Guia docent
300050 - TIQ - Tecnologies d'Informació Quàntica

Última modificació: 11/05/2026

Unitat responsable: Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels
Unitat que imparteix: 748 - FIS - Departament de Física.

Titulació: GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES DE TELECOMUNICACIÓ (Pla 2009). (Assignatura obligatòria).
GRAU EN ENGINYERIA TELEMÀTICA (Pla 2009). (Assignatura obligatòria).
GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES AEROESPACIALS (Pla 2015). (Assignatura optativa).

Curs: 2026 **Crèdits ECTS:** 6.0 **Idiomes:** Català, Castellà, Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable: Definit a la pàgina web del curs al lloc web de l'EETAC.

Altres: Definit a la pàgina web del curs al lloc web de l'EETAC.

CAPACITATS PRÈVIES

- Operativitat amb els conceptes, magnituds i lleis bàsiques de la Física i els seus principis de conservació, continguts a l'assignatura Física 1A.
- Operativitat en el càlcul diferencial i integral, i en el càlcul amb nombres complexos, continguts a l'assignatura Càlcul 1A.
- Operativitat amb estructures algebraiques, equacions diferencials ordinàries, espais vectorials i matrius, continguts a l'assignatura Àlgebra Lineal i Aplicacions 1B.
- Operativitat amb funcions de distribució de probabilitat i dades estadístiques, continguts a l'assignatura de Probabilitat i estadística 2A
- Capacitat per realitzar programes d'aplicacions en llenguatge Matlab/Octave o C#, continguts de les assignatures de Informàtica 1A i 1B.

COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

Transversals:
1. COMUNICACIÓ EFICAÇ ORAL I ESCRITA: Comunicar-se de forma oral i escrita amb altres persones sobre els resultats de l'aprenentatge, de l'elaboració del pensament i de la presa de decisions; participar en debats sobre temes de la pròpia especialitat.
2. TERCERA LLENGUA: Conèixer una tercera llengua, que serà preferentment l'anglès, amb un nivell adequat de forma oral i per escrit i amb consonància amb les necessitats que tindran les titulades i els titulats en cada ensenyament.
3. TREBALL EN EQUIP - Nivell 1: Participar en el treball en equip i col·laborar-hi, un cop identificats els objectius i les responsabilitats col·lectives i individuals, i decidir conjuntament l'estratègia que s'ha de seguir.
4. APRENENTATGE AUTÒNOM - Nivell 3: Aplicar els coneixements assolits a la realització d'una tasca en funció de la pertinència i la importància, decidint la manera de dur-la a terme i el temps que cal dedicar-hi i seleccionant-ne les fonts d'informació més adequades.

METODOLOGIES DOCENTS

L'assignatura s'impartirà combinant classes magistrals (sessions de grup de teoria), activitats dirigides de d'aplicacions practiques i resolució de problemes tipus, i un projecte en grup sobre simulació d'alguna de les aplicacions de les tecnologies de la informació quàntica, amb un enfoc eminentment pràctic. Eventualment, i segons la disponibilitat es podran realitzar visites, assistència a seminaris i/o realització de demostracions practiques a l'ICFO (Institut de Ciències Fotòniques).
La majoria de petites aplicacions, resolució de problemes i el projecte serà realitzat pels alumnes principalment fora de l'aula, amb sessions de control en algunes sessions d'AD.

Les classes de teoria seguiran principalment el model expositiu, on el professor introduirà els conceptes i teories bàsiques de les tecnologies de la informació quàntica amb el suport de la pissarra i d'altres mitjans audiovisuals. Les classes d'activitat dirigida permetran consolidar el coneixement d'aquests conceptes i lleis i utilitzar-los per resoldre problemes i realitzar petites simulacions. Amb una setmana d'antelació es distribuirà la llista de problemes a resoldre pels alumnes fora de l'aula. Els problemes seran discutits posteriorment a la sessió d'AD i alguns d'aquests problemes seran exposats pels propis alumnes i/o pels professors. El projecte es realitzarà en grup i principalment fora de l'aula, tot i que se'n farà un seguiment en algunes sessions d'AD. Cap al final del quadrimestre els grups hauran de presentar el projecte amb el suport de diapositives.

El Campus Digital Atenea serà utilitzat habitualment per l'intercanvi de documentació entre estudiants i professors i per mantenir actualitzat el procés d'avaluació. També s'hi introduiran els textos i vídeos relacionats amb el temari que siguin necessaris, per guiar l'aprenentatge autònom dels estudiants, i els fulls de la col·lecció de problemes i aplicacions.

L'expressió oral i escrita es treballarà explícitament a les sessions d'AD de problemes (discussió dels mètodes emprats i resolució de problemes a la pissarra) i al projecte. També es treballarà implícitament en els exàmens, ja que es demanarà als estudiants que justifiquin la resolució dels problemes i contestin preguntes teòriques. L'aprenentatge autònom es guiarà mitjançant textos amb conceptes teòrics de l'assignatura i/o vídeos explicatius. El projecte també serà una eina de treball d'aprenentatge autònom ja que els estudiants hauran d'adquirir coneixements mes enllà dels explicats a les classes de teoria i realitzar gran part del projecte de manera autònoma. Aquestes tres competències genèriques s'avaluaran en les diferents activitats d'avaluació en què estan implicades (veure la descripció detallada de les AV1-4).

OBJECTIUS D'APRENENTATGE DE L'ASSIGNATURA

En acabar l'assignatura TIC, l'estudiant/a ha de ser capaç de:

.- Descriure els principals conceptes quàntics, tal com el significat de la dualitat ona-corpuscle, quantització de l'energia i nivells atòmics.
.- Raonar per què es necessària la física quàntica per tal d'explicar certs fenòmens físics: efecte fotoelèctric, difracció d'electrons.
.- Utilitzar els coneixements anteriors en la seva aplicació a la física de l'estat sòlid: semiconductors, superconductivitat.
.- Definir un qubit.
.- Operar amb portes lògiques quàntiques.
.- Definir i descriure les diferencies entre un computador deterministic, probabilístic i quàntic.
Conèixer els elements de la teoria d'informació clàssica i els corresponents quàntics.

HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	66,0	44.00
Hores aprenentatge autònom	84,0	56.00

Dedicació total: 150 h

CONTINGUTS

INTRODUCCIÓ A LA FISICA QUANTICA

Descripció:
.- Introducció històrica: radiació electromagnètica, radiació d'un cos negre, la llei de Wien i la llei de Stefan-Boltzmann.
.- El cos negre, la llei de Planck. Dualitat-ona corpuscle, llei de De Broglie. Difracció d'electrons. Quantització de l'energia. Efecte fotoelèctric. Model d'àtom de Bohr.
.- L'equació de Schrödinger. Interpretació probabilística de la funció d'ona. Estats quàntics i entanglement. Potencials unidimensionals. El pou quadrat de potencial. L'efecte túnel.
.- El principi d'incertesa d'Heisenberg. Superposició d'estats. Principi d'incertesa del moment lineal-posició, principi d'incertesa de l'energia-temps.
.- Moment magnètic i moment d'spin. Moment angular del sistemes atòmics. Orbitals atòmics i nivells d'energia. Principi d'exclusió de Pauli
.- Aplicació de la mecànica quàntica a l'estat sòlid: semiconductors, superconductors i làsers.

Activitats vinculades:
AV1: Control de problemes dels temes 1 i 2
AV3: Resolució de problemes i aplicacions pràctiques.
AV5i6: Examens de mig quadrimestre i de final de quadrimestre.

Dedicació: 22h
Grup gran/Teoria: 7h
Activitats dirigides: 3h
Aprenentatge autònom: 12h

COMPUTACIÓ QUÀNTICA

Descripció:
.- Definició del qubits. L'esfera de Bloch.
.- Operacions amb qubits: matrius de Pauli i matriu de Hadamard. Sistemes de diversos qubits: entanglement i estats de Bell. Portes quàntiques.
.- Circuits quàntics. Computadors deterministes, probabilístics i quàntics. La màquina de Turing.
.- Aplicacions bàsiques amb circuits quàntics: teorema de no clonació, paral.lelisme quàntic, generadors-mesuradors d'estats de Bell, superdense coding, teleportació.
.- Algoritmes i emuladors quàntics. El algoritme de Shor. El algoritme de Grover.
.- Mesura quàntica. Operadors de mesura. Matriu densitat: estats purs i mixtes. Tomografia quàntica.

Activitats vinculades:
AV1: Control de problemes dels temes 1 i 2
AV3: Resolució de problemes i aplicacions pràctiques.
AV4: Projecte sobre aplicacions de les tecnologies de la informació quàntica (treball en grup fora de l'aula, seguiment del projecte en sessions d'AD i presentació final).
AV5i6: Examens de mig quadrimestre i de final de quadrimestre.

Dedicació: 45h
Grup gran/Teoria: 14h
Activitats dirigides: 6h
Aprenentatge autònom: 25h

PROCESSADORS QUÀNTICS

Descripció:
.- Hardware quàntic. Requeriments generals. Criteris de DiVincenzo per a un Ordinador Quàntica Universal.
.- Supremacia o advantatge quàntic. Processadors quànticas actuals
.- Model de Computador Quàntic Óptic. Elements óptics: polaritzadors, retardadors, wave-plates, BBOs, beam-spliters i detectors. Mode polaritzat i mode espacial. Interferometre de Mach-Zehnder. Exemple de teleportació basat en l'experiment de les Illes Canaries.

Activitats vinculades:
AV2: Control de problemes dels temes 3 i 4
AV3: Resolució de problemes i aplicacions pràctiques.
AV4: Projecte sobre aplicacions de les tecnologies de la informació quàntica (treball en grup fora de l'aula, seguiment del projecte en sessions d'AD i presentació final).
AV5i6: Examens de mig quadrimestre i de final de quadrimestre.

Dedicació: 38h
Grup gran/Teoria: 11h
Activitats dirigides: 5h
Aprenentatge autònom: 22h

COMUNICACIÓ QUÀNTICA

Descripció:
.- Criptografia Clàssica vs. Quàntica.
.- Sessió de Distribució Quàntica de Clau. Protocols bàsics: BB84, B89 i E91.
.- Elements clàssics de la teoria de la informació. Entropia de Shannon.
.- Informació Quàntica. Definició de l'entropia quàntica. Teorema de Holevo.
.- Compressió quàntica de dades i correció d'errors quàntics.

Activitats vinculades:
AV2: Control de problemes dels temes 3 i 4
AV3: Resolució de problemes i aplicacions pràctiques.
AV4: Projecte sobre aplicacions de les tecnologies de la informació quàntica (treball en grup fora de l'aula, seguiment del projecte en sessions d'AD i presentació final).
AV5i6: Examens de mig quadrimestre i de final de quadrimestre.

Dedicació: 45h
Grup gran/Teoria: 10h
Activitats dirigides: 10h
Aprenentatge autònom: 25h

ACTIVITATS

(AV1): CONTROL DE PROBLEMES DELS TEMES 1 I 2

Descripció:
En una sessió de grup de teoria, es realitzarà un control individual de problemes dels temes 1 i 2.

Objectius específics:
Comprovar els coneixements assolits sobre els temes 1 i 2, per part de professors i estudiants. Desenvolupar la capacitat de comunicar-se amb claredat i eficàcia de manera escrita, justificant la resolució dels problemes.

Material:
Enunciat del control en paper, calculadora i petit formulari.

Lliurament:
S'entregarà el control resolt individualment per ser avaluat amb un 10% de la nota final.

Dedicació: 6h 30m
Grup gran/Teoria: 1h 30m
Aprenentatge autònom: 5h

(AV2): CONTROL DE PROBLEMES DELS TEMES 3 I 4

Descripció:
En una sessió de grup de teoria, es realitzarà un control individual de problemes dels temes 3 i 4.

Objectius específics:
Comprovar els coneixements assolits sobre els temes 4 i 5, per part de professors i estudiants. Desenvolupar la capacitat de comunicar-se amb claredat i eficàcia de manera escrita, justificant la resolució dels problemes.

Material:
Enunciat del control en paper, calculadora i formulari.

Lliurament:
S'entregarà el control resolt individualment per ser avaluat amb un 10% de la nota final.

Dedicació: 6h 30m
Grup gran/Teoria: 1h 30m
Aprenentatge autònom: 5h

(AV3): ACTIVITATS DIRIGIDES D'APLICACIONS PRÀCTIQUES

Descripció:
Activitats, exercicis i/o entregables relacionats amb la computació quàntica, com per exemple simulació i execució de circuits cuántics amb Qiskit

Dedicació: 81h
Activitats dirigides: 21h
Aprenentatge autònom: 60h

(AV4): PROJECTE APLICACIÓ DE LES TECNOLOGIES DE LA INFORMACIÓ QUÀNTICA

Descripció:
Presentació oral sobre temes dinterès de computació quàntica i tecnologies de la informació quàntica.

Dedicació: 25h
Grup gran/Teoria: 2h
Activitats dirigides: 3h
Aprenentatge autònom: 20h

(AV5): EXAMEN DE MIG QUADRIMESTRE

Descripció:
Durant la setmana d'exàmens de mig quadrimestre es realitzarà un examen individual de teoria i problemes dels continguts treballats fins al moment.

Objectius específics:
Comprovar els coneixements assolits sobre els continguts inclosos, per part de professors i estudiants. Desenvolupar la capacitat de comunicar-se amb claredat i eficàcia de manera escrita, justificant la resolució dels problemes i responent preguntes teòriques.

Material:
Enunciat de l'examen en paper, calculadora i formulari.

Lliurament:
S'entregarà l'examen resolt individualment per ser avaluat amb un 20% de la nota final.

Dedicació: 1h 30m
Activitats dirigides: 1h 30m

(AV6): EXAMEN DE FINAL DE QUADRIMESTRE

Descripció:
Durant la setmana d'exàmens de final de quadrimestre es realitzarà un examen individual de teoria i problemes de tots els continguts treballats a l'assignatura.

Objectius específics:
Comprovar els coneixements assolits sobre els continguts inclosos, per part de professors i estudiants. Desenvolupar la capacitat de comunicar-se amb claredat i eficàcia de manera escrita, justificant la resolució dels problemes i responent preguntes teòriques.

Material:
Enunciat de l'examen en paper, calculadora i formulari.

Lliurament:
S'entregarà l'examen resolt individualment per ser avaluat amb un 30% de la nota final.

Dedicació: 1h 30m
Activitats dirigides: 1h 30m

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

Qualsevol acte de frau acadèmic, plagi, ús o tinença a l'abast de mitjans no autoritzats en qualsevol activitat d'avaluació comportarà la qualificació de zero (0) en la prova o lliurament afectat. A més, d'acord amb la normativa de la Universitat, la possible derivació dels fets per a l'obertura d'un expedient disciplinari implicarà que l'assignatura quedi en l'estat provisional de "pendent d'avaluació" fins a la resolució de l'expedient. La gestió d'aquestes incidències es desplega d'acord amb el **Marc d'actuació per a la integritat acadèmica en l'avaluació de la UPC**.

La nota final s'obtindrà a partir de:
Dos exàmens parcials de teoria i problemes (mig i final de quadrimestre): 50%
Dos controls de problemes: 20%
Lliurables de problemes i programes: 10%
Projecte: 20%

NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

Totes les activitats d'avaluació proposades són obligatòries. Un examen, control, lliurable o projecte no presentat es puntuarà amb una nota de zero. Els exàmens i controls es realitzaran de manera individual. Els lliurables de problemes i el projecte es realitzaran en grup.

BIBLIOGRAFIA

Bàsica:
- Nielsen, M.A.; Chuang, I.L. Quantum computation and quantum information. 10th ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010. ISBN 9781107002173.
- Desurvire, Emmanuel. Classical and quantum information theory : an introduction for the telecom scientist [en línia]. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 2009 [Consulta: 26/07/2022]. Disponible a: https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=424585. ISBN 9780521881715.
- Scarani, Valerio. Six quantum pieces : a first course in quantum physics. Singapore: World Scientific, 2011. ISBN 9789814327541.

Complementària:
- Kaye, Phillip; Laflamme, Raymond; Mosca, Michele. An Introduction to quantum computing [en línia]. Oxford [etc.]: Oxford University Press, 2007 [Consulta: 13/12/2022]. Disponible a: https://academic-oup-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/41807?searchresult=1. ISBN 9780198570493.
- Scarani, Valerio. Quantum Physics : a first encounter : interference, entanglement, and reality [en línia]. Oxford: Oxford University Press, 2006 [Consulta: 26/07/2022]. Disponible a: https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=422472. ISBN 9780198570479.
- Tipler, Paul Allen; Mosca, Gene.; Jou i Mirabent, David; Llebot, Josep Enric. Física para la ciencia y la tecnología (VOL. 1) [en línia]. Traducció de la 6a ed. nord-americana. Barcelona [etc.]: Reverté, cop. 2010 [Consulta: 13/03/2026]. Disponible a: https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=5758258. ISBN 9788429144321.
- Zeilinger, Anton; Ekert, A.; Bouwmeester, Dirk. The Physics of quantum information : quantum cryptography, quantum teleportation, quantum computation. Berlin: Springer, 2000. ISBN 3540667784.
- Tipler, Paul Allen; Mosca, Gene.; Jou i Mirabent, David; Llebot, Josep Enric. Física per a la ciència i la tecnologia (VOL. 2) [en línia]. Traducció de la 6a ed. nord-americana. Barcelona [etc.]: Reverté, cop. 2010 [Consulta: 13/03/2026]. Disponible a: https://ebookcentral-proquest-com.recursos.biblioteca.upc.edu/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?pq-origsite=primo&docID=5758259. ISBN 9788429144338.
- Argüello Luengo, Javier; González Tudela, Alejandro; Cirac Sasturáin, Juan Ignacio. Simuladores cuánticos : construyendo las maquetas del mundo microscópico. Madrid: Catarata, 2025. ISBN 9788410674233.