



R+D+I EN TECNOLOGIES QUÀNTIQUES A LA UPC

2023



Generalitat
de Catalunya



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



Cofinancat per
la Unió Europea

CONTINGUT

01

LA UPC

Coneix la Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech (UPC) i descobreix algunes de les seves xifres

02

TECNOLOGIES QUÀNTIQUES

Què s'entén per tecnologies quàntiques?

03

RECERCA I INNOVACIÓ

Descripció de l'activitat, els grups de recerca, els centres i instituts que generen coneixement en l'àmbit de les tecnologies quàntiques a la UPC

04

R+D+I D'EXCEL·LÈNCIA UPC

Selecció dels projectes, articles i tesis doctorals de més impacte en relació amb les tecnologies quàntiques de la UPC

05

FORMACIÓ

Graus, màsters i doctorats que s'ofereixen a la UPC en l'àmbit de les tecnologies quàntiques



01

LA UPC

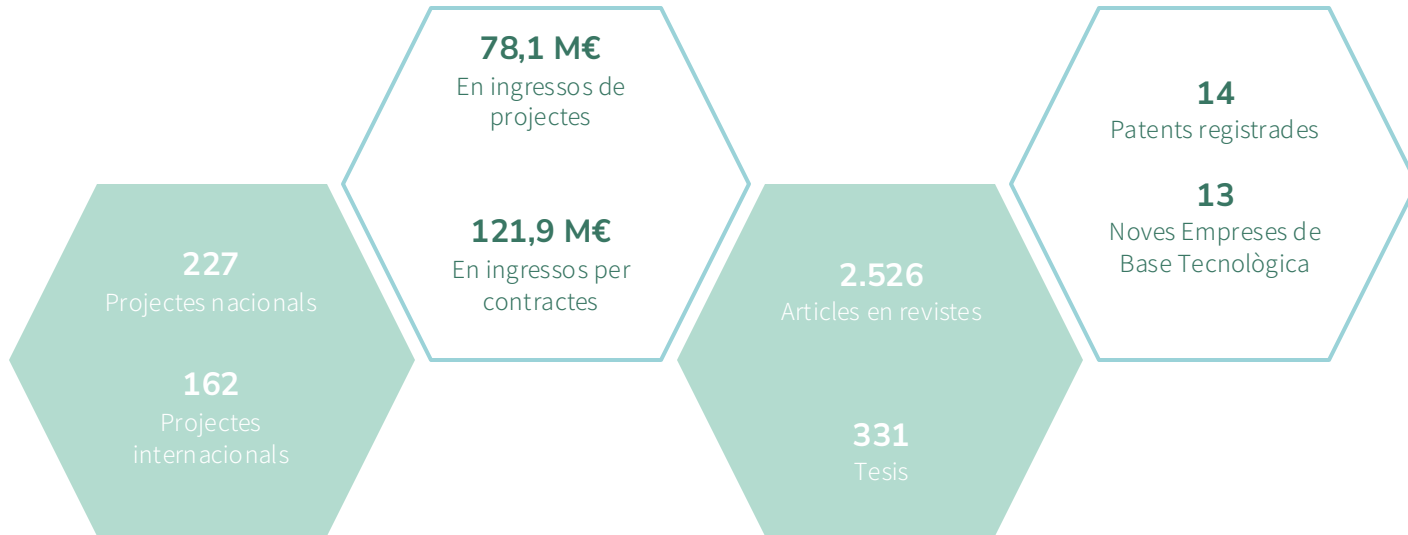
La Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTech (UPC) és una universitat pública de recerca i educació superior en els àmbits de l'enginyeria, l'arquitectura, les ciències i la tecnologia, amb forta implantació i presència activa en els nuclis industrials del territori. La UPC participa en el sistema d'innovació de Catalunya amb projectes i contractes de recerca, desenvolupament, valorització del coneixement i comercialització de tecnologia, amb vista a resoldre els grans reptes de la societat.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



ACTIVITAT DE RECERCA, DESENVOLUPAMENT I INNOVACIÓ A LA UPC 2022

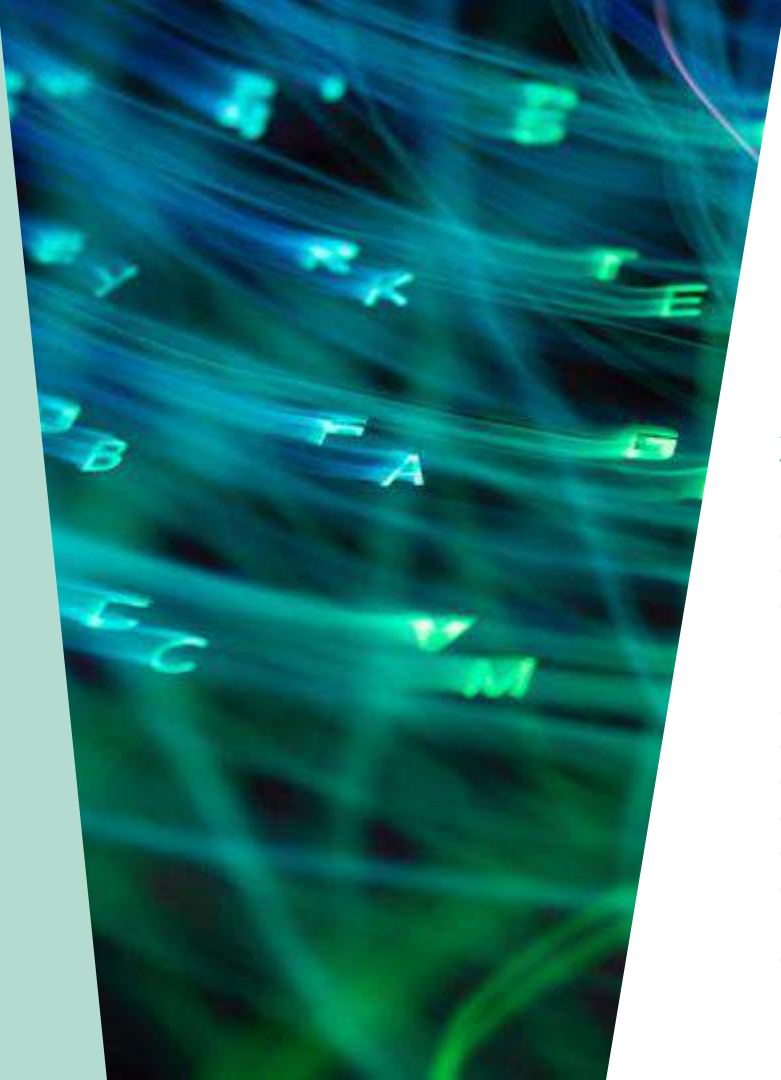


02

TECNOLOGIES QUÀNTIQUES

Les tecnologies quàntiques abasten una àmplia gamma d'aplicacions i disciplines que impulsen els principis de la mecànica quàntica per desenvolupar nous dispositius, sistemes i protocols.

Les tecnologies quàntiques s'apliquen en qualsevol camp que explori i utilitzi els principis de la mecànica quàntica per manipular i aprofitar els estats quàntics per a diversos propòsits.



Aquestes tecnologies sovint exploten fenòmens com la superposició i l'entrellaçament per permetre noves capacitats en la computació, la comunicació, la detecció, la criptografia i més àmbits.

El concepte de quàntic és central en el camp de la mecànica quàntica, que és la branca de la física que descriu el comportament de les partícules a escala atòmica i subatòmica. La teoria quàntica ha revolucionat la nostra comprensió de la natura i ha introduït nous principis i conceptes que difereixen de la física clàssica.

ESTAT DE LA QÜESTIÓ EN TECNOLOGIES QUÀNTIQUES

Computació quàntica

Els ordinadors quàntics, amb la seva capacitat per processar informació utilitzant qbits o bits quàntics, estan sent desenvolupats per empreses com IBM, Google i Microsoft, i empreses emergents com Rigetti i IonQ. Malgrat que encara es troba en la primera etapa, la computació quàntica es mostra com una tecnologia disruptiva per resoldre certs problemes que ni amb els superordinadors clàssics més grans actuals ni amb centenars d'anys no tindrien solució.

Actualment s'han fet progressos notables en:

- **Augment del nombre de qbits**
- **Correcció d'errors**

Comunicació quàntica

La comunicació quàntica assegura la transmissió segura d'informació utilitzant protocols de distribució de clau quàntica (QKD). Les tècniques de xifratge quàntic basades en l'entrellaçament permeten crear canals de comunicació segurs, resistents a l'escolta i al pirateig.

Els desenvolupaments clau inclouen:

- **Distribució de claus quàntica (QKD):** Els protocols QKD permeten la distribució segura de claus de xifratge utilitzant els principis de la mecànica quàntica, amb què s'assegura que la informació roman privada i està a prova de manipulacions.
- **Comunicació quàntica basada en satèl·lits:** Els investigadors i investigadores han demostrat amb èxit la comunicació quàntica de llarga distància utilitzant satèl·lits, que permet la comunicació segura a grans distàncies.

Sensòrica quàntica

Els sensors quàntics utilitzen propietats quàntiques per aconseguir una precisió i una sensibilitat altes.

Per exemple:

- **Relotges atòmics:** Proporcionen un cronometratge altament precís que s'utilitza en sistemes de navegació, telecomunicacions i recerca científica.
- **Magnetòmetres:** Mesuren camps magnètics amb una alta sensibilitat, cosa que té aplicació en àrees com els estudis geològics i el diagnòstic mèdic.

CONCEPTES QUÀNTICS I

Quàntum com a unitat discreta

En mecànica quàntica, el terme *quàntum* es refereix a la unitat discreta o paquet més petit possible i indivisible d'una propietat física.

És la unitat fonamental de mesura en el món quàntic (plural, *quanta* o *quàntums*). És com tenir una caixa que només es pot omplir amb elements específics, i no hi pots tenir res més petit que aquests elements.

Dualitat de la partícula d'ona

Un dels aspectes més intrigants de la mecànica quàntica és la dualitat de partícules d'ona, segons la qual les partícules poden presentar propietats similars a ones i partícules.

Això significa que entitats com els electrons i els fotons es poden comportar com a partícules en alguns experiments i com a ones en uns altres, depenent del context de l'experiment.

Superposició

Un altre concepte fonamental és la superposició, que estableix que els sistemes quàntics poden existir en múltiples estats simultàniament.

A diferència dels objectes clàssics, que tenen propietats ben definides, els sistemes quàntics poden estar en una combinació o superposició de diferents estats.

Per exemple, un electró pot existir en una superposició d'estats *spin-up* i *spin-down* simultàniament.

CONCEPTES QUÀNTICS II

Qbits

En la computació clàssica, la unitat bàsica d'informació s'anomena *bit*, que pot representar un 0 o un 1. En canvi, en computació quàntica, la unitat bàsica d'informació s'anomena *qbit*, que pot representar tant 0 com 1 simultàniament a causa de l'esmentada superposició.

Els qbits es poden implementar físicament utilitzant diversos sistemes quàntics, com trampes iòniques, circuits superconductors o fotons. Aquests sistemes permeten manipular i mesurar els estats quàntics de les partícules, i gràcies a això els qbits es poden representar i processar en un ordinador quàntic.

Qbits superconductors

Els qbits superconductors són un tipus de qbit que s'ha implementat utilitzant circuits superconductors.

La superconductivitat és un fenomen en què certs materials, quan es refreden a temperatures molt baixes, poden conduir el corrent elèctric amb resistència zero.

Els qbits superconductors exploten les propietats quàntiques dels circuits superconductors per codificar i processar informació quàntica. Són un candidat crucial per construir ordinadors quàntics a gran escala gràcies a la seva escalabilitat i compatibilitat amb la tecnologia de semiconductors existent.

El diamant

El diamant ha guanyat atenció en el camp de les tecnologies quàntiques a causa de les seves propietats úniques. Concretament, certs defectes en diamants, com els centres de vacants de nitrogen (NV), es poden utilitzar com a qbits.

Els centres NV són defectes puntuals en la xarxa de diamants que exhibeixen temps de coherència llargs i poden ser manipulats utilitzant llum i microones. Els qbits basats en diamants són prometedors per a aplicacions en detecció quàntica, comunicació quàntica i processament d'informació quàntica.

CONCEPTES QUÀNTICS III

Entrellaçament

L'entrellaçament és un fenomen en què dos o més sistemes quàntics es correlacionen de tal manera que l'estat d'un sistema no es pot descriure independentment dels altres. Les partícules enredades, fins i tot si estan separades per grans distàncies, es mantenen connectades, i l'estat d'una partícula pot afectar instantàniament l'estat de l'altra, desafiant les nocions clàssiques de localitat.

L'experiment de pensament EPR, proposat per Einstein, Podolsky i Rosen, ajuda a il·lustrar el fenomen de l'entrellaçament. Van suggerir un escenari on es creen dues partícules enredades i després se separen per una gran distància. En aquest experiment, si es mesura una propietat d'una partícula, instantàniament determinem la propietat de l'altra.

Principi d'incertesa

El principi d'incertesa, formulat per Werner Heisenberg, estableix que hi ha límits inherents al coneixement simultani de certs parells de propietats físiques, com la posició i el moment d'una partícula, amb precisió absoluta.

Aquest principi destaca la indeterminació fonamental i la naturalesa probabilística del món quàntic. Com més precisament intentem mesurar una propietat, menys precisament podem conèixer l'altra.

CONCEPTES QUÀNTICS IV

Interferència quàntica

La interferència quàntica es refereix al fenomen en què les ones quàntiques poden generar una interferència de manera constructiva o destructiva. Aquest patró d'interferència s'observa quan les ones (per exemple, les ones d'electrons) interaccionen entre si, cosa que dona lloc a regions amb probabilitats millorades (interferència constructiva) o disminuïdes (interferència destructiva) a l'hora de detectar les partícules. La interferència té un paper crucial en diversos fenòmens i experiments quàntics.

Una trampa d'ions és un dispositiu que utilitza camps electromagnètics per capturar i confinar partícules carregades, típicament ions.

En el context de les tecnologies quàntiques, les trampes iòniques s'utilitzen per atrapar i manipular ions individuals com a qbits (bits quàntics), que són les unitats fonamentals d'informació en un ordinador quàntic. Els sistemes de trampa d'ions han estat una plataforma clau per construir ordinadors quàntics amb un alt grau de control i llargs temps de coherència.

Trampa d'ions

Generador EPR

Els científics i científiques han creat configuracions, anomenades *generadors EPR*, per generar partícules entrelaçades com fotons o ions.

Aquests generadors permeten als investigadors i investigadores estudiar i aprofitar la potència de l'entrellaçament per a diverses aplicacions, com ara la comunicació quàntica i la computació quàntica.

03

RECERCA I INNOVACIÓ



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



R+D+I

A través dels grups de recerca distribuïts en escoles i facultats, la UPC disposa d'instal·lacions i recursos per proporcionar els serveis que li són propis, en els àmbits de diagnòstic, assessorament, desenvolupament, demostració, formació, promoció i acompanyament a la indústria, el sector públic i la societat civil, en l'impuls i el desplegament de tecnologies quàntiques.

GRUPS DE RECERCA UPC EN TECNOLOGIES QUÀNTIQUES

9

GRUPS DE RECERCA

Grups amb activitat en tecnologies quàntiques:

- CBA - Sistemes de Comunicacions i Arquitectures de Banda Ampla
- GAPCOMB - Geometric, Algebraic and Probabilistic Combinatorics
- GCO - Grup de Comunicacions Òptiques
- SPCOM - Processament del Senyal i Comunicacions
- CCQM - Condensed, Complex and Quantum Matter Group
- LOGPROG - Lògica i Programació
- ISG-MAK - Information Security Group - Mathematics Applied to Cryptography

Grups amb interès emergent:

- GNOM - Grup d'Optimització Numèrica i Modelització
- CNDS - Computer Networks and Distributed Systems
- MNT-Solar - Grup de Micro i Nanotecnologies per a Energia Solar



CENTRES DE RECERCA UPC EN TECNOLOGIES QUÀNTIQUES

2 CENTRES ESPECÍFICS DE RECERCA

IDEAI - Intelligent Data Science and Artificial Intelligence Research Group

Centre de recerca que es basa en els àmbits de la IA i la *Intelligent Data Science*: Algorismes d'aprenentatge automàtic, ciència de dades i enginyeria de dades, sistemes de processament de llenguatge natural, sistemes intel·ligents de suport a la decisió, sistemes cognitius i de raonament computacional, sistemes de visió per computador i tecnologies que permeten l'extracció d'informació que la veu conté.

CCABA - Centre de Comunicacions Avançades de Banda Ampla

CCABA és el centre de referència de la UPC en sistemes de comunicacions 5G . Les seves activitats van ser llançades el gener de 1994 amb l'objectiu d'integrar diversos grups de recerca a la UPC en el camp de les comunicacions de banda ampla. Totes les tecnologies properes associades a la transmissió, xarxes de cable, fibra òptica i suport de ràdio, commutació i interconnexió, gestió de xarxes de telecomunicacions, protocols i serveis són el camp d'interessos de la CCABA.



Empreses



Centres/instituts de recerca i universitats



COL-LABORADORS

Exemples d'activitat I

Desenvolupament de tècniques avançades de codificació i processament de senyals per a xarxes de comunicacions sense fil.

Construcció d'esquemes avançats de processament de senyals per a **xarxes de comunicacions sense fil** amb nombroses antenes, utilitzant algorismes per completar matrius i tècniques de mostreig avançades, entre d'altres.

Recerca sobre els límits fonamentals de les comunicacions segures **utilitzant dispositius quàntics** i el disseny de **nous codis de canal** per a canals quàntics clàssics que modelen el comportament sorollós dels ordinadors quàntics.

Recerca en **mètodes d'aprenentatge automàtic** i eines de processament de senyals en grafs per a l'anàlisi i el funcionament de xarxes de comunicacions sense fil i altres xarxes.

Millora de la **transmissió de bits quàntics a distàncies curtes** mitjançant el desenvolupament de **sistemes de distribució contínua de claus quàntiques (DCC)** utilitzant estats de llum coherents.

Ús de gas quàntic com a refrigerant per al desenvolupament de tecnologies quàntiques.

Estudi de la **interacció entre líquids i sòlids quàntics** per estudiar els **sistemes aquosos, les biomembranes i els polímers**.



Exemples d'activitat II

Millora de la gestió i el rendiment de les xarxes més enllà de 5G mitjançant l'ús de tècniques d'intel·ligència artificial (IA) i aprenentatge automàtic (ML).

Avaluar experimentalment **tècniques de codificació i processament de senyals** mitjançant proves de camp o l'ús d'ordinadors quàntics experimentals.

Desenvolupament de la tecnologia i l'arquitectura necessàries per als **futurs repetidors quàntics**, que permetran comunicacions quàntiques a distàncies molt més grans que les actuals.

Desenvolupament de solucions innovadores de xarxa òptica per a xarxes mòbils més enllà de **5G i 6G**.

Desenvolupament de **simuladors quàntics** per impulsar els problemes complexos de la societat, com per exemple el disseny de medicaments.

Disseny d'algorismes capaços de resistir a les amenaces i preservar la confidencialitat de la informació fent ús de reconeixement biomètric.

Ús de la **distribució de claus quàntica (QKD)** per a les comunicacions segures.



04

PROJECTES D'EXCEL·LÈNCIA UPC

En aquest document els projectes es consideren projectes d'excel·lència quan:

- El procés científic és rigorós i compleix estàndards de qualitat elevats.
- Són estratègics i tractors.
- Adquireixen un compromís amb els reptes socials i tenen un gran impacte científic i socioeconòmic.
- Tenen repercussió en el territori.
- Compten amb diferents entitats participants de la quàdruple hèlix, cosa que fa que els projectes siguin multidisciplinaris.

Els projectes d'excel·lència UPC estan finançats per diversos programes, com per exemple el Pla Estatal o l'Horitzó Europa.



PROJECTES D'EXCEL·LÈNCIA UPC



QuantumCAT - Agrupació emergent en tecnologies quàntiques de Catalunya

Es tracta d'una aliança per impulsar les entitats emergents en tecnologies quàntiques a Catalunya.

Les tecnologies quàntiques fan ús de les propietats excepcionals de la física quàntica (la teoria que defineix el comportament de la matèria a escala subatòmica) amb l'objectiu de prestar capacitats sense precedents en l'actual societat de la informació.

Darrerament, aquestes tecnologies estan evolucionant de meres possibilitats teòriques a solucions reals aplicades en camps emergents com la seguretat a internet o la monitorització cerebral no invasiva.

L'acció s'articula en quatre projectes:

- **Comunicació quàntica**
- **Computació quàntica**
- **Simulació quàntica**
- **Sensors quàntics**

Grups de recerca UPC implicats: SPCOM, CCQM

ALLEGRO – Xarxes Àgils Segures d'Ultra Baixa Energia

El projecte **ALLEGRO**, finançat per la UE, té com a objectiu desenvolupar una solució innovadora de xarxa òptica per a xarxes mòbils més enllà de 5G i 6G. Aquesta solució innovadora permetrà augmentar significativament les capacitats de transmissió, reduir els costos de consum d'energia i millorar la seguretat de les dades. Aprofitarà els interruptors òptics integrats fotònics, transparents i eficients des del punt de vista energètic, les mesures avançades de seguretat de dades, els transceptors innovadors, les tecnologies multibanda i multifibra, i un sistema de gestió d'intel·ligència artificial per millorar el funcionament de la xarxa.

El projecte **ALLEGRO** està preparat per revolucionar les xarxes òptiques i aplanar el camí per a futurs avenços en xarxes mòbils.

Grups de recerca UPC implicats: GCO



COTTON - Criptosistemes biomètrics per a tecnologies postquàntiques

El projecte té com a objectiu proposar un criptosistema biomètric resistent a les tecnologies quàntiques.

El criptosistema basa la seva robustesa en l'ús d'algorismes criptogràfics que, correctament configurats amb paràmetres específics (longitud de la clau, capacitat correctiva, etc.), són resistents a tots els atacs quàntics coneguts fins avui. Això permetria l'ús tant de la criptografia de clau pública (utilitzada generalment per establir claus de sessió) com de la clau privada per a la transmissió d'informació confidencial.

El criptosistema també té una altra propietat interessant: utilitza el reconeixement biomètric, juntament amb l'algorisme de clau pública, per verificar la seguretat i identitat de l'usuari que sol·licita accés a una aplicació bancària electrònica específica.

Grups de recerca UPC implicats: Departament d'Enginyeria Electrònica



PROJECTES D'EXCEL·LÈNCIA UPC

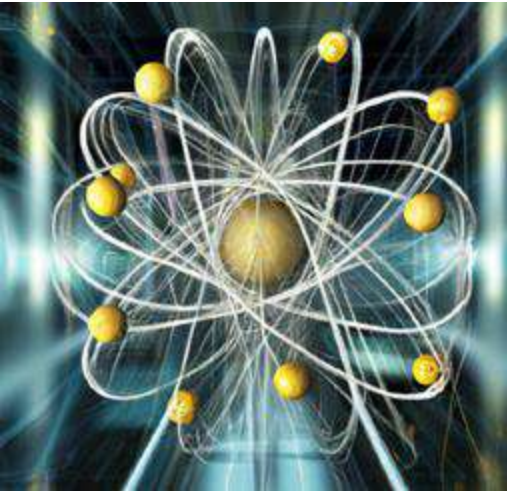


MADDIE – Tecnologies de comunicació, codificació i processament per a xarxes quàntiques de propera generació

El projecte MADDIE lidera el desenvolupament de les xarxes 6G, fusionant tecnologies clàssiques i quàntiques per a futures aplicacions avançades. Amb un enfocament en codificació, comunicació i processament de senyals, aborda reptes com la seguretat i l'eficiència en xarxes híbrides. MADDIE busca solucions innovadores per a les demandes de baixa latència i alta capacitat de les xarxes del futur.

A través de la investigació de tecnologies inalàmbriques i mètodes de processament distribuït, MADDIE promou una infraestructura preparada per a la coexistència de múltiples aplicacions. Amb l'objectiu de millorar la seguretat i l'eficiència computacional, el projecte esdevé un actor clau en la configuració de la pròxima era de connectivitat global.

Grups de recerca UPC implicats: Departament de Teoria de Senyal i Comunicacions



QUADRATURE – Arquitectures quàntiques multi-xip escalables per un paquet de xarxa quàntica sense fil criogènica/coherent

L'objectiu del projecte Quadrature és desenvolupar arquitectures de computació quàntica escalables que puguin abordar problemes del món real. Això s'aconseguirà mitjançant la creació de nuclis quàntics distribuïts interconnectats a través d'enllaços de transferència d'estat de qbit quàntic coherent i una interconnexió sense fil integrada.

El projecte té com a objectiu provar experimentalment la viabilitat dels enllaços de transferència de l'estat de qbit i els enllaços sense fil en paquets, desenvolupar protocols per a una xarxa integrada coherent quàntica i implementar mètodes arquitectònics escalables.

L'objectiu final és demostrar millores significatives en el rendiment general, almenys deu vegades millor, a través d'optimització espacial de disseny multiescala i *benchmarking* amb algorismes quàntics.

Grups de recerca UPC implicats: IDEAI-UPC

PROJECTES D'EXCEL·LÈNCIA UPC



SOQUGAL - Estudi quantitatiu de gasos, líquids i sòlids a baixes temperatures

L'objectiu principal del projecte és dur a terme simulacions quàntiques de Montecarlo (QMC) de matèria quàntica ultrafrega en règims d'interacció forta i feble.

Anteriorment s'ha obtingut una descripció precisa de les propietats de les gotes ultradiluides a temperatura zero. En el projecte SOQUGAL es volanar més enllà i desenvolupar tècniques numèriques i analítiques per abordar les propietats dinàmiques i de temperatura finita de líquids, gasos d'un component i mescles multicomponent.

Una nova línia de recerca és l'ús de la teoria del funcional de la densitat (DFT) per millorar el grau de predictibilitat dels estudis de QMC per a excitons en materials de dicalcogenur de metalls de transició (TMD), un altre camp que s'està expandint ràpidament en l'actualitat. Per assolir aquest objectiu, s'utilitzaran tècniques DFT avançades en combinació amb l'entrada de les simulacions de difusió de Montecarlo d'última generació.

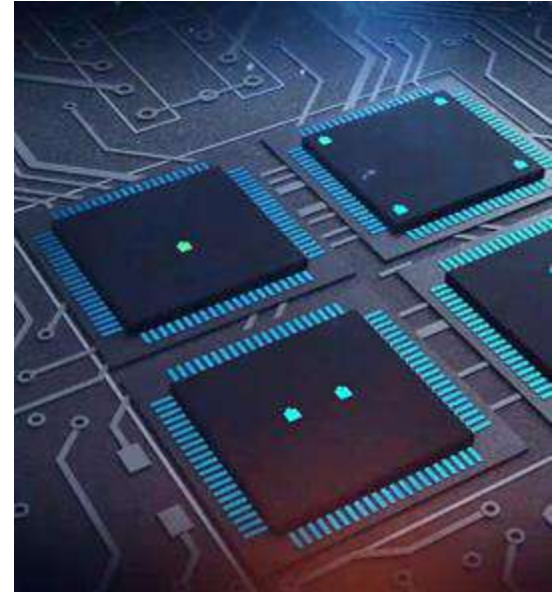
Grups de recerca UPC implicats: CCQM

WINC - Xarxes sense fils dins de sistemes informàtics de nova generació

El projecte WINC preveu una revolució en l'arquitectura informàtica habilitada per a la integració de xarxes sense fil dins de sistemes informàtics. La hipòtesi principal és que la tecnologia sense fil terahertz conduirà a una millora almenys de deu vegades en la velocitat, eficiència i escalabilitat tant de sistemes no quàntics com quàntics. Amb un enfocament transversal, WINC pretén validar la hipòtesi:

- revelant els límits fonamentals de les comunicacions sense fil dins dels paquets informàtics,
- desenvolupant antenes i protocols que operen a prop d'aquests límits mentre compleixen les estrictes restriccions de l'escenari, i
- desenvolupant arquitectures radicalment noves que tradueixen els beneficis únics de la visió sense fil en millores de gran magnitud a escala del sistema.

Si té èxit, WINC serà la llavor d'una nova generació de sistemes quàntics i no quàntics, i fomentarà el progrés en el camp de la computació durant les pròximes dècades.



PROJECTES D'EXCEL·LÈNCIA UPC



TRAINER - Recerca en futures xarxes totalment optimitzades mitjançant intel·ligència artificial

El projecte TRAINER-A té com a objectiu millorar la gestió i el rendiment de les xarxes més enllà de 5G mitjançant l'ús de tècniques d'intel·ligència artificial (IA) i aprenentatge automàtic (ML). Contempla la creació d'un innovador pla de coneixement de xarxa utilitzant tècniques d'aprenentatge profund, com les xarxes neuronals gràfiques (*graph neural networks*, GNN), per orquestrar i aprovisionar automàticament serveis de xarxa tenint en compte els seus requisits específics.

En el marc del projecte, també s'hi investigaran tècniques de monitoratge per obtenir informació sobre el comportament d'usuaris/dispositius, qualitat d'experiència (QoE) percebuda i mètriques de xarxa observades en proveïdors de serveis de xarxa (NSP).

Grups de recerca UPC implicats: Departament d'Arquitectura de Computadors



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

ALGUNS ARTICLES

Kartashov, Y. V. [et al.]. “Frontiers in Multidimensional Self-Trapping of Nonlinear Fields and Matter”. *Nature Reviews Physics*, 22, vol. 1, febrer 2019, p. 185-197. <http://hdl.handle.net/2117/343553>.

L'article explora el repte d'estabilitzar estats solitaris multidimensionals com els solitons i les *quantum droplets* en diferents sistemes físics.

Meier, E. J. [et al.]. “Observation of the topological Anderson insulator in disordered atomic wires”. *Science*, vol. 362, núm. 6417, 23 novembre 2018, p. 929-933. <http://hdl.handle.net/2117/127477>.

L'article explora la interacció entre la topologia, el trastorn i el transport quàntic en cables quirals unidimensionals. El trastorn controlable indueix transicions de fases topològicament trivials a no trivials, amb implicacions per a fluids topològics fortament interactuadors.

Bötcher, F. [et al.]. “Dilute dipolar quantum droplets beyond the extended Gross-Pitaevskii equation”. *Physical Review Research*, vol. 1, núm. 3, 8 novembre 2019, p. 033088:1-033088:12. <http://hdl.handle.net/2117/191091>.

L'estudi examina el nombre atòmic crític i revela discrepàncies entre els resultats experimentals i les prediccions teòriques. Això desafia la comprensió actual de les *quantum droplets* i emfatitza la importància de les correlacions en el sistema. La recerca suggereix el potencial del sistema per provar teories de molts cossos.

Massignan, P. A. [et al.]. “Two-dimensional topological quantum walks in the momentum space of structured light”. *Optica*, vol. 7, 20 febrer 2020, p. 108. <http://hdl.handle.net/2117/335321>.

L'article presenta un nou enfocament per simular el passeig quàntic (*quantum walk*) bidimensional utilitzant fotons. Per codificació de posicions de caminant (*walker*) en els components transversals de vector d'ona d'un sol feix de llum, i aplicant empentes (*kicks*) transversals dependents de polarització, es pot aconseguir la dinàmica i les característiques topològiques desitjades.

ALGUNS ARTICLES

Ball, S. ; Centelles, A. ; Huber, F. “Quantum error-correcting codes and their geometries”. *Annales de l'Institut Henri Poincaré D*, vol. 10, núm. 2, 10 Febrer 2023, p. 337-405. <https://futur.upc.edu/36635301>

Ganguly, A. [et al.]. “Interconnects for DNA, quantum, in-memory and optical computing: insights from a panel discussion”. *IEEE Micro*, vol. 42, núm. 3, maig-juny 2022, p. 40-49. <http://hdl.handle.net/2117/367524>.

Salek, F. [et al.]. “One-shot capacity bounds on the simultaneous transmission of classical and quantum information”. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 66, núm. 4, 7 octubre 2019, p. 2141-2164. <http://hdl.handle.net/2117/169376>.

Álvarez, J. [et al.]. “Random number generation by coherent detection of quantum phase noise”. *Optics Express*, vol. 28, núm. 4, 17 febrer 2020, p. 5538. <http://hdl.handle.net/2117/179831>.

Rodrigo, S. [et al.]. “On double full-stack communications-enabled architectures for multi-core quantum computers”. *IEEE Micro*, vol. 41, núm. 5, setembre 2021, p. 48-56. <http://hdl.handle.net/2117/349287>.

Ahmadian, S. [et al.]. “Cost-effective ML-powered polarization-encoded quantum key distribution”. *Journal of Lightwave Technology*, vol. 40, núm. 13, 1 juliol 2022, p. 4119-4128. <http://hdl.handle.net/2117/380010>.

ALGUNS ARTICLES

Blasco, A.; R. Fonollosa, J. “Perfect and quasi-perfect codes for the Bosonic classical-quantum channel”. *IEEE Transactions on Quantum Engineering*, vol. 4, article 2100208, 18 gener 2023. <http://hdl.handle.net/2117/384530>.

Blasco, A.; Vázquez, G.; R. Fonollosa, J. “Generalized perfect codes for symmetric classical-quantum channels”. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 68, núm. 9, setembre 2022, p. 5923-5936. <http://hdl.handle.net/2117/373658>.

Perez, J.; Pagès-Zamora, A.; R. Fonollosa, J. “Quantum multiple hypothesis testing based on a sequential discarding scheme”. *IEEE access*, vol. 10, 14 gener 2022, p. 13813-13826. <http://hdl.handle.net/2117/364859>.

Salek, F.; Hsieh, M.; Fonollosa, J. R. “Single-serving quantum broadcast channel with common, individualized, and confidential messages”. *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 66, núm. 12, desembre 2020, p. 7752-7771. <http://hdl.handle.net/2117/336701>.

Iqbal, M. [et al.]. “LPsec: a fast and secure cryptographic system for optical connections”. *Journal of Optical Communications and Networking*, vol. 14, núm. 4, abril 2022, p. 278-288. <http://hdl.handle.net/2117/368179>.

ALGUNES TESIS DOCTORALS

From hypothesis testing of quantum channels to secret sharing ([link](#))

S'hi aborden tres aspectes principals de la teoria de la informació quàntica. En la primera part, s'investiguen els tests d'hipòtesi per a canals quàntics i s'obtenen resultats sobre estratègies adaptatives i no adaptatives. En la segona part, es desenvolupen nous protocols per convertir correlacions quàntiques sorolloses en correlacions clàssiques o lliures de soroll. En la tercera part, s'estudia la comunicació a través de canals quàntics en presència de tercers.

Ultracold Bose and Fermi dipolar gases: A quantum Monte Carlo study ([link](#))

Estudi de sistemes dipolars en el règim quàntic degenerat utilitzant mètodes de Montecarlo. S'empren diferents tècniques, com *variational Monte Carlo*, difusió Montecarlo, integral de camins Montecarlo i integral de camins d'estat fonamental (*ground state*), per obtenir solucions numèriques i caracteritzar propietats com la superfluïdesa i la formació de gotes dipolars.

Ab-initio quantum Monte Carlo study of ultracold atomic mixtures ([link](#))

Estudi de les propietats de les mescles de condensats de Bose-Einstein a baixa temperatura. S'utilitzen mètodes de Montecarlo quàntic i la teoria del funcional de la densitat per comprendre la física més enllà de la teoria del camp mitjà en aquestes mescles. S'investiguen aspectes com l'energia, la densitat de saturació, la tensió superficial i les maneres d'excitació en diferents configuracions. A més, s'analitza el diagrama de fase de mescles bosòniques en un parany harmònic esfèric.

Correlations in spin-orbit coupled ultracold quantum gases ([link](#))

Càlcul de les propietats de sistemes quàntics de molts cossos amb interaccions d'acoblament espín-òrbita. S'utilitzen mètodes de Montecarlo quàntic i s'estudien sistemes SOC, i s'analitzen diferents fases. S'investiga l'impacte de les correlacions i es troben resultats que difereixen del camp mitjà. També s'exploren sistemes amb acoblament espín-òrbita angular.



TESIS DOCTORALS PASSADES I FUTURES

Títol: Artificial intelligence solutions for quantum communications
Nom de l'autor de la tesi: Seyed Morteza Ahmadian
Data de lectura: 2023

Títol: Quasi-Perfect Codes for the Classical-Quantum Channel
Nom de l'autor de la tesi: Andreu Blasco,
Data de lectura: 2023

Títol: A double full-stack architecture for multi-core quantum computers
Nom de l'autor de la tesi: Santiago Rodrigo
Data de lectura: 2023

Títol: Designing Communication Networks for Large-Scale Modular Quantum Computer Architectures
Nom de l'autor de la tesi: Sahar Ben Rached
Data de lectura: 2025

Títol: Towards Scalable Multi-Core Quantum Architectures through Network-Architecture-Compiler Co-Design
Nom de l'autor de la tesi: Pau Escofet
Data de lectura: 2026



05

FORMACIÓ



Grau en Enginyeria Física

Primer d'aquestes característiques a tot l'Estat espanyol, i acreditat amb el segell d'Excel·lència per l'Agència per a la Qualitat del Sistema Universitari (AQU) de Catalunya, s'adreça a estudiants amb molt bones aptituds en física i matemàtiques que vulguin aplicar els principis de les ciències bàsiques a problemes tecnològics en un entorn multidisciplinari, i que acceptin el repte d'inventar la tecnologia del futur i treballar en la recerca que transformarà el món.

Màster en Ciberseguretat

L'objectiu del màster en ciberseguretat és oferir a l'estudiant una base científica sòlida en l'àmbit de la seguretat de les tecnologies de la informació amb l'objectiu de proporcionar a la societat professionals altament especialitzats en protecció de dades, protecció d'infraestructures i protecció d'aplicacions.

Màster en Ciència i Tecnologia Quàntiques

Coordinat per la Universitat de Barcelona (UB) amb la participació de la UPC, aquest màster proporciona a l'estudiant coneixements avançats i l'equipa per portar a terme recerques teòriques i experimentals d'avantguarda en simulació quàntica, computació quàntica, sensors quàntics i comunicacions quàntiques, així com recerca purament teòrica.

Màster en Enginyeria Física

Aquest màster ofereix una formació avançada en física en diverses àrees, com l'estadística avançada, la física quàntica, la física i l'enginyeria de grans instal·lacions, entre d'altres.

Màster en Fotònica

L'objectiu del màster és proporcionar als estudiants una base àmplia i sòlida en diferents àrees de la fotònica, així com les eines necessàries que els permetin convertir-se en futurs investigadors o emprenedors en aquest camp. Les institucions més importants que fan recerca en fotònica a l'àrea de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC; Universitat Autònoma de Barcelona, UAB; Universitat de Barcelona, UB, i Institut de Ciències Fotòniques, ICFO) participen en aquest programa oferint una àmplia formació en aquest camp, en la qual s'aprofundeix tant en aspectes teòrics com aplicats.

Màster en Enginyeria de Telecomunicacions

Aquest màster ofereix un ampli perfil que inclou habilitats i coneixements en sistemes de comunicacions, xarxes, electrònica i sistemes audiovisuals per tal d'adquirir les competències professionals que requereix la pràctica de la professió d'enginyeria de telecomunicació.

Màster en Tecnologies Avançades de Telecomunicació

Dissenyar, gestionar i executar projectes en el camp de l'enginyeria de telecomunicacions són algunes de les competències clau que ofereix aquest màster. Alguns dels projectes estan relacionats amb:

- Sistemes d'intel·ligència artificial basats en dades estructurades i dades no estructurades.
- Seguretat en xarxes de comunicació: criptografia, autenticació d'usuari, signatures digitals.
- Circuits i components electrònics: microprocessadors, dispositius (encaminadors, interruptors, etc.), sensors, actuadors, transductors.
- Sistemes de comunicacions de ràdio, fibra òptica i coure.

Postgrau en Enginyeria Quàntica a la UPC School

El postgrau en Enginyeria Quàntica té com a objectiu proporcionar una formació integral sobre les tecnologies quàntiques i s'adreça a professionals de l'enginyeria, les matemàtiques, la física, la informàtica o les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) que tinguin interès en aquest camp de la tecnologia en ràpida evolució i que anuncia canvis trencadors. Amb les competències adquirides al programa, aquests nous perfils podran implementar i desenvolupar projectes basats en tecnologies quàntiques.

Escola de Doctorat de la UPC

L'Escola de Doctorat de la UPC ofereix diversos programes de doctorat que aborden l'estudi de les tecnologies quàntiques.

Catalonia Quantum Academy

Plataforma col·laborativa de la Quàntica Mediterranean Valley of Quantum Science and Technologies, establerta per coordinar els esforços per aprofitar l'experiència reconeguda internacionalment de la regió per enfortir l'educació, la formació i el desenvolupament professional en Ciència i Tecnologia Quàntiques (QST).



SERVEI DE SUPORT A LA RECERCA I LA INNOVACIÓ

 <https://rdi.upc.edu>

 @RDI_UPC

 Recerca, Desenvolupament
i Innovació UPC



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH**