



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros  
Informaticos

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

105000346 - Introducción a la Información, Computación y Algorítmica Cuántica

### PLAN DE ESTUDIOS

10ML - Grado en Matematicas e Informática

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2020/21 - Primer semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
4. Descripción de la asignatura y temario.....	3
5. Cronograma.....	5
6. Actividades y criterios de evaluación.....	8
7. Recursos didácticos.....	10
8. Otra información.....	11

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	105000346 - Introducción a la Información, Computación y Algorítmica Cuántica
<b>No de créditos</b>	6 ECTS
<b>Carácter</b>	Optativa
<b>Curso</b>	Cuarto curso
<b>Semestre</b>	Séptimo semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	10ML - Grado en Matematicas e Informática
<b>Centro responsable de la titulación</b>	10 - Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Informaticos
<b>Curso académico</b>	2020-21

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Vicente Martin Ayuso (Coordinador/a)	5210	vicente.martin@upm.es	Sin horario.
Antonio Tabernero Galan		antonio.tabernero@upm.es	Sin horario.

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

## 2.2. Personal investigador en formación o similar

Nombre	Correo electrónico	Profesor responsable
Rosales Bejarano, Jose Luis	jose.rosales@fi.upm.es	Martin Ayuso, Vicente

## 3. Competencias y resultados de aprendizaje

---

### 3.1. Competencias

CE26 - Conocimiento de los tipos apropiados de soluciones, y comprensión de la complejidad de los problemas informáticos y la viabilidad de su solución.

CG01 - Capacidad de resolución de problemas aplicando conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería.

CG02 - Capacidad para el aprendizaje autónomo y la actualización de conocimientos, y reconocimiento de su necesidad en las áreas de la matemática y la informática.

CG05 - Capacidad de abstracción, análisis y síntesis.

CG06 - Capacidad para trabajar dentro de un equipo, organizando, planificando, tomando decisiones, negociando y resolviendo conflictos, relacionándose, y criticando y haciendo autocrítica.

CG10 - Capacidad para usar las tecnologías de la información y la comunicación.

### 3.2. Resultados del aprendizaje

RA127 - Conocer modelos de computación más allá del modelo de Turing

RA54 - Modelizar matemáticamente problemas reales y conocer las técnicas para resolverlos.

RA28 - Conocer modelos de cómputo universales así como los límites de lo que puede o no ser computado mediante un algoritmo.

RA63 - Razonar sobre la complejidad algorítmica.

RA77 - Relacionar los contenidos matemáticos y la resolución de problemas procedentes de distintos ámbitos del conocimiento.

RA111 - Dado un campo de aplicación de las matemáticas o de la informática, evaluar y diseñar la solución más apropiada para resolver alguno de sus problemas, exponiendo las dificultades técnicas y los límites de la aplicación

RA84 - RA175 Conocer los espacios de Hilbert separables, manejando la ortogonalidad y las bases ortonormales en el contexto infinito dimensional

RA89 - RA72 - Diseñar y construir sistemas informáticos capaces de resolver problemas para los que no se conoce solución

RA9 - Saber resolver de problemas aplicando conocimientos de matemáticas, ciencias e ingeniería.

RA33 - Comprender las nociones de complejidad de un algoritmo y de complejidad de un problema

RA8 - Modelizar matemáticamente problemas reales y conocer técnicas para resolverlos.

## 4. Descripción de la asignatura y temario

---

### 4.1. Descripción de la asignatura

El curso pretende dar un panorama del creciente tema de la Información y Computación Cuántica desde un punto de vista de Ciencias de la Computación. Es éste un nuevo paradigma en computación que permite resolver problemas que clásicamente o bien son imposibles (como es el caso de la transmisión de claves con secreto garantizado) o con una complejidad computacional menor (como en el algoritmo de Grover, para búsquedas no dirigidas) que puede llegar a cambiar de orden de complejidad con respecto al mejor algoritmo clásico conocido (como el Algoritmo de Shor, que factoriza números en tiempo polinomial, rompiendo así los sistemas de clave pública habituales, como son la RSA, Diffie-Hellman o los basados en curvas elípticas). Un aspecto más desconocido, pero muy importante para la industria es su uso para resolver problemas de optimización, lo que tiene implicaciones desde farmacología a problemas de camino mínimo o para inteligencia artificial. Son estos últimos algoritmos los que han despertado el interés de gigantes en el mundo de la informática como Google, Microsoft o IBM. El curso acabará con un panorama de estos métodos y una breve descripción del hardware que se está usando para implementar los nuevos ordenadores cuánticos.

## 4.2. Temario de la asignatura

1. Conceptos fundamentales
  - 1.1. La información es física: qubits.
  - 1.2. Los fundamentos de la mecánica cuántica
  - 1.3. Computación cuántica
  - 1.4. Información cuántica
  - 1.5. Realizaciones experimentales de los conceptos y algoritmos fundamentales.
2. Criptografía cuántica
  - 2.1. Ideas y algoritmos fundamentales en Criptografía Cuántica
  - 2.2. Criptografía cuántica en la práctica.
3. Algoritmos fundamentales en Computación Cuántica
  - 3.1. Búsqueda Cuántica: Algoritmo de Grover.
  - 3.2. Factorización: Algoritmo de Shor.
4. Optimización Cuántica
  - 4.1. Quantum annealing
  - 4.2. Aplicaciones.
5. Implementaciones físicas de la Computación Cuántica.
  - 5.1. Puertas básicas.
  - 5.2. Realizaciones del concepto de ordenador cuántico.

## 5. Cronograma

### 5.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<p><b>Tema 1. Introduccion y Conceptos Fundamentales. Qubits</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 1. Introduccion y Conceptos Fundamentales. Qubits</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
2	<p><b>Tema 1. Conceptos Fundamentales de la mecánica cuántica.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 1. Conceptos Fundamentales de la mecánica cuántica.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
3	<p><b>Tema 1. Conceptos Fundamentales de la mecánica cuántica.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 1. Conceptos Fundamentales de la mecánica cuántica.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
4	<p><b>Tema 1. Conceptos Fundamentales de la mecánica cuántica.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 1. Conceptos Fundamentales de la mecánica cuántica.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 1.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
5	<p><b>Tema 2: Criptografía Cuántica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 2.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 2: Criptografía Cuántica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 2.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	

6	<p><b>Tema 2: Criptografía Cuántica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 2.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 2: Criptografía Cuántica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 2.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
7				<p><b>Presentación y desarrollo de los temas de discusión. Primera parte</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua Presencial Duración: 04:00</p>
8	<p><b>Tema 3. Algoritmos Fundamentales</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 3.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 3. Algoritmos Fundamentales</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 3.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
9	<p><b>Tema 3. Algoritmos Fundamentales: Grover</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 3.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 3. Algoritmos Fundamentales: Grover</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 3.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
10	<p><b>Tema 3. Algoritmos Fundamentales: Shor</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 3.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 3. Algoritmos Fundamentales: Shor</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 3.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
11	<p><b>Tema 4. Optimización Cuántica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 4.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 4. Optimización Cuántica</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 4.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
12	<p><b>Tema 4. Optimización Cuántica. Quantum annealing</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 4.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 4. Optimización Cuántica. Quantum annealing</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 4.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	



13	<p><b>Tema 4. Optimización Cuántica. Quantum annealing</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 4.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 4. Optimización Cuántica. Quantum annealing</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 4.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
14	<p><b>Tema 5: Implementaciones de la Computación Cuántica.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 5.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>		<p><b>Tema 5: Implementaciones de la Computación Cuántica.</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Tema 5.</b> Duración: 02:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
15				<p><b>Presentación y desarrollo de los temas de discusión. Segunda parte.</b> TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua Presencial Duración: 04:00</p>
16				<p><b>Examen Final - Teoría</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 01:00</p>
17				

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

\* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso derivadas de la situación creada por la COVID-19.

## 6. Actividades y criterios de evaluación

### 6.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 6.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
7	Presentación y desarrollo de los temas de discusión. Primera parte	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	04:00	50%	3 / 10	CG01 CG10 CG02 CG05 CE26 CG06
15	Presentación y desarrollo de los temas de discusión. Segunda parte.	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	04:00	50%	3 / 10	CG01 CG10 CG02 CG05 CE26 CG06

#### 6.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
16	Examen Final - Teoría	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	100%	5 / 10	CG10 CG02 CG05 CE26 CG01

#### 6.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen Final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	100%	5 / 10	CG01 CG10 CG02 CG05 CE26

## 6.2. Criterios de evaluación

El método de evaluación normal de la asignatura es el de evaluación continua. Conforme a la normativa UPM, se admite también el método de evaluación única para aquellos alumnos que así lo deseen. Para ello, deberán solicitarlo por escrito al coordinador de la asignatura, como es habitual, en un plazo no superior a 30 días tras el inicio de las clases.

### Evaluación continua:

Para poder ser evaluado de manera continua se requiere una asistencia mínima del 60% a las actividades presenciales de la asignatura. En el caso que haya que recurrir a actividades de Tele-enseñanza se podrá pedir la realización de un breve cuestionario al final de la clase sobre los conceptos de la misma, que servirá como justificante de presencialidad.

La calificación se obtendrá mediante la presentación ante la clase de dos trabajos/proyectos y los correspondientes informes/memorias, que serán realizados individualmente o por grupos con un máximo de dos componentes.

Las presentaciones serán breves (10-15 min.) y la consiguiente discusión del tema presentado por la clase. Los temas concretos de discusión se asignan durante las clases de la asignatura y también pueden ser propuestos por los estudiantes. Se evaluará positivamente tanto que el tema sea propuesto por los estudiantes como el que levante el interés de la clase y sea discutido por todos. Las presentaciones tendrán lugar en las clases establecidas al respecto aunque, dependiendo del número de estudiantes, el desarrollo del curso y siempre que esté acordado por los que realizarán la presentación, podrá realizarse durante otras clases. Habrá 2 de estas presentaciones, correspondientes aproximadamente a cada mitad del curso. Tras la asignación del tema, el grupo deberá presentar un guión, durante las dos semanas siguientes como máximo y de unos dos folios de extensión donde hará un desarrollo previo, incluyendo bibliografía. Este escrito se evalúa con un 10% de la parte correspondiente. Las transparencias usadas durante la presentación así como cualquier material que el grupo considere necesario para su correcta comprensión y evaluación se subirán a Moodle en la correspondiente entrega.

**Evaluación única:** Acorde a la normativa de exámenes (artículo 20.2) de la universidad, se permite una evaluación única, no continua, para aquellas alumnos que así lo soliciten. Los alumnos que lo deseen deberán solicitarlo por escrito al coordinador de la asignatura en un plazo no superior a 30 días tras el inicio de las clases.

Esta evaluación consistirá en un examen de teoría y la solución de problemas propuestos. Se realizará en las fechas establecidas por jefatura de estudios.

Del mismo modo, acorde a la normativa de la universidad, se establece el **Examen Extraordinario de Julio:** una convocatoria extraordinaria que consiste en un examen del mismo tipo. Se realizará en las fechas establecidas por jefatura de estudios.

## 7. Recursos didácticos

---

### 7.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Nielsen, Chuang. Quantum Computation and Quantum Information. Cambridge University Press, 2000.	Bibliografía	
Artículos selectos introductorios en Arxiv.org. (por ejemplo, para criptografía cuántica: <a href="http://arxiv.org/abs/quant-ph/9811056">http://arxiv.org/abs/quant-ph/9811056</a> <a href="http://arxiv.org/abs/quant-ph/0102016">http://arxiv.org/abs/quant-ph/0102016</a>	Bibliografía	
Rieffel, Polak Quantum Computing A Gentle Introduction. MIT Press 2011	Bibliografía	
Libro del curso de Preskill Computer Science 219: ?Quantum Computation en Caltech: <a href="http://www.theory.caltech.edu/~preskill/ph219/index.html#lecture">http://www.theory.caltech.edu/~preskill/ph219/index.html#lecture</a>	Recursos web	

Artículos especializados y de divulgación sobre temas diversos del curso.	Bibliografía	Artículos especializados y de divulgación sobre temas diversos del curso. Estarán disponibles en Moodle o accesibles públicamente en la web.
Transparencias y otro material de clase.	Recursos web	Transparencias usadas en clase y otro material del curso. Disponibles en Moodle
Quantum Mechanics: The theoretical minimum	Bibliografía	Leonard Susskind y Art Friedman. Basic Books, 2014. Un libro simple pero suficientemente serio para empezar a estudiar mecánica cuántica. Muy ameno (y barato)

## 8. Otra información

---

### 8.1. Otra información sobre la asignatura