticio, que presenta una determinada problemática. El alumnado debe aplicar los conocimientos teórico-prácticos de la asignatura para buscar una solución a la cuestión o cuestiones planteadas. Como norma general, el estudio de casos se realizará en grupos. Los distintos grupos de trabajo expondrán y pondrán en común sus soluciones.

*Aprendizaje por proyectos:* se podrán plantear retos cuyo alcance requiera un esfuerzo multidisciplinar y transversal que, por lo general se realizará en grupo. Puede requerir que el estudiante aplique, además de competencias de índole técnica, competencias de gestión. El entorno natural para esta metodología son las prácticas externas y el trabajo de fin de máster.

Pero puede adoptarse en cualquier asignatura.

#### **4.3. Descripción básica de los sistemas de evaluación.**

En relación con el proceso de evaluación de los resultados de aprendizaje, para las asignaturas que conforman el plan de estudios del Máster Universitario objeto de la presente propuesta, cada asignatura aplicará algunos o todos de los siguientes sistemas de evaluación del alumnado:

*Exámenes finales o parciales:* engloba todo tipo de pruebas de evaluación tanto finales como parciales. También incluye tests en línea. Los exámenes finales se programarán con antelación.

*Evaluación continua:* incluye aspectos objetivos como la asistencia y la entrega y resolución de ejercicios y/o pruebas escritas, y otros más subjetivos a juicio del profesor, como la participación, la realización de buenas preguntas o cualquier detalle que permita juzgar el nivel de asimilación de los contenidos por parte del alumno.

*Trabajos de extensión:* son trabajos cortos sobre aspectos concretos tratados en la asignatura. Pueden realizarse en grupo y ser interdisciplinarios. Puede valorarse sólo su contenido o, también, su presentación y defensa.

*Evaluación oral y defensa de trabajos:* este sistema puede introducirse para complementar la realización de trabajos y evaluar la capacidad de comunicación y comprensión del tema sobre el que versa. En general se tratará de exposiciones cortas y abiertas a la clase.

*Seguimiento:* será de aplicación en situaciones en las que el trabajo personal autónomo sea una componente mayoritaria del esfuerzo de trabajo. Así en las prácticas de laboratorio se valorará la actitud dedicada y la laboriosidad. Igualmente el trabajo de “Prácticas externas” en empresas será sometido a seguimiento en base a informes de los propios alumnos o de las empresas. La evaluación que se sigue del seguimiento tiene una componente subjetiva y por eso representa un pequeño porcentaje del baremo.

*Informes de prácticas:* son los principales elementos de evaluación en las prácticas de laboratorio. Se darán pautas muy concretas para que tengan un formato estandarizado y profesional.

*Informes finales:* la evaluación de asignaturas como Prácticas externas y Trabajo de fin de máster se basa en la valoración de informes finales que describen los trabajos prácticos desarrollados en las actividades asociadas. Parte de esta evaluación se puede basar en una presentación oral del informe final realizada por el estudiante ante el profesorado o un tribunal de evaluación.

#### **4.4. Descripción básica de las estructuras curriculares específicas y de innovación docente.**

No aplica.

#### **Mecanismos de coordinación de la actividad docente (Guía ACSUG)**

La coordinación de la Actividad Docente corre a cargo de la *Comisión Académica del Máster en Ciencia y Tecnologías de Información Cuántica*.

En el seno de la *Comisión Académica de Máster* se nombrará una *Subcomisión de Coordinación de la Actividad Docente y Evaluadora*. Estará formada por el coordinador del máster y por dos personas del PDI de cada campus. Entre las actividades que acometerá esta subcomisión encontramos:

- Armonización de los horarios de impartición de las distintas asignaturas para vigilar la ausencia de incompatibilidades que impidan la asistencia síncrona.
- Supervisión de los mecanismos de comunicación que permitan una docencia remota en condiciones aceptables y con los estándares de calidad exigibles.
- Atención a las quejas y sugerencias de los alumnos.
- Atención a la diversidad de perfiles. Vigilancia de que no se producen disfunciones debidas a falta subsanable de formación previa.
- Coordinación de la actividad evaluadora, de sus estándares y de sus emplazamientos espaciales y temporales.

La subcomisión se reunirá de forma interna con una periodicidad mínima bimensual para tratar los temas que vayan surgiendo y proponer medidas de corrección y/o mejora que serán sometidas en la subsiguiente reunión de la *Comisión Académica de Máster*.

La Subcomisión de Coordinación de la Actividad Docente y Evaluadora procurará una armonización de los programas para una mejora equilibrada de la docencia. Para ello propondrá reuniones anuales con todo el profesorado para evaluar la marcha del proceso educativo y proponer actuaciones.

La *Comisión Académica de Máster* nombrará una *Comisión Local*, encargada de la gestión de problemas de ámbito localizado y que no afectan a otros campus participantes en el máster.



**5\_ PERSONAL ACADÉMICO Y DE APOYO A LA DOCENCIA**

**5.1 Descripción de los perfiles básicos del profesorado y de otros recursos humanos necesarios y disponibles para desarrollar adecuadamente el plan de estudios propuesto.**

Los recursos humanos son fundamentales para la adecuada puesta en marcha de la titulación. En la presente sección se muestra que dichos recursos, repartidos entre las tres universidades participantes en el máster, son claramente suficientes para una implementación exitosa del máster. En primer lugar se discute el personal docente e investigador necesario para la impartición de la docencia y la dirección de trabajos de fin de máster, y a continuación el personal de administración y servicios, imprescindible para la adecuada gestión y realización de tareas de apoyo.

**PDI - Resumen del profesorado asignado al título**

Se muestra en la siguiente tabla un esquema aproximado del profesorado que estará implicado en la docencia en la titulación, desglosado por universidades y categorías laborales. El cuadro ha sido realizado teniendo en cuenta muestras de interés en la futura colaboración en la docencia de esta titulación, pero debe ser considerado en cualquier caso como datos orientativos. Sólo se incluye profesorado con vinculación permanente. Es preciso tener en cuenta que, en su momento, puede ser conveniente la incorporación de profesorado sin vinculación permanente, especialmente de figuras de perfil investigadores en temas relacionados con el tema central del máster.

Categoría	Número	ECTS	Doctores/as	Acreditados/as	USC/UDC/ UVIGO	Sexenios	Quinquenios
Catedrático de Universidad	14	35	14	14	6/5/3	64	72
Titular de Universidad	21	50	21	21	10/2/9	68	79
Contratado Doctor	4	6,5	4	4	2/1/1	6	5
Catedrático de Escuela	1	1,5	1	1	1/0/0	4	5
<b>Total</b>	<b>40</b>	<b>93</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>19/8/13</b>	<b>142</b>	<b>161</b>

A la vista de estos números, se puede concluir que existe suficiente profesorado para la impartición de las asignaturas y para la dirección de trabajos de fin de máster. El número medio de ECTS a impartir por cada profesor/a implicado es inferior a tres, aún sólo teniendo en cuenta el profesorado con vinculación permanente.

**PDI - Detalle del profesorado asignado al título por áreas de conocimiento.**

A continuación, se da un breve resumen de las áreas de conocimiento del profesorado de la titulación. Nótese que la multiplicidad y diversidad de áreas permite afrontar con garantías los diferentes aspectos científicos y tecnológicos del máster así como aprovechar e integrar las capacidades docentes e investigadoras del SUG en información cuántica y aspectos relacionados. En particular, se incluyen doce áreas de conocimiento relacionadas con los ámbitos de la física, de las matemáticas, de la ingeniería de las telecomunicaciones y de la ingeniería informática, aportando capacidades, por tanto, para cubrir adecuadamente todos los aspectos de la docencia del máster. En cada caso se hará una estimación provisional del profesorado implicado dentro de cada área así como del número de ECTS que se les asignarán.

Área	Universiades	Nº Profs	Categorías	ECTS estimados	Quinquenios	Sexenios
Óptica	USC / UVIGO	7	2CU+4PTU+1CEU	16	32	27
Teoría de la Señal y Comunicaciones	UDC / UVIGO	5	2CU + 3 PTU	12	19	19
Física Teórica	USC / UVIGO	4	3CU + 1 PCD	12	22	19
Ingeniería Telemática	UVIGO	4	1CU + 3PTU	11	20	15
Arquitectura y Tecnología de Computadores	USC / UDC	3	1CU+ 2PTU	9	8	8
Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial	UDC	3	1CU + 1PTU + 1PCD	9	6	6
Física Atómica y Molecular	USC	3	1CU+1PTU+1PCD	6	10	9
Física de la Materia Condensada	USC	3	3 PTU	6	16	13
Matemática Aplicada	UDC / UVIGO	2	1 CU + 1 PTU	3	10	8
Electromagnetismo	USC	2	2 PTU	3	5	6
Análisis Matemático	USC	2	1 CU + 1PCD	3	5	5
Geometría y Topología	UDC	1	1 CU	3	3	3
Estadística e Investigación Operativa	UDC	1	1CU		5	4

**PAS - Otros recursos humanos necesarios y disponibles para la adecuada implementación de la titulación:**

Las tres universidades cuentan con personal de administración y servicios que desempeñan su labor facilitando toda la actividad docente, investigadora y de coordinación de sus instituciones. Dicho personal es suficiente para garantizar el buen funcionamiento del máster y un adecuado servicio a su profesorado y estudiantado. Incluye los siguientes perfiles, entre otros:

- Personal administrativo (incluyendo área académica y asuntos económicos)
- Personal técnico de laboratorio
- Personal del área de informática
- Personal de biblioteca
- Personal de conserjería.

**5.2 Méritos docentes (sólo en el caso del profesorado no acreditado)**

La docencia de este máster se sustentará en profesorado doctor con vinculación permanente, que por tanto está debidamente acreditado al menos a su categoría correspondiente. Sin perjuicio de este hecho, es posible que en materias puntuales o para la dirección de trabajos de fin de máster se pueda contar con la participación de otro personal postdoctoral sin vinculación permanente con experiencia en los temas tratados en el máster. Dado el carácter coyuntural de

esta colaboración, no resulta posible realizar un análisis de los méritos docentes de dicho personal.

**5.3 Méritos investigadores (sólo en el caso del profesorado no doctor)**

No se prevé docencia de profesorado no doctor en el máster.

**5.4 Perfil del profesorado necesario y no disponible y plan de contratación**

No es precisa la contratación de profesorado para la docencia específica en este máster.

**5.5 Perfil básico de otros recursos de apoyo a la docencia necesarios**

No se prevén otras necesidades de recursos humanos de apoyo a la docencia.

## 6\_ RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE: MATERIALES E INFRAESTRUCTURALES, PRÁCTICAS Y SERVICIOS

### 6.1 Recursos materiales y servicios

Los centros que asumirán la docencia del Máster en Ciencia y Tecnologías de Información Cuántica son la **Facultade de Física de la USC, Escola de Enxeñaría de Telecomunicación de UVIGO** y la **Facultad de Informática de la UDC**. Los tres centros poseen medios materiales y servicios que se ajustan de forma óptima a este Máster en sus orientaciones fundamentales: Física de la Información Cuántica, Comunicaciones Cuánticas y Computación Cuántica. Se describen a continuación dichos materiales y servicios y su adecuación al título.

#### **-FACULTADE DE FÍSICA (USC)**

Para impartir el Máster en Ciencia y Tecnologías de Información Cuántica la Facultad de Física de la USC dispone de medios materiales y servicios que se ajustan a las necesidades del Máster, desde los espacios docentes, el equipamiento científico-técnico hasta la dotación de nuevas tecnologías (aulas dotadas de medios audiovisuales como ordenadores, proyectores, conexión a Teams-USC, etc.) y demás exigencias del Espacio Europeo de Educación Superior.

#### **ESPACIOS DOCENTES Y EQUIPAMIENTO**

Una relación detallada de Aulas y Laboratorios puede ser consultada en la siguiente dirección electrónica: <https://www.usc.gal/gl/centro/facultade-fisica/equipamentos>. De forma resumida, la Facultad de Física cuenta con los siguientes espacios docentes: 11 Aulas, 1 Aula Magna, 2 Seminarios, 2 Aulas de Informática y 10 Laboratorios.

Además, todos los locales son accesibles para discapacitados ya que la Facultad está equipada con rampas elevadoras para facilitar el acceso a los distintos niveles y también dispone de baños para discapacitados en la planta baja.

#### **LABORATORIOS Y EQUIPAMIENTO**

A efectos de dar buen cumplimiento a la parte práctica de la titulación de CTIC, se dispondrá además de los espacios de docencia expositiva y de pizarra, antes indicados, de los siguientes Laboratorios con sede en el centro y en otras dependencias de esta Universidad orientados a prácticas y trabajos de Máster y Doctorado.

#### **Laboratorio de Fotónica y Óptica Cuántica**

- Sistemas de metrología óptica (Fuentes láser, interferómetros, espectrómetros, luxómetros, cámaras CCD, sistema de detección heterodina, elementos ópticos, fotodetectores, cámaras CCD, microscopios ópticos, Microscopia DIC, etc).
- Sistemas de caracterización de estructuras fotónicas integradas (Láseres, acopladores prisma-guía, plataformas giratorias, etc).
- Sistemas de caracterización de fibras ópticas y acoplamiento (acopladores Láser-fibra multimodo y monomodo, fotodetectores, microscopios, etc.).
- Sistemas de medida de propiedades electro-ópticas y magneto-ópticas de materiales (Láseres, materiales electro-ópticos y magneto-ópticos, moduladores, polarizadores, etc).
- Equipamiento para la síntesis, deposición y modificación por intercambio iónico de materiales ópticos (reactivos químicos, substratos ópticos, hornos y estufas, centrífuga,

etc).

- Sistema SPDC para generación y detección de estados cuánticos bifotón factorizados y entrelazados (cristales BBO, APDs, fibras ópticas, ...)

#### **Laboratorio de Física de Bajas Temperaturas y Superconductividad:**

- Magnetómetro SQUID (Quantum Design MPMS-XL), sistema de medidas de propiedades físicas PPMS (Quantum Design). (En colaboración con los servicios generales RIAIDT; acuerdo de usuario preferente)
- Sistemas de crecimiento de capas delgadas (nanométricas) para superconductores de alta y baja  $T_c$ , y otros sólidos avanzados.
- Litografía óptica y electrónica
- Microscopía: óptica, electrónica de barrido (SEM) y de fuerza atómica (AFM).
- Sistemas de implementación de microcontactos eléctricos por ultrasonidos (1 puesto).
- Sistemas de medición de propiedades de transporte eléctrico y térmico: resistividad (dc/ac y en pulsos de nanoseg), magnetorresistencia (16T), efectos termoeléctricos, y de propiedades magnéticas.
- Sistemas criogénicos (de nitrógeno 77K; de 4He de flujo y cerrados 4.2K; de 3He sub-Kelvin) y de alto vacío.

**Otros Laboratorios:** Laboratorio de Física del Estado Sólido con un Difractómetro de rayos X Rigaku Miniflex II. Laboratorio de Física Nuclear y de Partículas con Montaje de sistemas de detectores y sistemas de estudio de atenuación de la radiación.

#### **Unidad de Microscopía Electrónica. Servicios Generales de la USC:**

-Microscopio electrónico de transmisión Phillips CM-12, Microscopio electrónico de transmisión Libra 200 FE OMEGA.

#### **Laboratorios de los Servicios Generales de la USC:**

Espectrómetro de FT-IR, IFS-66v (Bruker).

**Centro de Proceso de Datos (CPD):** constituido por unas 1600 CPUs distribuidas en racks y situadas en una sala acondicionada en el Edificio Monte de la Condesa. Dispone del software científico usado en Física de Altas Energías y dan servicio a unos 80 usuarios locales, unidos a usuarios internacionales a través del GRID del que el CPD es Tier-2. Los estudiantes del Máster tendrán acceso al clúster cuando el desarrollo de las materias así lo requiera.

#### **OTROS ESPACIOS Y SERVICIOS**

En cuanto a otros espacios de trabajo y de servicio para los alumnos del Máster, se señalan los siguientes:

#### **Biblioteca**

La Biblioteca Intercentros de las Facultades de Física y Óptica e Optometría está ubicada en la planta baja de la Facultad de Física con 144 puestos de lectura. Tiene dos terminales para acceso al catálogo automatizado, fotocopidora y PCs con acceso a Internet. Los fondos bibliográficos están divididos en: libros de alumnos y libros de investigación, ambos en acceso directo. La biblioteca es un punto de acceso al servidor de la Biblioteca Universitaria, desde donde se pueden consultar todos los libros electrónicos, publicaciones periódicas y bases de datos adquiridas por la Universidad y por BUGALICIA. En este sentido, cabe citar las bases de datos de Wok-Web of Knowledge, SciFinder Scholar, Science Direct, Springer Link, Nature, IEEE Conference Proceedings and Standards.

**Sala de Juntas**, con capacidad para 32 plazas.

**Aulas de Informática** con el equipamiento correspondiente.

**Aula Magna**, con capacidad para 100 personas.

**Aulas de videoconferencia y webconferencia**

**Red Wifi** en todos los locales de la Facultad con acceso para estudiantes y docentes.

**Cafetería**

## **-ESCOLA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN (UVIGO)**

En UVigo, las actividades docentes del Máster en Ciencia y Tecnologías de Información Cuántica (MCTIC) se llevarán a cabo principalmente en la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación (EET) aunque podría contarse puntualmente con recursos también de la Escuela de Ingeniería Industrial (EEI), dos edificios físicamente conectados. La EET y la EEI cuentan con recursos materiales y servicios adecuados y suficientes para el desarrollo de las actividades formativas planificadas. Existen además una serie de rutinas en colaboración directa con la Unidad Técnica de la Universidad orientadas a garantizar el mantenimiento y operatividad de estos recursos. Las instalaciones y los edificios cumplen con los requisitos de accesibilidad que marca la normativa vigente

### **ESPACIOS DOCENTES Y EQUIPAMIENTO**

La **EET** tiene en la actualidad alrededor de 800 estudiantes repartidos entre las diferentes titulaciones de grado y máster. Cuenta con 15 aulas con capacidades entre 15 y 240 alumnos, equipadas todas ellas con cañón de vídeo, ordenador con conexión a Internet, cámaras de grabación y micrófono de ambiente para la transmisión en *streaming*; 6 seminarios para docencia en grupos pequeños; 10 laboratorios informáticos dotados de 20 puestos de trabajo con ordenadores; 3 laboratorios instrumentales de electrónica analógica y digital, con 20 bancos de trabajo cada uno; 2 laboratorios instrumentales de radiofrecuencia, también con 20 puestos de trabajo cada uno; un laboratorio de instrumentación y optoelectrónica, que dispone asimismo de una pequeña sala semi-oscura y otra oscura, con espacio para hasta 24 alumnos; dos instalaciones especiales: una cámara anecoica de radiofrecuencia y otra de sonido, preparadas para medidas, ensayos y calibración de alta calidad; y dos aulas dotadas de un sistema de videoconferencia profesional, con bancada de asientos cableada para los estudiantes.

La impartición de las titulaciones actuales en el centro requiere un máximo de 9 aulas simultáneas, por lo que existe disponibilidad y espacio suficientes para acoger la impartición del Máster en CTIC con la adecuada organización de horarios.

Podría contarse puntualmente con recursos asociados a otros centros. En particular, hay profesorado del Departamento de Física Aplicada adscrito a la Escuela de Ingeniería Industrial (adyacente a la EET) y a la Escuela de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio (campus de Ourense). Los recursos asociados a la docencia e investigación en dichos centros podrían ser útiles para algunas actividades y en particular para la dirección de TFM.

### **LABORATORIOS Y EQUIPAMIENTO**

Para la formación práctica, se dispone de un laboratorio equipado con material optoelectrónico básico y de numerosos laboratorios informáticos y de computación, con capacidad y software numérico y de simulación variados, tanto comercial como software libre. La infraestructura informática está mantenida por el personal del [SIATEC](#) (Sistemas Informáticos del Ámbito Tecnológico), un servicio que es común a ambos centros y a la Escuela de Ingeniería de Minas y Energía (EME).

La EET promueve también el trabajo de los estudiantes con sus propios ordenadores y ofrece dos espacios, con cableado eléctrico y conexión a Internet de alta capacidad, donde los alumnos pueden trabajar libremente en modo BYOD (*Bring Your Own Device*).

Adicionalmente, se cuenta con el uso compartido de algunos laboratorios dependientes del Departamento de Tecnología Electrónica, sitios físicamente en las EEI y la EME de la Universidad de Vigo. Todos ellos cuentan con las dotaciones instrumentales necesarias para impartir la docencia prevista.

A continuación se presenta una relación más detallada de los laboratorios con los que cuenta la EET:

### **Laboratorio LA1**

Ordenadores tipo PC con software específico y hardware adicional (osciloscopios, fuentes de alimentación, generadores de señal, ...). Conexión a internet. Pizarra y cañón de vídeo. La docencia de este laboratorio se centra en las asignaturas de procesado de señal. Las asignaturas concretas se determinarán en función de la organización académica del centro. Hasta 32 alumnos

### **Laboratorios T105, T215, LA2, LA3, LA4, LA5, LA6, LA7 y LB2**

Ordenadores tipo PC con el software específico correspondiente a las asignaturas: diseño y análisis de circuitos y dispositivos, simulación de instrumentación (instrumentación virtual), análisis de coberturas, procesado de imagen y sonido, etc. Conexión a internet. Pizarra y cañón de vídeo. En estos laboratorios se podrán impartir prácticas de tipo simulación relacionadas con asignaturas del ámbito de Telemática, Sistemas de Telecomunicación, Electrónica y Sonido e Imagen. Las asignaturas concretas se determinarán en función de la organización académica del centro. Desde 24 hasta 42 alumnos.

### **Laboratorio LB1, LB3, LB4**

En LB1 se cuenta con bancos de trabajo con instrumentación electrónica y optoelectrónica. Incluye una pequeña sala oscura y otra semioscura. Este laboratorio tiene aplicación en asignaturas de circuitos ópticos y de radiofrecuencia. La adscripción de asignaturas se determinará en función de la organización académica del centro. Hasta 24 alumnos

En el LB3 Ordenadores tipo PC con el software y hardware adecuados para trabajar con microprocesadores, FPGAs y circuitos electrónicos en general. Conexión a internet. Pizarra y cañón de vídeo. Este laboratorio tiene aplicación en asignaturas de Electrónica. La adscripción de asignaturas se determinará en función de la organización académica del centro. Hasta 24 alumnos

Finalmente en el LB4 se cuenta con antenas y equipos de medida; bancos de microondas; ordenador tipo PC para diseño de placas de circuitos impresos; osciloscopios; fuentes; generadores de señal; analizadores de espectros; medidores de campo; ... Conexión a internet. Pizarra y cañón de vídeo. Este laboratorio es adecuado para asignaturas del ámbito de Radio. La adscripción de asignaturas se determinará en función de la organización académica del centro. La mayor parte de la instrumentación de estos laboratorios está disponible por octuplicado, lo que permite el trabajo en grupos de laboratorio reducidos. Hasta 24 alumnos.

### **Laboratorio LD01, LD08, LD09**

En el LD01 se cuenta con ordenadores tipo PC con el software específico para diseño y simulación de circuitos electrónicos. Instrumentación y equipos de medida para trabajar con circuitos electrónicos, tanto analógicos como digitales. Conexión a internet. Pizarra y cañón de vídeo. Este laboratorio tiene aplicación en asignaturas de Electrónica básica. La adscripción de asignaturas

se determinará en función de la organización académica del centro. Hasta 24 alumnos El LD08 tiene una sala de iMacs. Conexión a internet En este laboratorio se imparten sobre todo asignaturas de matemáticas. Pizarra y cañón de vídeo. Hasta 26 alumnos Finalmente el LD09 cuenta con: ordenadores tipo PC; conexión a internet; pizarra y cañón de vídeo. En este laboratorio se imparten sobre todo asignaturas de matemáticas. Hasta 26 alumnos.

### **Laboratorio de medidas radioeléctricas**

Espacio singular con dotación específica para realizar medida y análisis de señales radioeléctricas (hasta 40GHz) y de compatibilidad electromagnética Investigación. Demostraciones a grupos reducidos, trabajos de fin de grado

### **Laboratorio NORTEL**

Dotación donada por NORTEL para usos demostrativo y docente, con equipamiento para redes inalámbricas y móviles. Demostraciones a grupos reducidos, trabajos de fin de grado

Adicionalmente, se cuenta con el uso compartido de algunos laboratorios dependientes del Departamento de Tecnología Electrónica, sitios físicamente en las E.T.S.I. de Industriales y E.T.S.I. de Minas de la Universidad de Vigo. Todos ellos cuentan con las dotaciones instrumentales necesarias para impartir la docencia prevista. En estos laboratorios el uso estaría compartido con la docencia de Física y Electrónica en las otras titulaciones de Ingeniería de la Universidad de Vigo.

La presencia de un aula con capacidad para 240 alumnos puede parecer excesiva en el planteamiento del EEES, pero su mantenimiento resulta de interés principalmente para la realización de exámenes, o pruebas de seguimiento.

Además de la docencia en el propio Centro, la propuesta de Plan de Estudios contempla la posibilidad de que los alumnos realicen practicas externas optativas, así como la movilidad de los estudiantes. En este sentido, la Comisión Académica del Máster velará para que las empresas e instituciones con las que se firmen los correspondientes convenios de colaboración dispongan de los medios materiales y humanos necesarios para la consecución de los objetivos fijados, y supervisará las actividades que los alumnos realicen para garantizar que cumplen su función de complementar la formación.

## **OTROS ESPACIOS Y SERVICIOS**

### **Biblioteca**

Cuenta con depósito de libros, software, fondos fonográficos y videográficos; servicio de préstamo, sala de lectura, ordenadores conectados a internet. Consulta de fondos, lectura y estudio, acceso a internet. 288 puestos de lectura.

### **Salas de videoconferencia**

Espacios de capacidad media con equipamiento específico para realizar videoconferencia. Disponen de sillas y mesas para los alumnos. Docencia en los cursos de máster asociados al Centro. Conferencias. 3 salas con capacidades de entre 25 y 45 alumnos.

### **Sala multimedia**

Aula dotada de sistema audiovisual, con posibilidad de videoconferencia y ordenadores con capacidades multimedia. Dotada por el Centro Multimedia de Galicia, se usa habitualmente para los cursos y actividades propias del mismo. 34 puestos.

### **Salas virtuales**

Como apoyo a la actividad docente, la Universidad de Vigo utiliza la plataforma de



teleconferencia [Moovi](https://moovi.uvigo.gal) (<https://moovi.uvigo.gal>) y el sistema propio de videoconferencia [CampusRemoto](https://campusremoto.uvigo.gal) (<https://campusremoto.uvigo.gal>). En este último existen gemelos digitales de todas las aulas y espacios docentes de la EET y resto de centros de la Universidad de Vigo, al igual que de los despachos del profesorado. Eso significa que están disponibles en la infraestructura de videoconferencia alrededor de 50 salas virtuales independientes para docencia o reuniones, más las correspondientes salas virtuales de cada uno de los profesores que participan en el Máster, que pueden emplearse para tutorías individuales o en grupo, clases online síncronas o cualquier otra actividad docente síncrona.

### **Sala Informática**

Aula con 40 puestos dotados con ordenadores tipo PC. Abierta en el horario establecido por la dirección del centro. Disponible para el uso de los alumnos para las actividades que consideren oportunas. 40 puestos.

### **Salón de grados**

Espacio dotado de capacidad de proyección con cañón de vídeo. Dispone de sillones con mesa auxiliar para escribir. Presentación y defensa de tesis doctorales y trabajos de fin de grado. Conferencias y mesas redondas. 80 plazas.

### **Salón de actos**

Espacio grande dotado con sistemas de sonido y proyección de vídeo. Dispone de sillones con pala auxiliar para escribir. Conferencias y mesas redondas. Conciertos y proyecciones cinematográficas. Actos protocolarios. 300 plazas.

### **Sala de Juntas**

Sala amplia con mobiliario diseñado para reuniones de grupos numerosos. Dispone de pantalla para proyección. Reuniones de la Junta de Escuela y de la Comisión Permanente del Centro. Alrededor de 75 plazas Salas de reuniones.

### **Salas de pequeñas dimensiones con mesas y sillas movibles.**

Reuniones de comisiones de trabajo u otras actividades numerosas. 2 salas con capacidad de entre 15 y 20 personas.

### **Sala de audición y cámara semianecoica acústica**

Instrumentos de medida y análisis de señales acústicas, simulación de acústica de salas, transmisión de sonido en edificios, acústica ambiental y edición de audio Investigación. Demostraciones a grupos reducidos, trabajos de fin de grado.

### **Servicio de cafetería y comedor**

El Centro dispone de un servicio de cafetería en condiciones de cesión por parte de la Universidad a una empresa externa. Adicionalmente, compartido con la Escuela de Ingeniería de Minas y Energía, se dispone de un servicio de comedor de tipo autoservicio.

## **-FACULTAD DE INFORMATICA (UDC)**

Todas las infraestructuras y los medios materiales que se indican a continuación observan los criterios de accesibilidad universal y diseño para todos, según lo que está dispuesto en la Ley 51/2003, del 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad.

### **ESPACIOS DOCENTES Y EQUIPAMIENTO**

La Facultad de Informática (FI) de la Universidad de A Coruña cuenta con el potencial necesario, en términos de equipamiento e infraestructuras, para garantizar una docencia de calidad adaptada a las exigencias del EEES. Además, todas las aulas cuentan con cañón de proyección y la mayoría con un ordenador en el puesto del profesor/a.

En la actualidad, se dispone de los siguientes espacios y servicios: 4 aulas para docencia expositiva con capacidad para 120 estudiantes cada una. 8 aulas para docencia expositiva con capacidad para 60 estudiantes cada una. Una de ellas se usa como aula de trabajo práctico y colaborativo para el alumnado. 4 aulas para docencia expositiva e impartición de clases prácticas con infraestructura wifi con capacidad para 40 estudiantes.

Aunque estos espacios son adecuados para estudios de Máster se cuenta con 3 aulas grandes y 3 seminarios específicos donde se imparten estudios de master, y además 5 seminarios con capacidad para 15 estudiantes cada uno.

Hay además un Aula especial para exámenes que se refuerza con otros espacios del centro en el período correspondiente, y distintas zonas de estudio.

Por último, hay una sala equipada con un equipo de videoconferencia.

### **LABORATORIOS Y EQUIPAMIENTO**

Laboratorios con ordenadores (4, con capacidad total para 110 estudiantes): El equipamiento aquí disponible consta de equipos PCs de DELL y Lenovo.

Laboratorios WiFi (9, con capacidad total para 300 estudiantes): esta modalidad permite la utilización de los ordenadores portátiles del alumnado en el entorno de docencia.

10 laboratorios para impartición de clases prácticas: estos laboratorios cuentan con una media de 25-30 puestos equipados con ordenadores con capacidad suficiente para el desarrollo de prácticas de las diferentes asignaturas.

1 laboratorio para estudiantes realizando su proyecto fin de grado o máster.

Asimismo se cuenta con espacios de investigación que de forma puntual pueden ser usados en la docencia teórica o práctica del Máster: 12 salas de reuniones para grupos de investigación, salas de reuniones comunes con capacidad para 10 personas. Hay además 10 laboratorios de investigación con capacidades entre 15-20 puestos. Finalmente, se cuenta con 1 aula de grado para la defensa de Proyectos de Fin de Carrera, lectura de Tesis Doctorales, presentación de trabajos, charlas..., con aforo de 40 personas.

En definitiva la Facultad de Informática cuenta con espacios docentes adecuados y suficientes para impartir la titulación de máster. Algunos espacios grandes han sido divididos para acomodar la docencia expositiva o práctica de grupos más reducidos, dotándolos de mayor flexibilidad. Con la estructura del plan de estudios en el que un estudiante debe asistir a clases de docencia expositiva, de prácticas y de tutoría, en cada grupo de materias cuatrimestrales, y coexisten 5 menciones en el título de Grado en Ingeniería Informática junto al Grado en Ciencia e Ingeniería de Datos, el horario elaborado por el centro (que determina la utilización de espacios) debe evitar incompatibilidades, asegurar la máxima ocupación del tiempo del estudiante en actividades docentes y utilizar al máximo los mejores espacios disponibles. En este sentido, las aulas/laboratorios más grandes se han asignado lógicamente a los primeros cursos, mientras que los más pequeños a los últimos cursos.

### **OTROS ESPACIOS Y SERVICIOS**

A continuación se detallan otros espacios y servicios. Se presta especial atención al Servicio de Informática ofrecido por la Facultad desde su Centro de Cálculo.

### Servicio de informática

El Centro de Cálculo de la Facultad de Informática (CeCaFI) es el encargado de gestionar todos los servicios de docencia relacionados con las prácticas tanto a nivel de recursos hardware como software, coordinados por el Vicedecano de Recursos Informáticos. La nueva RPT de la universidad conllevó una reorganización de servicios que hizo que el CeCaFI dejase de depender del centro y estar dedicado solo a la docencia de los títulos y pasase a formar parte de la Unidad de Apoyo a la Docencia que sirve a toda la universidad. Fruto del cambio, el CeCaFI redujo su personal dedicado al centro a 4 personas.

Este servicio tiene actualmente más de 1500 usuarios entre estudiantes, personal de administración y servicios y profesores. Se encarga de gestionar los mas de 10 laboratorios de prácticas de la FIC, con más de 100 puestos de trabajo. En cuanto a los espacios disponibles, se distinguen tres tipos:

- Acceso WiFi en la FIC: La cobertura WiFi en nuestro centro es total, de forma que será posible acceder a todos los recursos de docencia desde cualquier punto del edificio.

- Todos los laboratorios (con una capacidad de entre 20-35 puestos) disponen de sistema de aire acondicionado, proyector de vídeo y pizarra.

- En relación al software instalado, disponemos de un programa de actualizaciones, con dos grandes hitos en cuanto a solicitudes por parte de los docentes, previos al inicio de cada uno de los cuatrimestres. Periódicamente, todo el software es revisado y actualizado, aplicándose además las mejoras recomendadas en los sistemas operativos utilizados actualmente (Windows, Linux).

Además del equipamiento en los distintos laboratorios, se dispone de diferentes servicios centralizados a través de los servicios informáticos de la UDC, como son:

- Sistema firewall CheckPoint para el manejo de las diferentes redes de docencia y gestión de las licencias en los diferentes laboratorios en función de la docencia planificada.

- Licencia para usuarios ilimitados de accesos mediante red privada virtual (VPN), lo que permite el acceso completo desde Internet a todos los recursos de docencia para la realización de prácticas.

- Servidores de red para DHCP, DNS y autenticación Active Directory y LDAP.

- Entorno de virtualización VMWare Infrastructure que proporciona soporte para diferentes servicios de los anteriormente mencionados.

- Servidores www/svn (.fic.udc.es) de la Facultad de Informática.

- Repositorio institucional: <https://udcgal.sharepoint.com/sites/repositoriofic>

Asimismo la Red wifi cuenta con cobertura en todos los campus de la UDC e integrada en EduROAM (en este caso gestionada desde el Servicio de Informática y Comunicaciones de la UDC).

Toda esta infraestructura informática de apoyo a la docencia ofrece además una oportunidad de adquisición de experiencia práctica a nuestros estudiantes, a través de una oferta anual de becas de colaboración en las tareas de instalación y mantenimiento de las herramientas software y hardware, que históricamente ha tenido una gran acogida por parte de nuestro alumnado.

**Salón de actos** con un aforo para 500 personas.

**Biblioteca** de 716 m2 de superficie con capacidad para 205 puestos de lectura, 36.400 volúmenes, 51 publicaciones periódicas en papel, tres ordenadores para consultas públicas, dos

lectores/reproductores diversos (microformas, vídeo, etc.) y acceso a los recursos electrónicos de la Universidad.

Todos los espacios cuentan con conexión física a la red de datos y cobertura de red inalámbrica (WIFI) de la Universidad, desde la cual es posible acceder a los servidores de prácticas de la Facultad, gestionados por el personal del Centro de Cálculo.

**Sala de juntas** con capacidad para 30 asistentes

**Espacios administrativos** (administración, conserjería, decanato, vicedecanato y negociado de asuntos económicos)

**Otros Locales:** Local de representantes de estudiantes, local de asociaciones y almacenes.

**Servicio de reprografía**

**Cafetería**

## **6.2 Procedimiento para la gestión de las prácticas**

La docencia de la titulación puede verse completada mediante los programas de movilidad nacional e internacional, o con prácticas en empresas que se incorporen como asignaturas optativas. Para llevar a cabo estas actividades, la *Comisión Académica del Máster (CAM)* nombrará una *Comisión de Prácticas Externas* formada por el Coordinador de la CAM, y un docente de cada campus. Las labores de dicha comisión serán:

- El establecimiento de convenios con diferentes empresas y entidades para la realización de prácticas externas adaptadas a los objetivos formativos de la titulación.
- La adaptación de la demanda de prácticas externas a la oferta de plazas mediante un proceso de selección en el que se tendrá en cuenta el expediente del alumno y la adecuación de la orientación al perfil de la plaza.
- La evaluación de los informes de seguimiento y realización de las prácticas externas por parte de los alumnos que se acojan a ellas.
- La resolución de conflictos y problemas que surjan en el marco de esta actividad.

La normativa general que regula este tipo de docencia está recogida por una parte en el Real Decreto 592/2014, de 11 de julio, por el que se regulan las prácticas académicas externas de los estudiantes universitarios.

Asimismo, las Universidades gestionan las prácticas conforme a normativas y reglamentos específicos. Así en la USC, UVIGO y UDC se cuenta con:

- [Reglamento de Prácticas Académicas Externas de la Universidade de Santiago de Compostela](#) (acuerdo de CG 29/07/2015)
- [Reglamento de Prácticas Académicas Externas de la Universidade de Vigo](#) (acuerdo de CG de 24/05/2012). La gestión interna de todas las prácticas académicas, para todas las titulaciones de la EET, está centralizada en una única persona, el/la coordinador/a de prácticas, que supervisa la formalización de los convenios, la casación de oferta y demanda y la gestión académica de los estudiantes.
- [Reglamento de Prácticas Académicas Externas de la Universidade de A Coruña](#) (Aprobado no Consello de Goberno do 23 de abril de 2013 e modificado polos acordos do Consello de Goberno do 27/02/2015, 29/09/2015, 29/05/2018 e 04/06/2019).
- SGIC de los centros donde se regula en el proceso de Desarrollo de las enseñanzas la gestión *procedimiento para la gestión de las prácticas externas*. (USC, Facultade de Física ([procedimiento PC-04](#)); UVigo, [Escola de Enxeñaría de Telecomunicación](#) (procedimiento DO-0204-P1); UDC, Facultade de Informática).

-En lo que respecta a empresas que potencialmente pueden estar relacionadas con el sector de la Física de la Información cuántica (materiales, dispositivos, detectores, fuentes, ...) y que mantienen convenios con la Facultad de Física son: FACTORIA DE SOFTWARE MULTIMEDIA, SDG GROUP; CETAG; CESGA; INL; ITERA; DELTA VIGO; AIMEN; MECWINS; SOFTTEK; LABs DE INVESTIGACIÓN-USC. Hay otras empresas con las que se prevé un posible convenio. ENXENIA; SENSIA; INDO; SPHERE ULTRAFast PHOTONICS, RADIANTIS; GRADIAN; TELEVES; CITIUS; INSTITUTO TECNOLÓGICO DE GALICIA (ITG); ITMATI; INDRA SOLUCIONES TECN INFORMACION; ICFO; NEC; IGFAE; IMATUS; ...

-En lo que respecta a empresas del sector de las Telecomunicaciones, la EIT y/o la UVIGO, mantiene convenios con las siguientes entidades para realizar prácticas externas, muchas de ellas con gran potencialidad en el campo de las comunicaciones cuánticas: GRADIAN, CTAG, AtlanTTIC, INDRA, Telefónica, R; VODAFONE; WIRELESS GALICIA; SATEC; TELEVÉS; SPICA; SONEN; MACRAUT INGENIEROS; HÉRCULES CONTROL; BITOCEANS; SOCIAL BLUE MARKETS; IMAXDI; GRADIAN; TELTEK; 2MARES; CTAG; CROSSNET; IMATIA; COREMAIN; TEGNIX; ULTREIA; INSA; ENCE; REFLEXION ARTS; SERVICEL; IGALIA; ES POSSIBLE; ACADEMIA POSTAL; BLUSENS; CHUVI (COMPLEJO HOSPITALARIO UNIVERSITARIO DE VIGO); ESMERARTE; QUOBIS; SOCIALWIRE LABS; STREAMING GALICIA; QUBITIA; ITELSIS; TECNOCOM; FEMXA.

-En lo que respecta a empresas que potencialmente pueden estar relacionadas con el sector de la Computación clásica, y potencialmente computación cuántica, la Facultad de Informática de la UDC mantienen convenios con: ALDABA SERVICIOS PROFESIONALES, S.L.; IMATIA INNOVATION, S.L.; INETUM ESPAÑA, S.A.; APPENTRA SOLUTIONS, S.L.; INNOGANDO, S.L.; ATOS IT SOLUTIONS AND SERVICES IBERIA, S.L.; BALIDEA CONSULTING & PROGRAMMING, S.L.; INSTITUTO TECNOLÓGICO DE GALICIA (ITG); BEFRESH STUDIO; INYCOM; BETMEDIA SOLUCIONES,S.L.; LUCKIA GAMING GROUP, S.A.; BIOPRANAWORLD S.L.; MERLIN SOFTWARE, S.L.; MESTRELAB RESEARCH, S.L.; NOMASYSTEMS, SLU; CINFO, CONTENIDOS INFORMATIVOS PERSONALIZADOS, S.L.; ODEN DESARROLLO DE SISTEMAS Y APLICACIONES, S.L.; CORUNET, S.L.; ORIENTEED, S.L.; DATASPARTAN ESPAÑA, S.L.; QUBIOTECH HEALTH INTELLIGENCE, S.L.; DENODO S.L.U.; R CABLE Y TELECABLE TELECOMUNICACIONES, SAU; DILEMMA SOLUTIONS, S.L.; REDNEST, S.L.; DIMENSION DATA ESPAÑA, SLU; SDG CONSULTING ESPAÑA SAU; ECOMANAGEMENT TECHNOLOGY, S.L.; SITUM TECHNOLOGIES, S.L.; EDNON, S.L.; OLIDQ GLOBAL, S.A. EGO GENOMICS; TARLOGIC SECURITY, S.L.; EMETEL SISTEMAS, S.L.; TECNOLOGÍAS PLEXUS, S.L.; EMPATHY SYSTEMS CORPORATION, S.L.; TELECON GALICIA, S.A. ENXENIO, S.L.; TORUS SOFTWARE SOLUTIONS, S.L.; FLYTHING TECHNOLOGIES S.L. ; TRILEUCO SOLUTIONS, SLU; FUNDACIÓN BIOMÉDICA GALICIA SUR; FUNDACIÓN PÚBLICA GALEGA DE MEDICINA XENÓMICA; GBTEC SOFTWARE, S.L.; VERNE INFORMATION TECHNOLOGIE, S.L.; GODENIGMA, S.L; GRUPO TECNOLÓGICO ARBINOVA, S.L.

Se adjuntan como anexos, los certificados de los convenios vigor que permiten a los estudiantes del Máster en Ciencia y Tecnologías de Información Cuántica solicitar prácticas externas en cantidad y calidad suficiente.

El plan formativo asociado a las prácticas curriculares externas reflejarán los siguientes aspectos:

1. El objetivo central de las prácticas externas persigue un beneficio mutuo para las partes implicadas, en este caso, la empresa y el estudiante. Por ello el contenido del trabajo asignado debe en todo caso observar y adaptarse a esta aspiración legítima.
2. El estudiante deberá contar con un responsable o tutor en la entidad colaboradora, que actuará de forma colegiada con su tutor en la Universidad, siempre con la aprobación de la Comisión del Grado o de la Coordinación del Máster correspondiente y de acuerdo con el Reglamento de Trabajos de fin deTFM y a la normativa específica aprobada para

su titulación. Asimismo, se encargará de emitir un informe razonado que dará por finalizado elTFM y que remitirá a la Comisión del Grado o Coordinación del Máster.

3. El tutor académico velará por el normal desarrollo del proyecto formativo, colaborará con el tutor de la entidad colaboradora en todos aquellos aspectos que afecten al mismo, así como aquellas funciones que reglamentariamente se establezcan.
4. Los horarios de realización de las prácticas o del TFG/TFM se establecerán de acuerdo con las características de las mismas y las disponibilidades de la entidad colaboradora. Los horarios serán compatibles con la actividad académica, formativa y de representación y participación desarrollada por el estudiante en la Universidad. En cualquier caso se adaptarán en tiempo y forma a la oferta diseñada por
5. Los estudiantes deberán cumplir las normas de régimen interno de la entidad colaboradora y seguir las indicaciones del tutor designado por la entidad. Deberán aplicarse con diligencia a las tareas que se les encomienden, de las cuales guardarán compromiso de confidencialidad durante su estancia y una vez finalizada ésta. En caso de ausencia será necesario comunicarlo y justificarlo convenientemente a la Universidad. El régimen de permisos del estudiante será consensuado por los tutores de ambas partes con respeto en todo caso a los permisos a los que el estudiante tenga derecho con arreglo a la normativa vigente.
6. En tanto que colabora en un programa de formación universitaria, la empresa facilitará al estudiante la realización de sus exámenes y el resto de actividad académica, formativa y de representación y participación, que sea comunicada con suficiente antelación.

### **6.3 Previsión de dotación de recursos materiales y servicios**

- Creación de una página Web del Máster. La salida al mercado de una oferta docente como ésta tiene un factor de competitividad en el que hay que dar pruebas visibles de calidad. En ese sentido es muy útil contar con una página web propia del máster que tenga un diseño funcional y atractivo. Todos los Másteres que son referentes para nosotros lo [tienen](#). No sólo se trata de un factor de captación de estudiantes, sino también de una herramienta docente importante de cara a la coordinación interna y a la visibilidad externa del proyecto.  
Se buscarán recursos parcialmente mediante patrocinio de las empresas con las que se harán los convenios de prácticas.
- Adquisición de recursos y material de laboratorio para prácticas en Técnicas Experimentales para Información Cuántica en la USC, preferentemente en plataformas Fotónicas/Óptica Cuántica, de Superconductor y de Estado Sólido. Se acudirá a las convocatorias de financiación anuales para dotación de laboratorios y se solicitará la asignación de un técnico de laboratorio a tiempo parcial.
- Adquisición de recursos de personal y material de laboratorio para prácticas de Laboratorio de Comunicaciones Cuánticas en la UVigo. Se acudirá a convocatorias anuales de dotación de laboratorios docentes, y se incorporarán postdocs de

investigación a la docencia de prácticas.

- Uso de tiempo de computación plataformas de computación cuántica en la nube. Se buscarán convenios ventajosos de utilización y recursos para financiarlos.

## 7\_CALENDARIO DE IMPLANTACIÓN

### ***7.1 Cronograma de implantación del título***

Al tratarse de una titulación de un único curso, se plantea su implantación completa ya en el primer año de creación de la misma (que se busca sea el curso 2023-24). Esto incluye a todas las asignaturas, incluyendo toda la optatividad y la existencia de prácticas externas (sin perjuicio de que es esperable que la variedad de estas últimas vaya aumentando con el tiempo).

### ***7.2 Procedimiento de adaptación, en su caso, al nuevo plan de estudios por parte del estudiantado procedente de la anterior ordenación universitaria.***

La implantación de la titulación no implica la desaparición de otras, por lo que no se habilita un procedimiento específico para el estudiantado procedente de anteriores ordenaciones.

### ***7.3 Enseñanzas que se extinguen por la implantación del correspondiente título propuesto.***

La implantación de la titulación no implica la desaparición de otras.



## 8 SISTEMA INTERNO DE GARANTÍA DE LA CALIDAD

### 8.1 Sistema Interno de Garantía de Calidad

El enlace al sistema de calidad de la Facultad de Física de la Universidad de Santiago de Compostela, universidad coordinadora de este máster es el siguiente:

<https://www.usc.gal/es/centro/facultad-fisica/calidad>

Los enlaces a los centros docentes en las otras universidades participantes son los siguientes:

Facultad de Informática, Universidad de A Coruña (certificado FIDES-AUDIT, renovación más reciente en 2020):

<https://www.fic.udc.es/es/calidad>

Escuela de Ingeniería de Telecomunicación, Universidad de Vigo (certificado FIDES-AUDIT, renovación más reciente en 2022):

<https://teleco.uvigo.es/es/a-escola/calidade/presentacion-sgc/>

### 8.2 Medios de información pública

Se usarán los canales habituales de las tres universidades tal y como se describe en el primer punto del apartado 3.

Además el máster dispondrá de una página web propia con información detallada y actualizada del máster siguiendo los criterios y las recomendaciones de la ANECA.

Este portal web mantendrá la información completa sobre el programa, el profesorado, la metodología docente, los procesos administrativos, el calendario, los procesos de sugerencias y reclamaciones. También informará acerca de los eventos relacionados, la actualidad temática y las novedades en el campo, así como las oportunidades de empleo y becas.

## Anexos

La universidad podrá incluir como anexos, en su caso, propuestas de desarrollos particulares para el título de determinadas normativas institucionales de organización académica con relación a especificidades de su naturaleza académica o profesionalizadora.