



R+D+I EN TECNOLOGIES QUÀNTIQUES A LA UPC

2023



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

CONTINGUT

01

LA UPC

Coneix la Universitat Politècnica de Catalunya (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

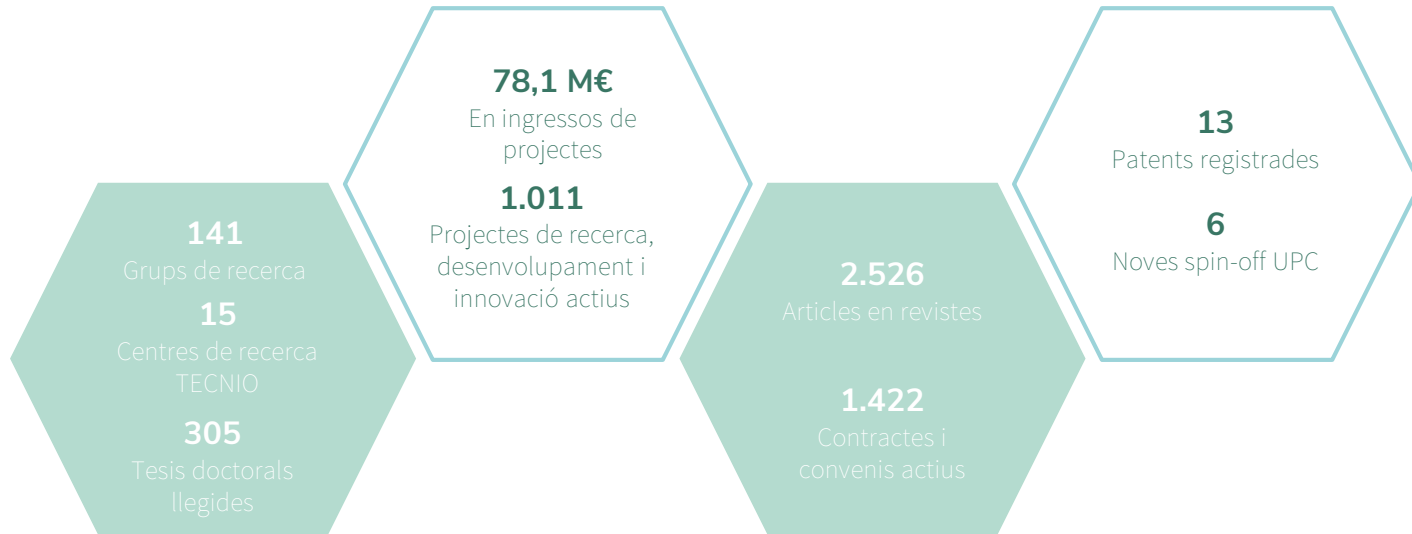
La Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) és una universitat pública de recerca i educació superior en els àmbits de l'enginyeria, l'arquitectura, les ciències i la tecnologia, amb forta implantació i presència activa en els nuclis industrials del territori. La UPC participa en el sistema d'innovació de Catalunya amb projectes i contractes de recerca, desenvolupament, valorització del coneixement i comercialització de tecnologia, per tal de 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 es refereixen a qualsevol camp que explora i utilitza 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.

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 nivell atòmic i subatòmic. La teoria quàntica va revolucionar la nostra comprensió de la natura introduint nous principis i conceptes que difereixen de la física clàssica.

ESTAT DE L'ART DE LES TECNOLOGIES QUÀNTIQUES

Computació quàntica

Els ordinadors quàntics, amb la seva capacitat per processar informació utilitzant qubits, estan sent desenvolupats per empreses com IBM, Google, Microsoft, i start-ups com Rigetti i IonQ. Mentre que encara es troben en les primeres etapes, la computació quàntica es mostra com una tecnologia disruptiva per resoldre certs problemes que ni amb els super-ordinadors clàssics més grans actuals ni amb centenars d'anys no seria possible.

Actualment s'han fet progressos notables en:

- **Augment del nº de qubits**
- **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 canals de comunicació segurs, resistents a l'escolta i al pirateig. Els desenvolupaments clau inclouen:

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

Sensòrica quàntica

Els sensors quàntics utilitzen propietats quàntiques per aconseguir una alta precisió i sensibilitat. Per exemple:

- **Relotges atòmics:** Proporciona un cronometratge altament precís utilitzat en sistemes de navegació, telecomunicacions i recerca científica.
- **Magnetòmetres:** mesuren camps magnètics amb una alta sensibilitat, permetent aplicacions 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, anomenada "quanta". És com tenir una caixa que només es pot omplir amb elements específics, i no 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, que afirma que les partícules poden presentar propietats similars a ones i partícules.

Això significa que entitats com els electrons i els fotons poden comportar-se com a partícules en alguns experiments i com a ones en 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

Qubits

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 "qubit", que pot representar tant 0 com 1 simultàniament a causa de l'anomenada superposició.

Els qubits es poden implementar físicament utilitzant diversos sistemes quàntics com ions atrapats, circuits superconductors o fotons. Aquests sistemes permeten manipular i mesurar els estats quàntics de les partícules, permetent així la representació i processament de qubits en un ordinador quàntic.

Qubits superconductors

Els qubits superconductors són un tipus de qubit que s'han implementat utilitzant circuits superconductors.

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

Els qubits 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 a causa de 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 qubits.

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 qubits 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 on 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, romanen 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 d'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 interferir de manera constructiva o destructiva. Aquest patró d'interferència s'observa quan les ones (per exemple, les ones d'electrons) interaccionen entre si, resultant en regions amb probabilitats millorades (interferència constructiva) o disminuïdes (interferència destructiva) a l'hora de detectar les partícules. La interferència juga 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 qubits (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 han creat configuracions, anomenades generadors EPR, per generar partícules entrelaçades com fotons o ions.

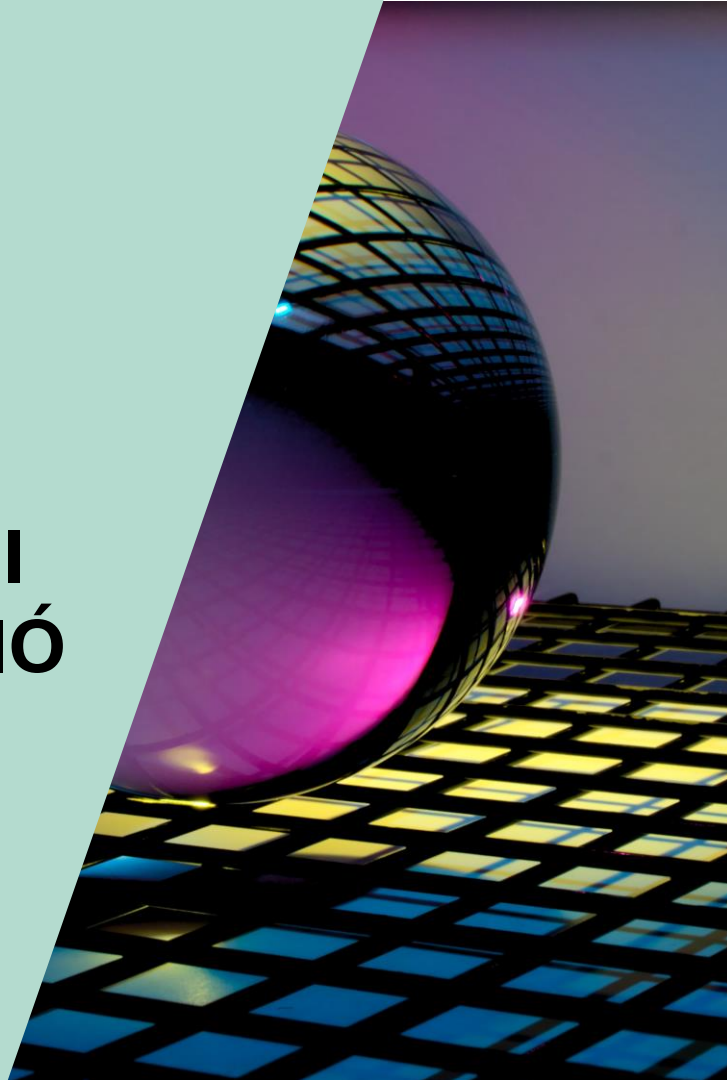
Aquests generadors permeten als investigadors estudiar i aprofitar la potència de l'entrellaçament per a diverses aplicacions, com la comunicació quàntica i la computació quàntica.

03

RECERCA I INNOVACIÓ



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



R+D+I

A través dels grups de recerca distribuïts per les seves Escoles i Facultats, la UPC disposa d'instal·lacions i recursos per a 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

6

GRUPS DE RECERCA

Grups amb activitat en tecnologies quàntiques:

- 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 Nano Tecnologies per Energia Solar



CENTRES DE RECERCA UPC EN TECNOLOGIES QUÀNTIQUES

3 CENTRES ESPECÍFICS DE RECERCA

CBA - Sistemes de Comunicacions i Arquitectures de Banda Ampla

L'àmbit de recerca se centra en les xarxes de computadors i comunicacions abordant les temàtiques: xarxes IP, xarxes òptiques, monitoratge de xarxa i anàlisi de tràfic, identitat digital i signatura electrònica, xarxes energèticament eficients i nano-comunicacions, xarxes 5G

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 d'investigació i universitats



COL-LABORADORS

Exemples d'activitat I

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

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

Investigació dels límits fonamentals de les comunicacions segures **utilitzant dispositius quàntics** i dissenyar **nous codis de canal** per a canals clàssics-quàntics que modelen el comportament sorollós dels ordinadors quàntics.

Investigació de **mètodes d'aprenentatge automàtic** i eines de processament de senyals en grafs per a l'anàlisi i funcionament de xarxes de comunicacions sense fils 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 necessària per als **futurs repetidors quàntics**, que permetran comunicacions quàntiques a distàncies molt majors de 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 clau quàntica (QKD)** per a les comunicacions segures.

04

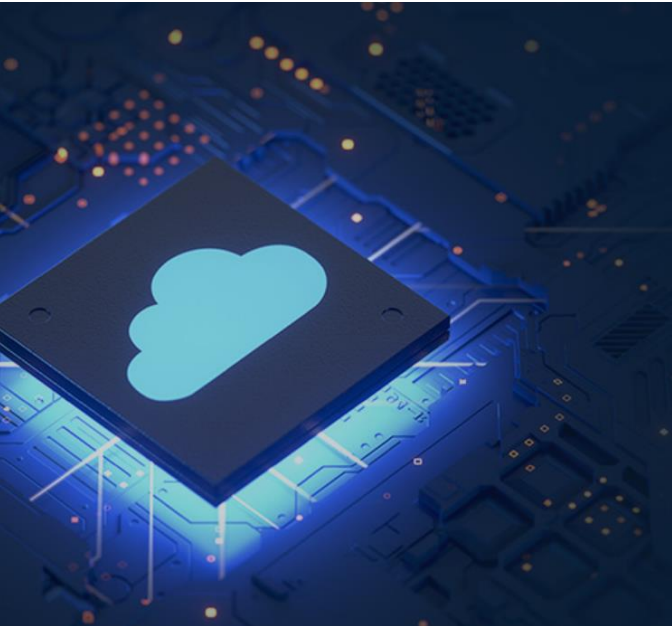
PROJECTES D'EXCEL·LÈNCIA UPC

En aquest document es consideren projectes d'excel·lència aquells en què:

- El procés científic és rigorós i complex amb 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 al territori.
- Compten amb diferents entitats participants de la quàdruple hèlix, fet que fa que els projectes siguin multidisciplinaris.

Els projectes d'excel·lència UPC estan finançats per diversos programes com per exemple del Plan Estatal o de l'Horizon Europe





QUANTUM CAT - 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 excepcionals propietats 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**

Grup de recerca UPC implicats: SPCOM, SIMCON



AVANCES EN CODIFICACION Y PROCESADO DE SEÑAL PARA LA SOCIEDAD DIGITAL

El projecte ADELE té com a objectiu abordar els desafiaments tecnològics de l'evolució cap a un ecosistema digital en el qual els humans interactuen amb robots, assistents virtuals, cotxes autònoms i altres dispositius. Se centrarà en els fonaments teòrics i tecnològics de la teoria de la informació i el processament de senyals.

Els objectius són desenvolupar tècniques de codificació i processament de senyals avançats per a xarxes sense fils, investigar la comunicació segura amb dispositius quàntics, construir esquemes de processament de senyals per a xarxes sense fils amb moltes antenes, i explorar l'aprenentatge automàtic i el processament de senyals en grafs. Els resultats contribuiran a comunicacions més de confiança i segures, així com al desenvolupament d'eines matemàtiques per a enginyeria de comunicacions i altres camps.

PID2019-104958RB-C41

ALLEGRO - Agile uLtra Low EnerGy secuRe netwOrks

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 multi-fibra, i un sistema de gestió d'intel·ligència artificial per a millorar el funcionament de la xarxa.

El projecte ALLEGRO està preparat per revolucionar les xarxes òptiques i aplanar el camí per a futurs avenços de xarxa mòbil.

Grups de recerca UPC implicats: GCO



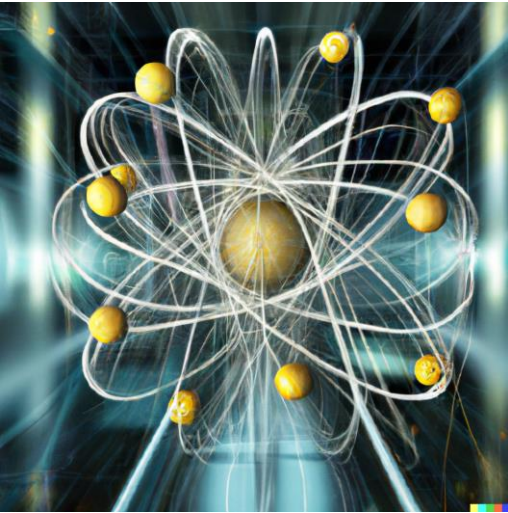
Biometric Cryptosystems for post-quantum technologies

El projecte té com a objectiu proposar un cripto-sistema biomètric resistent a les tecnologies quàntiques.

El cripto-sistema 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, generalment utilitzada per a l'establiment de claus de sessió, i la clau privada per a la transmissió d'informació confidencial.

El cripto-sistema 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.





QUADRATURE - SCALABLE MULTI-CHIP QUANTUM ARCHITECTURES ENABLED BY CRYOGENIC WIRELESS / QUANTUM -COHERENT NETWORK-IN PACKAGE

L'objectiu del projecte de 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 qubit coherent-quàntic i una interconnexió sense fil integrada.

El projecte té com a objectiu provar experimentalment la viabilitat dels enllaços de transferència de l'estat de qubit i els enllaços sense fils 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 10 vegades millor, a través d'optimització espacial de disseny multi-escala i benchmarking amb algorismes quàntics.



ESTUDIO CUANTITATIVO DE GASES, LIQUIDOS Y SOLIDOS CUANTICOS A BAJAS TEMPERATURAS

El creixement de la població urbana i del comerç electrònic han generat un augment del transport de mercaderies, especialment en els lliuraments d'última milla. Això causa congestió, contaminació i problemes de seguretat.

El projecte **AUDEL** busca desenvolupar dispositius autònoms per a lliuraments d'última milla, reduint emissions, congestió i costos. Encara es requereixen millores en algorismes i tecnologia per a operar de manera segura en escenaris urbans complexos.

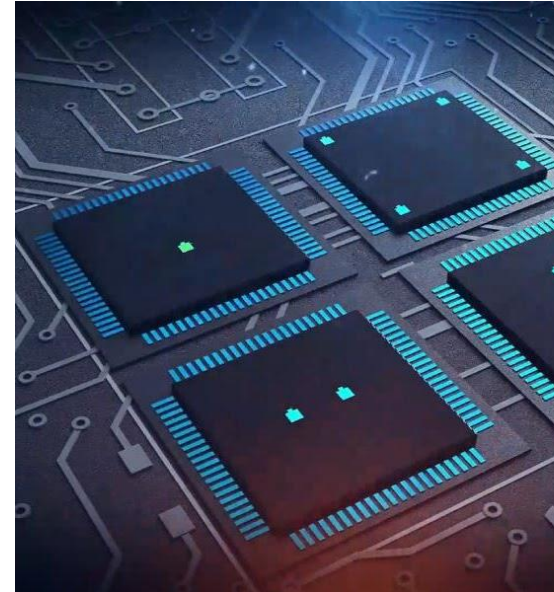
El projecte s'enfoca en la navegació autònoma de dispositius de lliurament sota condicions desafiadors i en escenaris realistes de la ciutat, utilitzant l'experiència de l'equip de recerca en estimació robusta de moviment, detecció i seguiment d'usuaris vulnerables de la carretera i control predictiu.

WINC: Wireless Networks within Next-Generation Computing Systems

El projecte WINC preveu una revolució en l'arquitectura informàtica habilitada per la integració de xarxes sense fils dins de sistemes informàtics. La hipòtesi principal és que la tecnologia sense fil terahertz conduirà a almenys una millora 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 fils dins dels paquets informàtics,
- Desenvolupant antenes i protocols que operen a prop d'aquests límits mentre compleixen amb les estrictes restriccions de l'escenari, i
- desenvolupant arquitectures radicalment noves que tradueixen els beneficis únics de la visió sense fils en millores d'ordre de magnitud a nivell del sistema.

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



ERC STARTING GRANT (Sergi Abadal Cavalle)
Grups de recerca UPC implicats: CBA



INVESTIGACION EN FUTURAS REDES TOTALMENTE OPTIMIZADAS MEDIANTE INTELIGENCIA 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). S'investigarà la creació d'un innovador pla de coneixement de xarxa utilitzant tècniques d'aprenentatge profund, com les Graph Neural Networks (GNN), per a orquestrar i aprovisionar automàticament serveis de xarxa tenint en compte els seus requisits específics.

També s'investigaran tècniques de monitoratge per a obtenir informació sobre el comportament d'usuaris/dispositius, qualitat d'experiència (QoE) percebuda i mètriques de xarxa observades en proveïdors de serveis de xarxa (NSPs).

ALGUNS ARTICLES

Kartashov, Y.V. [et al.]. **Frontiers in Multidimensional Self-Trapping of Nonlinear Fields and Matter.** "Nature Reviews Physics", 22 Febrer 2019, vol. 1, 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., An, F., Dauphin, A., Maffei, M., Massignan, P., Hughes, T., Gadway, B. **Observation of the topological Anderson insulator in disordered atomic wires.** "Science", 23 Novembre 2018, vol. 362, núm. 6417, 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 interactuants.

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

L'estudi examina el nombre atòmic crític, revelant 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 investigació suggereix el potencial del sistema per provar teories many-body.

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

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



ALGUNS ARTICLES

Ganguly, A. [et al.]. Interconnects for DNA, quantum, in-memory and optical computing: insights from a panel discussion. "IEEE micro", Maig-Juny 2022, vol. 42, núm. 3, 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", 7 Octubre 2019. <http://hdl.handle.net/2117/169376>

Álvarez, J. [et al.]. Random number generation by coherent detection of quantum phase noise. "Optics express", 17 Febrer 2020, vol. 28, núm. 4, 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", Setembre 2021, vol. 41, núm. 5, 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", 1 Juliol 2022, vol. 40, núm. 13, p. 4119-4128. <http://hdl.handle.net/2117/380010>

Iqbal, M. [et al.]. LPsec: a fast and secure cryptographic system for optical connections. "Journal of optical communications and networking", Abril 2022, vol. 14, núm. 4, p. 278-288. <http://hdl.handle.net/2117/368179>



ALGUNS ARTICLES

Blasco, A.; R. Fonollosa, J. Perfect and quasi-perfect codes for the Bosonic classical-quantum channel. "IEEE transactions on quantum engineering", 18 Gener 2023, vol. 4, article 2100208. <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", Setembre 2022, vol. 68, núm. 9, 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", 14 Gener 2022, vol. 10, 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", Desembre 2020, vol. 66, núm. 12, p. 7752-7771. <http://hdl.handle.net/2117/336701>



ALGUNES TESIS DOCTORALS

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

Aquesta tesi aborda tres aspectes principals de la teoria de la informació quàntica. En la primera part, s'investiguen els tests d'hipòtesi per a canals quàntics, obtenint resultats sobre estratègies adaptatives i no adaptatives. En la segona part, es desenvolupen nous protocols per a 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 [\(link\)](#)

Aquesta tesi se centra en l'estudi de sistemes dipolars en el règim quàntic degenerat utilitzant mètodes de Monte Carlo. S'empren diferents tècniques, com Variational Monte Carlo, Diffusion Monte Carlo, Path Integral Monte Carlo i Path Integral Ground State, per a 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 [\(link\)](#)

Aquesta tesi s'enfoca en l'estudi de les propietats de les mescles de condensats de Bose-Einstein a baixa temperatura. S'utilitzen mètodes de Monte Carlo quàntic i la teoria del funcional de la densitat per a 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. [\(link\)](#)

Aquesta tesi s'enfoca en el càlcul de propietats de sistemes quàntics de molts cossos amb interaccions d'acoblament espín-òrbita. S'utilitzen mètodes de Monte Carlo 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.



PASSADES I FUTURES TESIS DOCTORALS

Títol: Artificial intelligence solutions for quantum Communications

Nom de l'autor de la tesi: SEYED MORTEZA AHMADIAN

Data de lectura: Juny 2023

Títol: Quasi-Perfect Codes for the Classical-Quantum Channel

Nom de l'autor de la tesi: Andreu Blasco, Dpt. of Signal Theory and Communications, UPC, Barcelona, Spain.

Data de lectura: Setembre 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



Master's degree in Advanced Telecommunication Technologies (MATT)

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 poden estar 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.



Master's degree in Cybersecurity

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



Master's degree in Quantum Science and Technology

El màster en Ciència i Tecnologia Quàntiques que coordina la Universitat de Barcelona (UB) amb la participació de la UPC, proporciona a l'estudiantat coneixements avançats, equipant-los per realitzar investigacions teòriques i experimentals d'avantguarda en simulació quàntica, computació quàntica, sensors quàntics i comunicacions quàntiques, així com investigació purament teòrica.

European Master For High Performance Computing - (EUMaster4HPC)

El HPC European Consortium Leading Education Activities (EUMaster4HPC) té com a objectiu desenvolupar un nou i innovador programa de màster europeu centrat en solucions d'alt rendiment per abordar aquests problemes. El programa mestre pretén catalitzar diversos aspectes de l'ecosistema HPC i les seves aplicacions en diferents àmbits científics i industrials.

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 enginyers, matemàtics, físics, informàtics o altres professionals de les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC) interessats 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.



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**