



## Teaching Guide

Identifying Data					2024/25
Subject (*)	Quantum Computing	Code	610G04035		
Study programme	Grao en Nanociencia e Nanotecnoloxía				
Descriptors					
Cycle	Period	Year	Type	Credits	
Graduate	1st four-month period	Fourth	Optional	4.5	
Language	SpanishGalician				
Teaching method	Face-to-face				
Prerequisites					
Department	Ciencias da Computación e Tecnoloxías da Información				
Coordinador	Mosqueira Rey, Eduardo	E-mail	eduardo.mosqueira@udc.es		
Lecturers	Chobanova , Veronika Georgieva	E-mail	v.chobanova@udc.es		
	Mosqueira Rey, Eduardo		eduardo.mosqueira@udc.es		
Web	ciencias.udc.es/es/grado-en-nanociencia-y-nanotecnologia				
General description	Este curso pretende transmitir ao alumnado os conceptos fundamentais da Computación Cuántica, o formalismo matemático necesario para traballar con qubits, as vantaxes informáticas e computacionais da superposición cuántica e do enredo cuántico, e definir un marco que contemple a evolución dos sistemas.deterministas clásicos ata chegar a sistemas cuánticos, pasando por sistemas tipicamente probabilísticos. Unha vez establecido este marco, analizaranse conceptualmente algúns dos algoritmos cuánticos máis relevantes.				

## Study programme competences / results

Code	Study programme competences / results
A1	CE1 - Comprender los conceptos, principios, teorías y hechos fundamentales relacionados con la Nanociencia y Nanotecnología.
A2	CE2 - Aplicar los conceptos, principios, teorías y hechos fundamentales relacionados con la Nanociencia y Nanotecnología a la resolución de problemas de naturaleza cuantitativa o cualitativa.
A3	CE3 - Reconocer y analizar problemas físicos, químicos, matemáticos, biológicos en el ámbito de la Nanociencia y Nanotecnología, así como plantear respuestas o trabajos adecuados para su resolución, incluyendo el uso de fuentes bibliográficas.
A7	CE7 - Interpretar los datos obtenidos mediante medidas experimentales y simulaciones, incluyendo el uso de herramientas informáticas, identificar su significado y relacionarlos con las teorías químicas, físicas o biológicas apropiadas.
A9	CE9 - Evaluar correctamente los riesgos sanitarios y de impacto ambiental asociados a la Nanociencia y la Nanotecnología.
A10	CE10 - Comprender la legislación en el ámbito del conocimiento y la aplicación de la Nanociencia y Nanotecnología. Aplicar principios éticos en este marco.
B1	CB1 - Que los estudiantes hayan demostrado poseer y comprender conocimientos en un área de estudio que parte de la base de la educación secundaria general, y se suele encontrar a un nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluye también algunos aspectos que implican conocimientos procedentes de la vanguardia de su campo de estudio
B2	CB2 - Que los estudiantes sepan aplicar sus conocimientos a su trabajo o vocación de una forma profesional y posean las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y la resolución de problemas dentro de su área de estudio
B3	CB3 - Que los estudiantes tengan la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro de su área de estudio) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científica o ética
B4	CB4 - Que los estudiantes puedan transmitir información, ideas, problemas y soluciones a un público tanto especializado como no especializado
B5	CB5 - Que los estudiantes hayan desarrollado aquellas habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía
B6	CG1 - Aprender a aprender
B7	CG2 - Resolver problemas de forma efectiva.
B8	CG3 - Aplicar un pensamiento crítico, lógico y creativo.
B9	CG4 - Trabajar de forma autónoma con iniciativa.
B10	CG5 - Trabajar de forma colaborativa.



B11	CG6 - Comportarse con ética y responsabilidad social como ciudadano/a y como profesional.
B12	CG7 - Comunicarse de manera efectiva en un entorno de trabajo.
C1	CT1 - Expresarse correctamente, tanto de forma oral como escrita, en las lenguas oficiales de la comunidad autónoma
C2	CT2 - Dominar la expresión y la comprensión de forma oral y escrita de un idioma extranjero
C3	CT3 - 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
C4	CT4 - Desarrollarse para el ejercicio de una ciudadanía respetuosa con la cultura democrática, los derechos humanos y la perspectiva de género
C5	CT5 - Entender la importancia de la cultura emprendedora y conocer los medios al alcance de las personas emprendedoras
C7	CT7 - Desarrollar la capacidad de trabajar en equipos interdisciplinarios o transdisciplinarios, para ofrecer propuestas que contribuyan a un desarrollo sostenible ambiental, económico, político y social.
C8	CT8 - Valorar la importancia que tiene la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico en el avance socioeconómico y cultural de la sociedad
C9	CT9 - Tener la capacidad de gestionar tiempos y recursos: desarrollar planes, priorizar actividades, identificar las críticas, establecer plazos y cumplirlos

Learning outcomes			
Learning outcomes	Study programme competences / results		
Comprender a necesidade da computación cuántica en nanociencia e nanotecnoloxía.	A1	B1	C1
	A2	B2	C2
	A3	B3	C3
	A7	B4	C4
	A9	B5	C5
	A10	B6	C7
		B7	C8
		B8	C9
		B9	
		B10	
		B11	
		B12	
Coñecer os conceptos fundamentais da computación cuántica.	A1	B1	C1
	A2	B2	C2
	A3	B3	C3
	A7	B4	C4
	A9	B5	C5
	A10	B6	C7
		B7	C8
		B8	C9
		B9	
		B10	
		B11	
		B12	



Comprender, aprender a construír e xestionar sistemas de qubits.	A1 A2 A3 A7 A9 A10	B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B11 B12	C1 C2 C3 C4 C5 C7 C8 C9
Coñecer o funcionamento dos ordenadores cuánticos.	A1 A2 A3 A7 A9 A10	B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B11 B12	C1 C2 C3 C4 C5 C7 C8 C9
Aprender a deseñar algoritmos cuánticos.	A1 A2 A3 A7 A9 A10	B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B11 B12	C1 C2 C3 C4 C5 C7 C8 C9

Contents	
Topic	Sub-topic
Introducción	Antecedentes históricos Contexto de la computación cuántica Reflexiones preliminares
Fundamentos Matemáticos	Números complejos Espacios vectoriales Espacios de Hilbert
Computación Reversible	Operadores lógicos Operaciones lógicas reversibles Diseño del ordenador reversible



La Unidad Cuántica de Información	Descripción formal del qubit Superposición de estados Principio de no-clonación
Sistemas de qubits	Bases canónicas Producto tensorial de estados Operaciones en serie y en paralelo
Operaciones y Circuitos Cuánticos	Matrices unitarias Operaciones unitarias Circuitos cuánticos
Diseño del Ordenador Cuántico	Operadores de aniquilación Operadores de creación El Hamiltoniano de la computación cuántica
Algoritmos Cuánticos	Algoritmo de Deutsch Algoritmo de Simon Teletransporte cuántico
Consideraciones finales	Análisis de contenidos Síntesis de resultados Discusión y conclusiones

Planning				
Methodologies / tests	Competencies / Results	Teaching hours (in-person & virtual)	Student?s personal work hours	Total hours
Guest lecture / keynote speech	A1 A2 A3 A7 A9 A10 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B11 B12 C1 C2 C3 C4 C5 C7 C8 C9	15	60	75
ICT practicals	A1 A2 A3 A7 A9 A10 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B12 C1 C2 C3 C4 C5 C7 C8 C9	23	11.5	34.5
Personalized attention		3	0	3

(\*)The information in the planning table is for guidance only and does not take into account the heterogeneity of the students.

Methodologies	
Methodologies	Description
Guest lecture / keynote speech	Explicación en el aula de los contenidos de la materia. Resolución de problemas y supuestos prácticos. Realización de seminarios interactivos.
ICT practicals	Resolución de problemas prácticos en entornos TIC. Realización en equipo de prácticas de laboratorio con simuladores cuánticos.

Personalized attention	
Methodologies	Description



ICT practicals	<p>Resolución por parte dos profesores da materia, das dúbidas e cuestións expostas polos estudantes.</p> <p>Supervisión e asistencia na realización das prácticas expostas.</p> <p>Segundo calendario e materia xa tratada, realizaranse seminarios interactivos.</p> <p>Resolución en lousa de supostos prácticos con problemas reais fomentando a interdisciplinarietà.</p> <p>É tradición nesta materia a realización en equipo de traballos tutelados.</p> <p>Casos especiais, minusvalías, tempo parcial, terán tratamento adaptado.</p>
----------------	--

Assessment			
Methodologies	Competencies / Results	Description	Qualification
Guest lecture / keynote speech	A1 A2 A3 A7 A9 A10 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B11 B12 C1 C2 C3 C4 C5 C7 C8 C9	<p>Evaluación continua de actividades realizadas individualmente.</p> <p>Evaluación continua de actividades realizadas en equipo.</p> <p>Prueba final de desarrollo de cinco preguntas cortas de la materia.</p>	50
ICT practicals	A1 A2 A3 A7 A9 A10 B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B12 C1 C2 C3 C4 C5 C7 C8 C9	<p>Evaluación de prácticas individuales.</p> <p>Evaluación de prácticas realizadas en equipo.</p>	50

Assessment comments
<p>Non se establece ningunha nota de corte, ni en Teoría ni en Prácticas. <math>Nota\_Final = 0.5 \times (Nota\_Teoría + Nota\_Prácticas)</math>. Para aprobar la asignatura, a Nota_Final ten que ser maior o igual a 5.00 puntos.</p> <p>A realización fraudulenta de probas e/ou actividades implicará directamente a cualificación de suspenso ("0") na materia na convocatoria correspondente, invalidando calquera cualificación obtida en tódalas actividades de cara á seguinte oportunidade, de existir, dentro do mesmo curso académico.</p>

Sources of information	
Basic	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Noson S. Yanofsky, Mirco A. Mannucci (2009). Quantum Computing for Computer Scientists. Cambridge University Press</li> <li>- Richard P. Feynman (2001). Feynman Lectures On Computation. CRC Press</li> <li>- Vicente Moret Bonillo (2017). Adventures in Computer Science. Springer</li> </ul> <p>After presenting the necessary prerequisites, the material is organized to look at different aspects of quantum computing from the specific standpoint of computer science. There are chapters on computer architecture, algorithms, programming languages, theoretical computer science, cryptography, information theory, and hardware. The text has step-by-step examples, more than two hundred exercises with solutions, and programming drills that bring the ideas of quantum computing alive for today's computer science students and researchers. After presenting the necessary prerequisites, the material is organized to look at different aspects of quantum computing from the specific standpoint of computer science. There are chapters on computer architecture, algorithms, programming languages, theoretical computer science, cryptography, information theory, and hardware. The text has step-by-step examples, more than two hundred exercises with solutions, and programming drills that bring the ideas of quantum computing alive for today's computer science students and researchers.</p>
Complementary	



## Recommendations

### Subjects that it is recommended to have taken before

Physics of the Nanoscale/610G04041  
Computational Nanoscience and Nanotechnology/610G04034  
Numerical and Statistical Methods/610G04013  
Fundamentals of Quantum Theory/610G04015  
Fundamentals of Mathematics/610G04001  
Physics: Mechanics and Waves/610G04002  
Fundamentals of Computing Science/610G04010

### Subjects that are recommended to be taken simultaneously

### Subjects that continue the syllabus

### Other comments

Fomentarase o desenvolvemento dunha cidadanía crítica, aberta e respectuosa coa diversidade na nosa sociedade, salientando a igualdade de dereitos do alumnado sen discriminación por cuestión de xénero ou condición sexual. Empregarase unha linguaxe inclusiva no material e no desenvolvemento das sesións. Traballarase para identificar e modificar prexuízos e actitudes sexistas e influirase na contorna para modificalos e fomentar valores de respecto e igualdade. Para axudar a conseguir unha contorna inmediata sustentable e cumprir co punto 6 da "Declaración Ambiental da Facultade de Ciencias (2020)", os traballos documentais que se realicen nesta materia podrán solicitarse en formato virtual e soporte informático.

(\*)The teaching guide is the document in which the URV publishes the information about all its courses. It is a public document and cannot be modified. Only in exceptional cases can it be revised by the competent agent or duly revised so that it is in line with current legislation.