

Les tecnologies quàntiques a Catalunya

ACCIÓ
Generalitat de Catalunya



Els continguts d'aquest document estan subjectes a una llicència Creative Commons. Si no s'indica el contrari, se'n permet la reproducció, distribució i comunicació pública sempre que se'n citi l'autor, no se'n faci un ús comercial i no se'n distribueixin obres derivades. Podeu consultar un resum dels termes de la llicència a:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

L'ús de marques i logotips en el present informe és merament informatiu. Les marques i logotips esmentats pertanyen als seus respectius titulars i en cap cas són titularitat d'ACCIÓ. Aquesta és una representació il·lustrativa parcial de les empreses, organitzacions i entitats que formen part de l'ecosistema de les tecnologies quàntiques. Poden haver-hi empreses, organitzacions i entitats que no han estat incloses en l'estudi.

Realització

Unitat d'Estratègia i Intel·ligència Competitiva d'ACCIÓ

Col·laboració

Àrea de Promoció del Sector Digital. Secretaria de Polítiques Digitals

Barcelona, juliol del 2026

Resum executiu

1. Definició de quàntica
2. Mercat mundial de la quàntica
3. Propietat intel·lectual i producció científica
4. Iniciatives al món, a Europa i a Espanya en TQ
5. Oportunitats, reptes i tendències de la quàntica
6. Àmbits d'aplicació i ODS
7. La quàntica a Catalunya
8. Casos d'èxit a Catalunya

Agraïments

Les tecnologies quàntiques a Catalunya

Resum executiu

Resum executiu: les tecnologies quàntiques al món

5

Les **tecnologies quàntiques** són un conjunt de tecnologies emergents que aprofiten els principis de la mecànica quàntica, una branca de la física que descriu el comportament de la matèria a nivell atòmic i subatòmic



Disciplines de les TQ



Computació quàntica i simulació



Comunicacions quàntiques



Sensors quàntics



Principals aplicacions



Finances i assegurances



Enginyeria civil i aeroespacial



Recursos i infraestructures crítiques



Telecomunicacions i ciberseguretat



Serveis



Indústria 4.0



Mobilitat i logística



Farma i salut



Importància de les TQ

- Resolució de problemes complexos
- Càlculs potents, avançats i molt més ràpids
- Comunicacions i encriptacions més segures
- Metrologia i sensors més potents i precisos
- Simulació de processos i models



Boom de la computació quàntica: s'espera que en la propera dècada aquesta disciplina tingui un creixement exponencial d'entre el 12 i 16% interanual, amb inversions milionàries i estratègies nacionals pel seu desenvolupament a tot el món.



Mercat mundial

- El mercat global de les TQ podria assolir un valor de mercat estimat de **215.000 M\$ al 2040**.
- Els principals països i regions mundials en TQ són la **Xina**, els **Estats Units**, la **UE**, **Canadà**, el **Regne Unit**, **Corea del Sud** i el **Japó**.



Oportunitats de les TQ

- Solució i simulació de problemes complexos
- Criptografia i major seguretat
- Sensors i metrologia
- Plans públics d'inversió i desenvolupament de les TQ
- Aprenentatge automàtic quàntic
- Desenvolupament de la cadena de valor i indústria auxiliar



Reptes de les TQ

- Regulació i seguretat
- Desenvolupament de la tecnologia
- Correcció d'errors
- Talent
- Inversions i costos elevats
- Equilibri d'expectatives

Resum executiu: les tecnologies quàntiques a Catalunya

6

52 empreses al llarg de la cadena de valor



30 empreses més respecte el 2019.

Facturació de **91,4 M€ de facturació**.

470 llocs de treball generats.

El **17,3%** de les empreses són **startups**.

Destaquen:

Per àmbit tecnològic:

-  Comunicació i encriptació (**51,9%**)
-  Computació quàntica (**44,2%**)
-  Aplicacions i tecnologies facilitadores (**42,3%**)

Per sector d'aplicació:

-  Indústria 4.0 (**80,8%**)
-  Enginyeria civil i aeroespacial (**61,5%**)

Startups punteres en TQ



Catalunya compta amb startups punteres a nivell europeu i mundial que desenvolupen les TQ, principalment en els camps de **la computació quàntica**, la **comunicació** i l'**encriptació quàntiques**, i els **algoritmes quàntics**.

Atractiva per a la recerca i projectes de desenvolupament de les TQ



Catalunya va captar el **44,4%** del finançament per a **projectes amb algun component quàntic a l'Horizon Europe** a l'Estat espanyol entre 2022 i 1r. Trim. 2026 i un **2,7% del total de finançament captat a la UE**

El **3,5%** dels 203 *hubs* tecnològics d'empreses estrangeres establerts a Catalunya treballen amb les TQ.

Primer **ordinador quàntic** d'Espanya a Catalunya al BSC, construït amb tecnologia 100% europea



Iniciatives de referència



Excel·lència en R+D

Centres tecnològics, de recerca i infraestructura punteres



Les tecnologies quàntiques a Catalunya

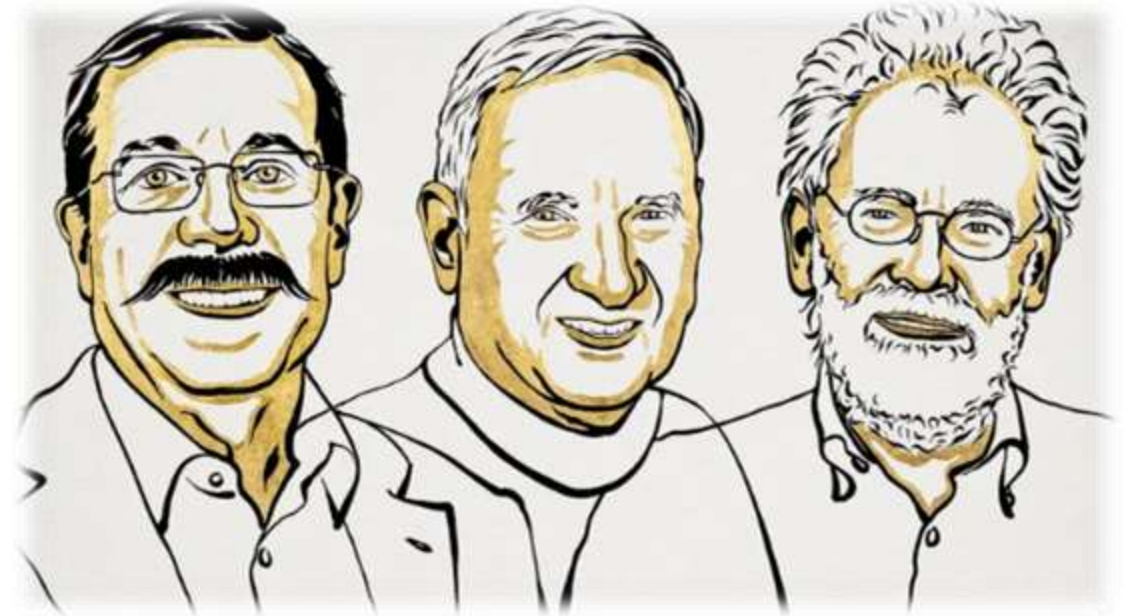
1. Definició de quàntica

Premi Nobel de Física 2022

El **Premi Nobel de Física 2022** es va atorgar conjuntament a Alain Aspect, John F. Clauser i Anton Zeilinger:

“per experiments amb fotons entrellaçats, establint la violació de les desigualtats de Bell i **pioners en la ciència de la informació quàntica**”.

El premi també reconeix que aquests fenòmens quàntics s'estan convertint en la columna vertebral d'una **indústria quàntica emergent**.

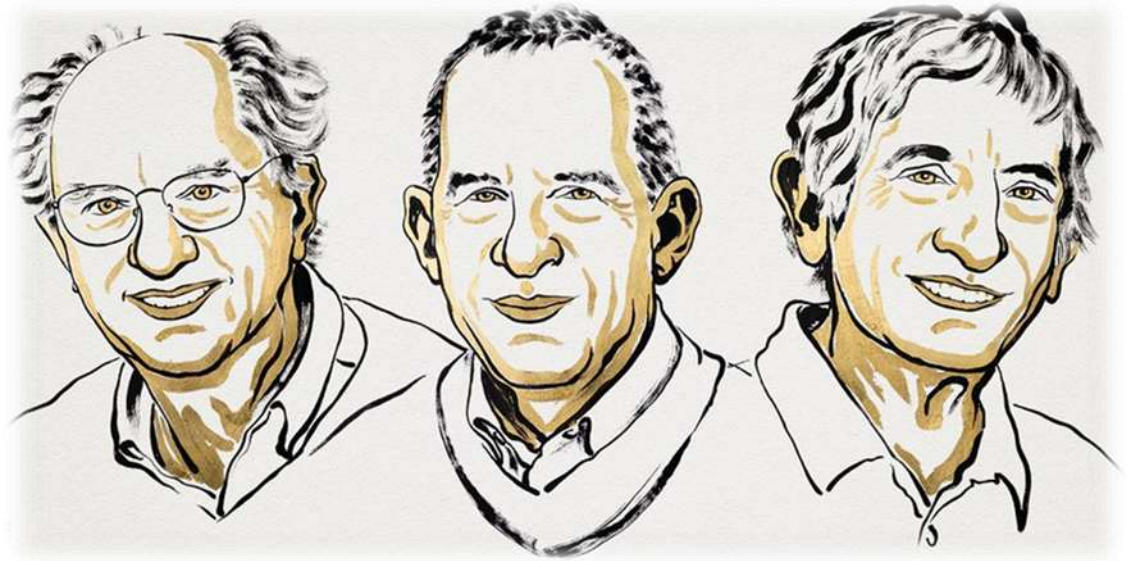


Premi Nobel de Física 2025

El **Premi Nobel de Física 2025** s'ha atorgat conjuntament a John Clarke, Michel H. Devoret i a John M. Martinis:

“pel descobriment de l'**efecte túnel quàntic macroscòpic** i la **quantització de l'energia** en un circuit elèctric”.

Aquesta troballa uneix el món quàntic amb el macroscòpic i obre portes a noves tecnologies com la **computació quàntica**, la criptografia quàntica i els sensors quàntics.



Les **tecnologies quàntiques** són un conjunt de tecnologies emergents que aprofiten els principis de la mecànica quàntica, una branca de la física que descriu el comportament de la matèria a nivell atòmic i subatòmic.

- A diferència de les tecnologies clàssiques, que es basen en propietats macroscòpiques, les tecnologies quàntiques treballen amb sistemes quàntics individuals que poden presentar propietats i comportament contra intuïtius.
- El nucli de les tecnologies quàntiques rau en la seva capacitat per aprofitar efectes quàntics únics:
 - **Superposició:** els sistemes quàntics poden existir en diversos estats alhora. Això pot permetre realitzar càlculs i operacions de forma paral·lela.
 - **Entrellaçament:** les partícules quàntiques es poden correlacionar de maneres que no tenen un anàleg clàssic. Dos partícules quàntiques poden estar entrellaçades, de manera que l'estat d'una es lliga de manera instantània en l'estat de l'altre sense tenir en compte la distància que les separa. Aquesta propietat té aplicacions en la comunicació quàntica.
 - **Efecte túnel:** Les partícules poden travessar barreres d'energia que serien infranquejables en la física clàssica.

Font: elaboració pròpia a partir de Quside, Oxford Insights, Australian Research Centre Quantica-Vall Mediterrània de la Ciència i les Tecnologies Quàntiques; PwC: Quantum Technology Monitor

Les revolucions quàntiques

11

Primera revolució de la tecnologia quàntica

La “primera revolució quàntica”, es va produir fa aproximadament un segle gràcies als desenvolupaments de Planck, Einstein, Bohr, Heisenberg, Schrödinger entre d'altres, que van donar lloc a la mecànica quàntica. La física quàntica va ajudar a entendre les interaccions químiques, la taula periòdica i les funcions d'ona electròniques que sustenten la física dels semiconductors electrònics.

Avui dia, hi ha molts dispositius que depenen de manera crítica de la nostra comprensió dels efectes de la mecànica quàntica. Aquests inclouen el transistor, el làser, el GPS, els dispositius semiconductors i la ressonància magnètica.

Segona revolució de la tecnologia quàntica

Des d'aleshores s'han fet avenços significatius i els científics i les empreses ara són capaços de controlar amb més precisió les partícules individuals i les seves interaccions físiques, i de construir noves tecnologies i sistemes que explotin les propietats de la física quàntica subjacent, incloent la superposició i l'entrellaçat.

Aquesta "segona revolució quàntica" es coneix comunament com a "Tecnologies quàntiques". Aquests desenvolupaments han donat lloc a importants avenços tècnics en diverses àrees, com ara la informàtica quàntica, els sensors quàntics, les comunicacions i la simulació quàntica.

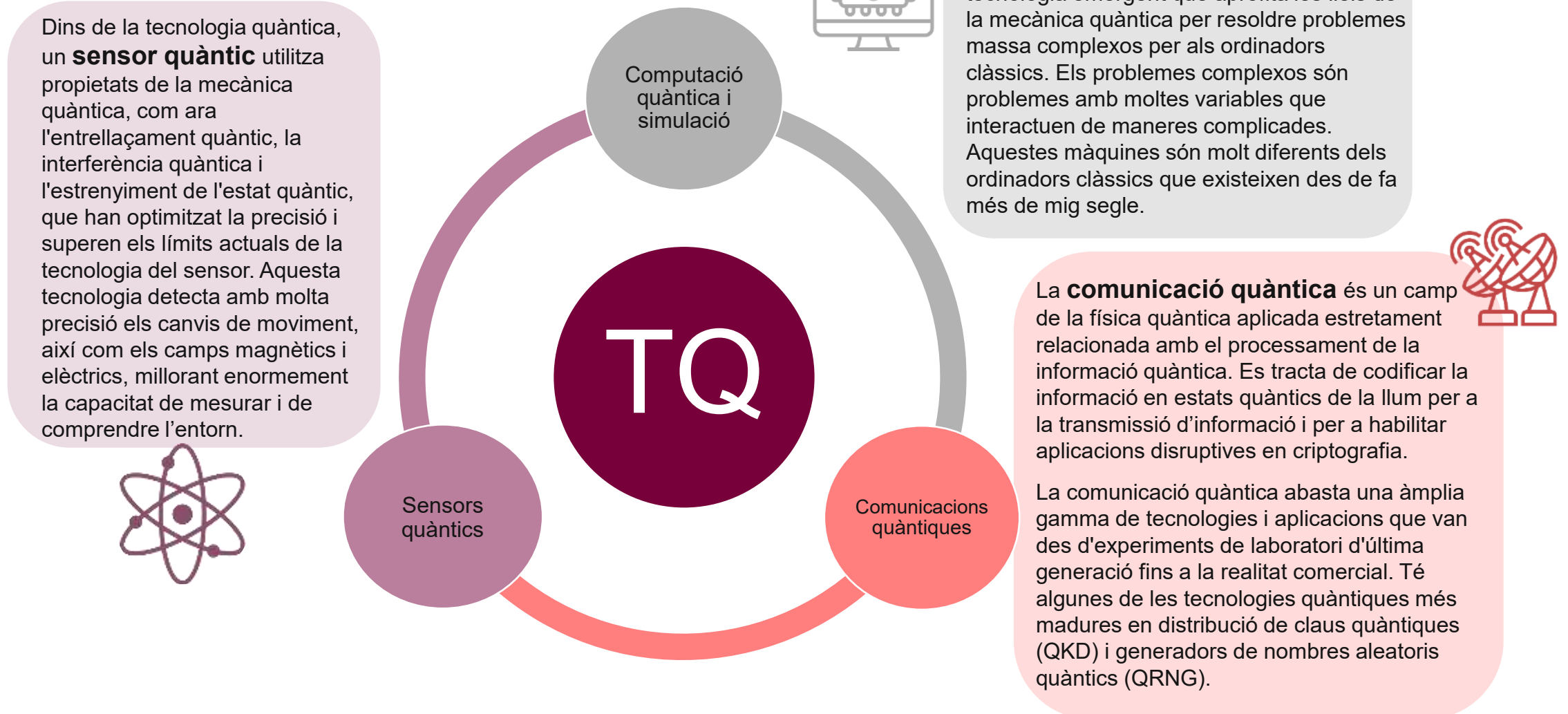


Font: Quside, Quantica-Vall Mediterrània de la Ciència i les Tecnologies Quàntiques

Fem avui l'**empresa** del demà

Tecnologies quàntiques (TQ)

12



Font: elaboració pròpia a partir de IBM. MIT Technology review; Quside,; PwC: Quantum Technology Monitor

La **computació quàntica** es basa en els principis de la superposició de la matèria i l'entrellaçament quàntic i utilitza un mètode de càlcul diferent del tradicional. En teoria, seria capaç d'emmagatzemar molts més estats per unitat d'informació i operar amb algorismes molt més eficients a nivell numèric.

- La computació quàntica utilitza el qbit com a unitat bàsica d'informació en lloc del bit convencional. Un **qbit** és un sistema quàntic de dos estats. Alguns exemples són: l'spin de l'electró (els estats són: spin up i spin down), o la polarització d'un fotó individual (els estats són: polarització vertical i polarització horitzontal)
- Els bits, en canvi, només poden tenir un valor alhora, un 0 o un 1, però un qbit pot ser 0 i 1 alhora, i en diferents proporcions. Aquesta multiplicitat d'estats fa possible que un ordinador quàntic amb només 30 qbits, per exemple, realitzi 10.000 milions d'operacions de coma flotant per segon.



Llenguatge de programació

La informàtica quàntica no té codi de programació propi i requereix el desenvolupament i la implementació d'algorismes molt específics.

Funcionalitat

Els ordinadors quàntics no estan pensats per a un ús quotidià generalitzat, a diferència dels ordinadors personals (PC). Aquests superordinadors són tan complexos que només es poden utilitzar, de moment, en l'àmbit corporatiu, científic i tecnològic.

Arquitectura

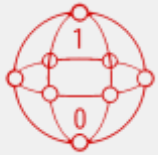
Els ordinadors quàntics tenen una arquitectura més senzilla que els ordinadors convencionals i no tenen memòria ni processador. L'equip consta únicament d'un conjunt de qbits que el fan funcionar.

Condicions de funcionament

Els ordinadors quàntics són extremadament sensibles i requereixen condicions molt estrictes per mantenir la coherència quàntica dels qbits, i és fonamental per processar i emmagatzemar informació de manera fiable. Necessiten operar a temperatures properes al zero absolut (-273 °C), on el moviment dels àtoms és pràcticament nul, amb baixa pressió i un fort aïllament magnètic. Això evita que els qbits interaccionin amb l'entorn, cosa que provoca errors de mesura i decoherència, trencant així els estats quàntics necessaris per als càlculs.

Font: IBM, AWS, Caltech, McKinsey

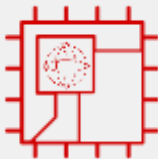
Computació quàntica



Calcula amb qbits, que poden representar 0 i 1 al mateix temps



La potència augmenta exponencialment en proporció al nombre de qbits



Els ordinadors quàntics tenen taxes d'error altes i han de mantenir-se a temperatures ultra-fredes



És adequada per a tasques com problemes d'optimització, anàlisi de dades i simulacions

Computació clàssica

Calcula amb transistors, que només poden representar 0 o 1



La potència creix en una proporció directa (1:1) amb el nombre de transistors



Els ordinadors clàssics tenen taxes d'error baixes i poden operar a temperatura ambient



La major part de les tasques quotidianes es gestionen millor per ordinadors clàssics



La **comunicació quàntica** té com a objectiu distribuir estats quàntics i recursos quàntics (com ara qbits i entrellaçament) entre parts remotes. El principal avantatge de la comunicació quàntica és el seu potencial per proporcionar canals de comunicació segurs que teòricament són immunes a certs tipus de hackeig.

- **QKD (Quantum Key Distribution) Distribució de claus quàntiques** és un mètode que permet a dues parts produir una clau secreta aleatòria compartida que només coneixen ells, que després es pot utilitzar per xifrar i desxifrar missatges. La seguretat de QKD es basa en els principis de la mecànica quàntica. Qualsevol intent d'escoltar la comunicació quàntica alterarà els estats quàntics i les parts poden detectar aquesta interferència.
- Els **generadors de nombres aleatoris (RNG)** generen cadenes aleatòries de bits que s'utilitzen com a claus en el xifratge de dades. Aquestes claus funcionen amb algorismes de xifratge i són crucials per garantir la seguretat de les dades. Tanmateix, els RNG més utilitzats no generen números realment aleatoris, de manera que les dades i les comunicacions xifrades són cada cop més vulnerables als pirates informàtics. La solució més segura per al xifrat és l'ús de generadors de nombres aleatoris quàntics (**QRNG**). Aquests utilitzen els principis de la física quàntica per a la veritable aleatorietat. Els QRNG extreuen els seus nombres aleatoris de processos quàntics inherentment indeterministes. La incapacitat de predir els nombres no es basa només en la complexitat, sinó que en principi és impossible predir nombres aleatoris produïts per QRNG.
- **Teletransportació quàntica:** la teletransportació quàntica és un procés pel qual l'estat quàntic d'una partícula es pot transmetre d'un lloc a un altre amb l'ajuda de partícules entrellaçades i la comunicació clàssica. És important tenir en compte que això no implica el transport físic de partícules sinó la transferència d'informació quàntica
- **Xarxes quàntiques:** Com a objectiu a llarg termini, la comunicació quàntica té com a fita connectar a la mateixa xarxa diferents nodes quàntics (com ordinadors quàntics, sensors quàntics o rellotges quàntics) a través de canals quàntics en una internet quàntica, obrint el camí a aplicacions noves. Un aspecte rellevant a considerar en aquest objectiu, per a un desenvolupament sostenible de la comunicació quàntica, és la seva integració en la infraestructura de xarxa en coexistència amb sistemes clàssics.



Font: Quside, Quantica, The Quantum Insider, Cornell University

La detecció quàntica és l'ús de sistemes quàntics (**sensors quàntics**) per fer mesures a escala atòmica. La detecció quàntica es relaciona amb la metrologia quàntica que busca crear mesures d'alta sensibilitat i alta resolució de condicions físiques mitjançant la teoria quàntica.

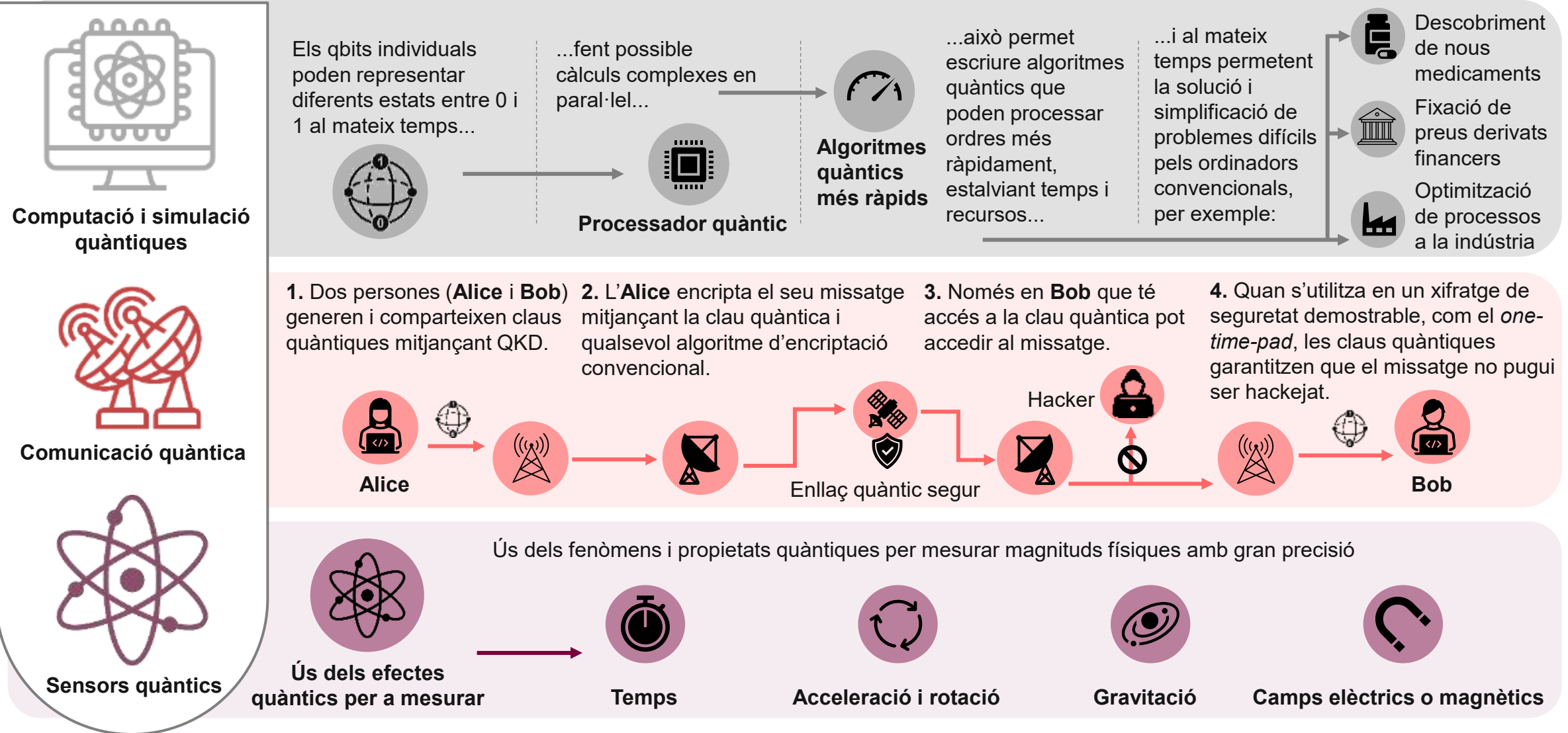
- Les tecnologies quàntiques ofereixen maneres completament noves de superar els límits clàssics i, utilitzant qbits per a la detecció, avançar per desenvolupar un nou maquinari per a la detecció i la metrologia.
- Els sensors quàntics utilitzen estats quàntics per a les mesures. Aprofiten el fet que els estats quàntics són extremadament sensibles a les pertorbacions, això vol dir que també tenen el potencial de convertir-se en instruments de mesura extraordinàriament sensibles.
- Els dispositius de mesura basats en propietats quàntiques fa temps que es fan servir, com ara els rellotges atòmics, els mesuradors de distància làser o les imatges de ressonància magnètica utilitzades en diagnòstics mèdics. La novetat actual rau en el fet que sistemes quàntics individuals, com ara àtoms i fotons, s'empren cada cop més com a sondes de mesura. A més, l'entrellaçament i la manipulació d'estats quàntics permeten millorar-ne la sensibilitat, fins i tot superant el límit imposat per la formulació clàssica del principi d'incertesa de la mecànica quàntica.
- El principi d'incertesa de la mecànica quàntica limita la precisió amb què es poden fer les mesures. Tanmateix, les tècniques quàntiques es poden utilitzar per millorar la precisió de la mesura més enllà del que abans es percebia com el límit establert pel principi d'incertesa. L'estat quàntic de la sonda de mesura es pot manipular de manera que la incertesa es traslladi a una altra magnitud física que la que s'ha de mesurar (això s'anomena estat comprimit). Aleshores, la magnitud física d'interès es pot mesurar amb una millor precisió. Els estats quàntics també es poden manipular per fer que la mesura sigui immune a les fonts de soroll més fortes.
- Proporcionen mesures més precises i augmentaran el rendiment dels dispositius i serveis de consum, des de diagnòstics mèdics i imatges, navegació d'alta precisió, fins a aplicacions futures a l'Internet de les coses.



Font: Quantum cat, Quantica, Munich Center for Quantum Science and Technology

Funcionament de cada tecnologia quàntica

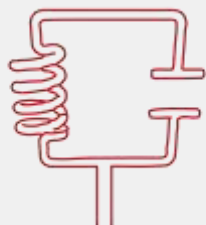
17



Tipus de qbits (I)

18

**Qbits
superconductors**



**Qbits
topològics**



**Qbits d'spin
nuclear**



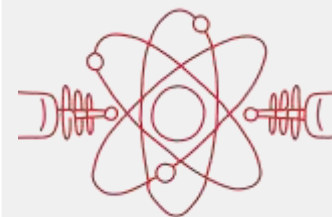
**Qbits d'ions
atrapats**



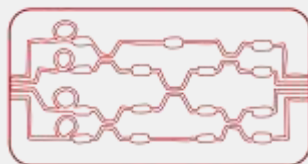
**Qbits de punts
quàntics
(quantum dots)**



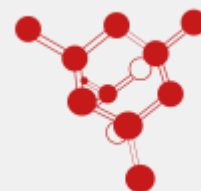
**Qbits d'àtoms
neutres**



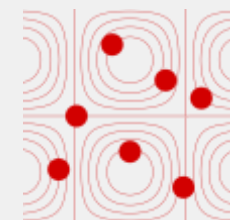
Qbits de fotons



**Qbits de diamant
(defectes NV en
diamant)**



**Qbits d'àtoms
superfreds**



Tipus de qbits (II)

Qbits superconductors	Qbits d'ions atrapats	Qbits de fotons	Qbits topològics
Circuits elèctrics especialment dissenyats per a mantenir estats quàntics . La superconducció permet que els electrons flueixin sense resistència.	Aquests qbits utilitzen els estats de spin electrònic i nuclear dels ions individuals. Els ions es mantenen atrapats en camps electromagnètics i es manipulen mitjançant làsers o microones per canviar el seu estat quàntic.	Aquests qbits es basen en les propietats quàntiques de la llum. Utilitzen la polarització i la fase dels fotons com a representació dels estats quàntics.	Es fonamenta en propietats topològiques dels materials. Els qbits topològics es basen en la manipulació de quasitons (quasi-partícules) que s'entrellacen de manera que formen "nusos" quàntics. Aquests nusos són molt resistents als errors.
Són relativament fàcils d'integrar en circuits i poden operar a velocitats altes. Aquesta és la tecnologia més utilitzada	Són molt estables, amb temps de coherència llargs, poden mantenir els seus estats durant més temps. Ions de Ca, Mg, Be	Els fotons són ideals per a la comunicació quàntica, ja que poden viatjar grans distàncies amb poca pèrdua d'informació	Teòricament, són molt estables i resistents a les interferències, cosa que els faria ideals per a computadors quàntics escalables.
Necessiten temperatures properes al zero absolut, la qual cosa implica l'ús de refrigeració criogènica.	La tecnologia requereix sistemes complexos per mantenir els ions atrapats i controlats, i escalar pot ser un repte.	Els qbits de fotons són difícils d'emmagatzemar i manipular per a tasques de computació quàntica, i requereixen una infraestructura complexa per a la detecció.	La recerca està en curs, sense una implementació completa encara

Tipus de qbits (III)

Qbits de punts quàntics (quantum dots)	Qbits de diamant (defectes NV en diamant)	Qbits d'spin nuclear
Els punts quàntics són nanoestructures semiconductores que confinen electrons, utilitzant l'spin de l'electró com a estat quàntic. Es controla mitjançant portes elèctriques i camps magnètics	Utilitzen defectes (vacants de nitrogen en l'estructura de diamant per a crear llocs on els estats quàntics es poden manipular fent servir camps magnètics i llum.	Es basen en l'spin dels nuclis atòmics, controlant aquests estats amb camps magnètics o tècniques de ressonància magnètica nuclear
Aquesta tecnologia es pot integrar en circuits de semiconductors i xips. Es pot implementar utilitzant materials semiconductors com el silici.	Aquests qbits són extremadament resistents a la interferència ambiental, i per tant, són molt adequats per a aplicacions de sensors quàntics.	Són molt estables, tenen temps de coherència molt llargs, i es podrien utilitzar per a memòries quàntiques.
El control i la fabricació de punts quàntics són molt difícils i poden ser sensibles a les impureses del material.	Tot i ser útils per a sensors, són difícils d'escalar en un sistema de computació quàntica general.	Els qbits de fotons són difícils d'emmagatzemar i manipular per a tasques de computació quàntica, i requereixen una infraestructura complexa per a la detecció.

Tipus de qbits (IV)

Qbits d'àtoms neutres

Els àtoms neutres, com els d'estronci o rubidi, es confinen en xarxes òptiques amb làsers que els mantenen en posicions fixes. Els qbits es defineixen pels nivells d'energia d'aquests àtoms.

Estabilitat amb temps de coherència llargs; escalabilitat, es poden manipular en xarxes 2D i 3D; es poden fer servir diferents tipus d'àtoms.

Manipular àtoms en xarxes òptiques necessita làsers avançats, les portes quàntiques són més lentes que amb qbits superconductors. Requereix ultra alt buit.

Qbits d'àtoms superfreds

Els àtoms es refreden a temperatures properes al 0K. A aquestes temperatures es redueix el moviment tèrmic dels àtoms, augmentant la coherència quàntica i facilitant la manipulació.

Alta estabilitat i coherència, control precís sobre l'estat quàntic. Poden ser idonis per a aplicacions de simulació quàntica i tasques computacionals complexes.

Sistemes de refrigeració a temperatures ultrafredes.

- Els àtoms neutres ofereixen una estructura natural per construir xarxes de qbits en dues o tres dimensions, cosa que podria ser molt útil per a simulacions quàntiques en física i química.
- Els àtoms superfreds, amb el seu alt grau de control, són bons candidats per a simulacions complexes que requereixen una precisió molt alta.
- Aquestes tecnologies tenen el potencial de complementar altres qbits, com els superconductors, en futurs sistemes híbrids de computació quàntica.

Fonts: elaboració pròpia a partir de Quantum Microsoft, Institute for quantum computing, quantum computing, IBM, Google

Els materials quàntics presenten propietats úniques derivades de fenòmens quàntics que tenen un impacte significatiu en les propietats macroscòpiques. Aquestes propietats especials fan que siguin molt interessants per a noves tecnologies, especialment en computació quàntica, electrònica avançada, emmagatzematge d'energia i sensors d'alta precisió.

Superconductors	Permeten el flux de corrent elèctric sense cap resistència quan es refreda per sota d'una certa temperatura crítica.	Són la base dels qbits superconductors, i també s'utilitzen en màquines d'RMN i en acceleradors de partícules.
Materials Topològics	Materials que són aïllants al seu interior però condueixen electricitat a la superfície.	Aquests materials són prometedors per a qbits topològics, electrònica de baixa potència i sensors magnètics ultra-sensibles.
Aïllants de Mott	Els electrons no es mouen lliurement per la interacció electró-electró, creant un comportament correlacionat que permet manipular les propietats elèctriques i magnètiques.	Són útils en electrònica avançada i per a emmagatzematge d'energia.
Materials de Baixa Dimensionalitat	Materials com el grafè mostren conductivitat elèctrica excepcional i resistència mecànica. Aquests materials tenen propietats òptiques i electròniques úniques.	El grafè s'utilitza en dispositius electrònics, sensors, bateries. També s'investiguen per a circuits quàntics i aplicacions de fotònica.
Cristalls de Temps	Els cristalls de temps són materials que mostren patrons repetitius en el temps, a diferència dels cristalls convencionals, que tenen patrons repetitius en l'espai.	Encara en fase de recerca, els cristalls de temps podrien tenir aplicacions en memòries quàntiques i computació quàntica.
Materials Magnètics Quàntics	Materials que generen camps magnètics degut a l'alineament dels espins dels seus electrons.	Poden ser usats per crear memòries quàntiques, sensors magnètics de precisió o en spintrònica.

Fonts: elaboració pròpia a partir de "The physics of quantum materials", Nature; Institut de ciència de Materials, CSIC; Institut Català de nanociència i nanotecnologia (ICN2); Chemical Reviews. "Quantum Materials"

Algorismes quàntics

Un algorisme quàntic és una seqüència d'instruccions que s'executa en un ordinador quàntic i que explota les propietats de la mecànica quàntica (com la superposició, l'entrellaçament i la interferència) per realitzar càlculs.

Algorismes de cerca i optimització

L'algorisme de Grover.
S'utilitza per a cercar a bases de dades no ordenades

Algorismes de factorització

Algorisme de Shor.
Es fa servir per a factoritzar nombres enters.
Té aplicació en criptografia

Algorismes basats en simulació quàntica

Aquests algorismes estan dissenyats per simular sistemes quàntics complexos.
Tenen aplicacions potencials en química, ciència de materials i fàrmacs.

Algorismes de Monte Carlo quàntics

Els mètodes de Monte Carlo són tècniques d'estimació probabilística utilitzades en finances i estadística. Els ordinadors quàntics poden millorar-los reduint l'error amb menys simulacions, augmentant així l'eficiència.

Algorismes variacionals quàntics (VQA):
Combinen circuits quàntics i optimitzadors clàssics.
Algorismes adiabàtics quàntics: per trobar l'estat de mínima energia, la solució òptima.

Algorismes d'optimització

Els algorismes d'aprenentatge automàtic quàntic aprofiten la capacitat de processament quàntic per millorar tasques d'aprenentatge com la classificació, la regressió i la reducció de dimensionalitat

Aprenentatge automàtic quàntic

El quantum annealing és una tècnica de càlcul quàntic específica per a problemes d'optimització combinatòria

Algorismes basats en el Quantum Annealing

Alguns algorismes utilitzen estats quàntics entrellaçats i no locals per crear xarxes de respostes ràpides mitjançant patrons d'interferència.

Algorismes Topològics

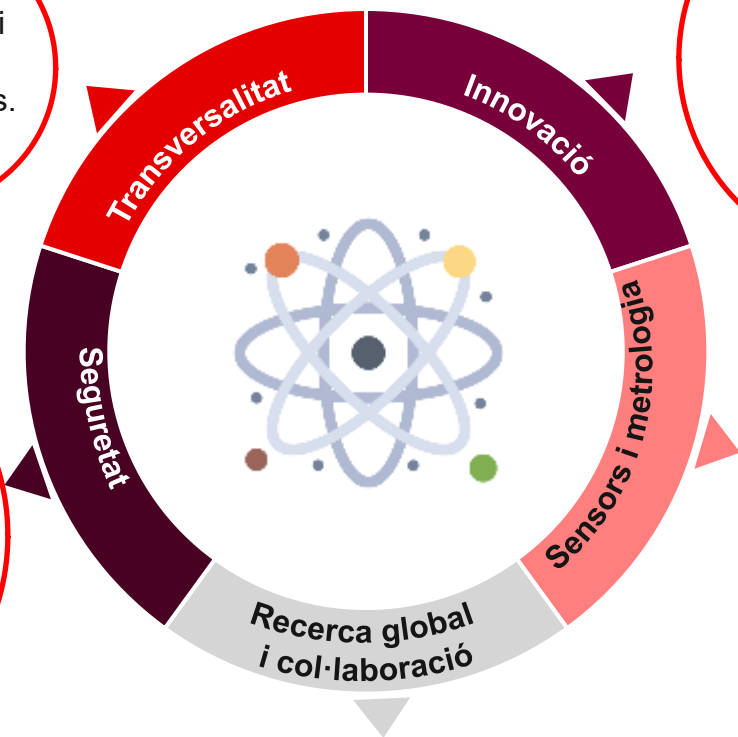
S'espera que les tecnologies quàntiques revolucioni indústries com les finances, la sanitat i la fabricació resolent problemes complexos, optimitzant processos i habilitant noves capacitats.

Les aplicacions de seguretat de la computació quàntica poden tenir la capacitat de "trencar" el xifratge segur, realitzar simulacions complexes i analitzar conjunts de dades massius per millorar la detecció d'amenaçes i la presa de decisions. A més, les tecnologies quàntiques permeten una criptografia resistent, que és vital per millorar la seguretat de les dades i les comunicacions en diverses indústries.

La investigació quàntica és un esforç global, amb països i organitzacions que inverteixen significativament en el seu desenvolupament. La col·laboració i la cooperació en aquest camp són crucials per impulsar la innovació i abordar les possibles implicacions de seguretat.

Les tecnologies quàntiques, poden simular i optimitzar les propietats de nous materials a una velocitat i un nivell de complexitat que superen amb escreix els ordinadors clàssics. Això té implicacions per a indústries com el desenvolupament de materials, productes químics, el disseny de medicaments, l'exploració de recursos naturals i la producció d'energia.

Els sensors quàntics proporcionen mesures extremadament precises que milloren el rendiment de dispositius en sectors tals com el diagnòstic mèdic, la navegació d'alta precisió o l'enginyeria civil.



Les tecnologies quàntiques a Catalunya

2. Mercat mundial de la Quàntica

- L'**auge de les tecnologies** quàntiques es pot atribuir a diferents factors, entre els quals es pot destacar el punt de transició dels avenços teòrics a la aplicació pràctica; millores en la manipulació quàntica, qbits més robustos i estables que comencen a albirar la creació de valor tangible per a les indústries; el desenvolupament de tecnologies quàntiques de comunicació, especialment els protocols QKD i la generació de nombres aleatoris, que tenen un impacte important en criptografia i seguretat de les comunicacions; l'aparició d'un nou ecosistema d'empreses i startups, que malgrat l'estat incipient estan explorant aplicacions en diferents camps.
- Tot això ha generat un gran interès per a la indústria, grans empreses de tecnologies, institucions i governs han reconegut el seu potencial i s'estan fent inversions significatives pel seu desenvolupament.
- Atès el seu **potencial disruptiu**, s'ha creat una competència internacional per a liderar aquest camp, i això ha estimulat les inversions i la recerca a tot el món, especialment en el camp de la computació quàntica per tal d'assolir el que es coneix com la "supremacia quàntica", que seria una carrera per aconseguir l'ordinador quàntic més potent (amb més i millors qbits) capaç de realitzar qualsevol càlcul que cap altre ordinador convencional pugui realitzar.



Fonts: ACCIÓ i the Quantum Magazine

Fem avui l'**empresa** del demà

Mercat de les tecnologies quàntiques (TQ)

27

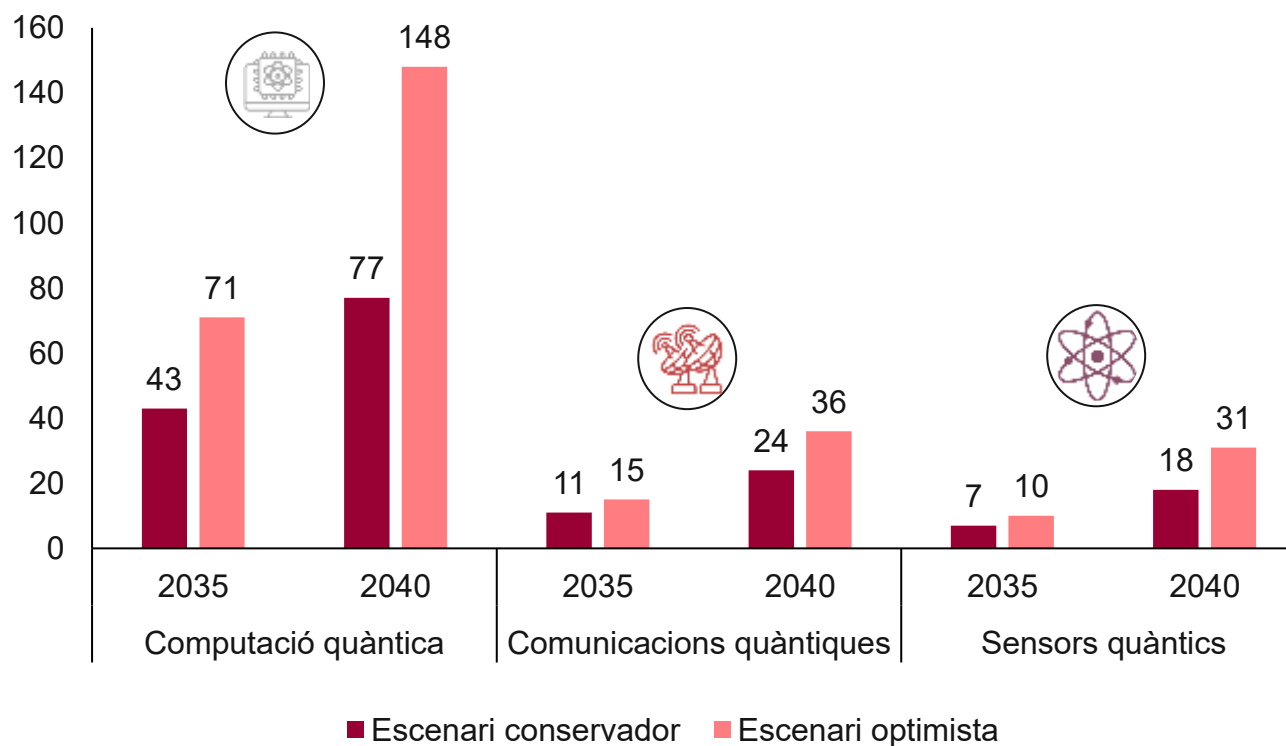
El **mercant global de les TQ podria assolir un valor de mercat estimat de 215.000 milions de dòlars al 2040**. La computació quàntica podria assolir un valor de mercat de 148.000 milions de dòlars, les comunicacions quàntiques 36.000 milions de dòlars i els sensors quàntics 31.000 milions de dòlars, totes elles en un escenari optimista.

- Les TQ tindran un creixement progressiu en els propers anys atesa a la cada vegada major demanda de computació d'altres prestacions, el risc dels ciberatacs i les possibilitats d'aplicacions en una gran varietat d'indústries, com salut, les comunicacions, química i farmacèutica, banca, serveis financers, i defensa, per optimitzar processos, processar grans volums de dades i donar resposta a problemes complexos irresolubles pels computadors convencionals.



Valor del mercat de les tecnologies quàntiques al 2035 i al 2040

(escenaris conservador i optimista, en milers de milions de dòlars)



Font: *Quantum Technology Monitor* (april 2026), McKinsey

Fem avui l'**empresa** del demà

Mercat de la computació quàntica

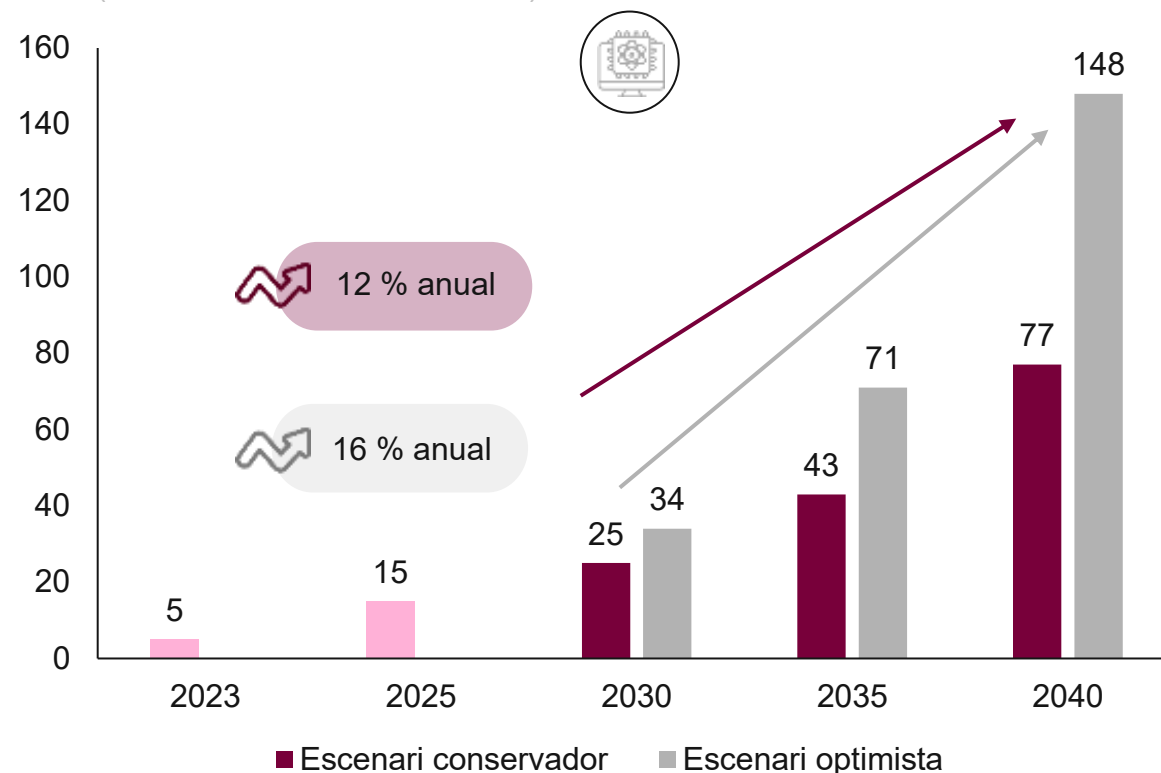
28

La **computació quàntica** és el segment de les TQ que s'espera que creixi més. Es preveu que assolixi un valor de mercat de **148.000 M\$ al 2040**, en un escenari optimista. Es tracta de la TQ que està rebent més inversió de capital, degut a les grans expectatives d'aplicabilitat en múltiples sectors que se n'espera obtenir.

- La correcció d'errors quàntics, les propostes i les demostracions de les grans empreses en TQ estan accelerant l'adopció d'una computació quàntica a gran escala tolerant a errors (*fault-tolerant*).
- Es preveu que en els propers 5 anys la computació quàntica pugui superar a la computació clàssica per a la realització d'algunes tasques. La majoria d'experts del sector creu que la tecnologia està evolucionant més ràpid del que es pensava i que ja es podria tenir al 2028 el primer ordinador amb avantatge quàntic.
- Experts del sector alerten que pugui ocórrer un "coll d'ampolla" similar amb el que ha succeït amb la IA i és que a causa del ràpid creixement de la tecnologia no hi hagi temps a adaptar-s'hi, i la demanda disparada comporti una competència desfermada a nivell mundial en producció i recursos. Tant és així, que la qüestió d'on es desenvolupen i fabriquen els ordinadors quàntics s'ha tornat cada cop més important, ja que recentment els Estats han començat a promulgar controls per limitar les capacitats dels ordinadors quàntics que exporten.
- La computació quàntica en el núvol té una gran potencialitat, donada la bona acceptació per part de les empreses. Els serveis QaaS (*Quantum-as-a-Service*) tenen una gran potencialitat de creixement.

Valor del mercat de la computació quàntica 2023-2040

(en milers de milions de dòlars)



Font: *Quantum Technology Monitor* (April 2026), McKinsey

Fem avui l'**empresa** del demà

Principals regions de rellevància al món

29

A nivell global s'espera que el lideratge entorn al desenvolupament de les tecnologies quàntiques (TQ) continuï estant encapçalat per Amèrica, Àsia i Europa, destacant països com la Xina, els Estats Units, Corea del Sud i el Canadà.



Àsia

S'ha consolidat com a regió líder en patents i està esdevenint un hub capdavanter entorn les TQ

La Xina destaca en les inversions públiques pel desenvolupament de les TQ; molts investigadors mundials són d'aquest país, i compta amb un ecosistema d'startups innovador. El Japó destaca en el desenvolupament computació i sensors, Corea del Sud en comunicacions quàntiques i Taiwan i Xina en desenvolupament de semiconductors. Singapur compta amb un hub quàntic emergent universitari. L'Índia està apostant fortament en desenvolupar talent nacional en computació quàntica.



Nota: l'ordre de presentació no és indicatiu de cap rànquing



Amèrica

Capdavantera en comercialització de computadors quàntics i inversions en startups

Amèrica del Nord es mantindrà com una de les principals regions en desenvolupament de les TQ, destacant els Estats Units i el Canadà com a principals desenvolupadors d'ordinadors quàntics comercialitzats, i captació de rondes d'inversió en startups quàntiques.



Europa

Inversió pública i ràpida adopció de les TQ per part de les empreses

Europa es consolida com una regió potent en recerca, inversió pública i projectes publico-privats de desenvolupament de les TQ. Destaquen països com França, el Regne Unit, Alemanya o els Països Baixos en programes d'inversió pública i la ràpida adopció de les TQ per part d'startups. Suïssa compta també amb empreses destacades en comunicació i computació.



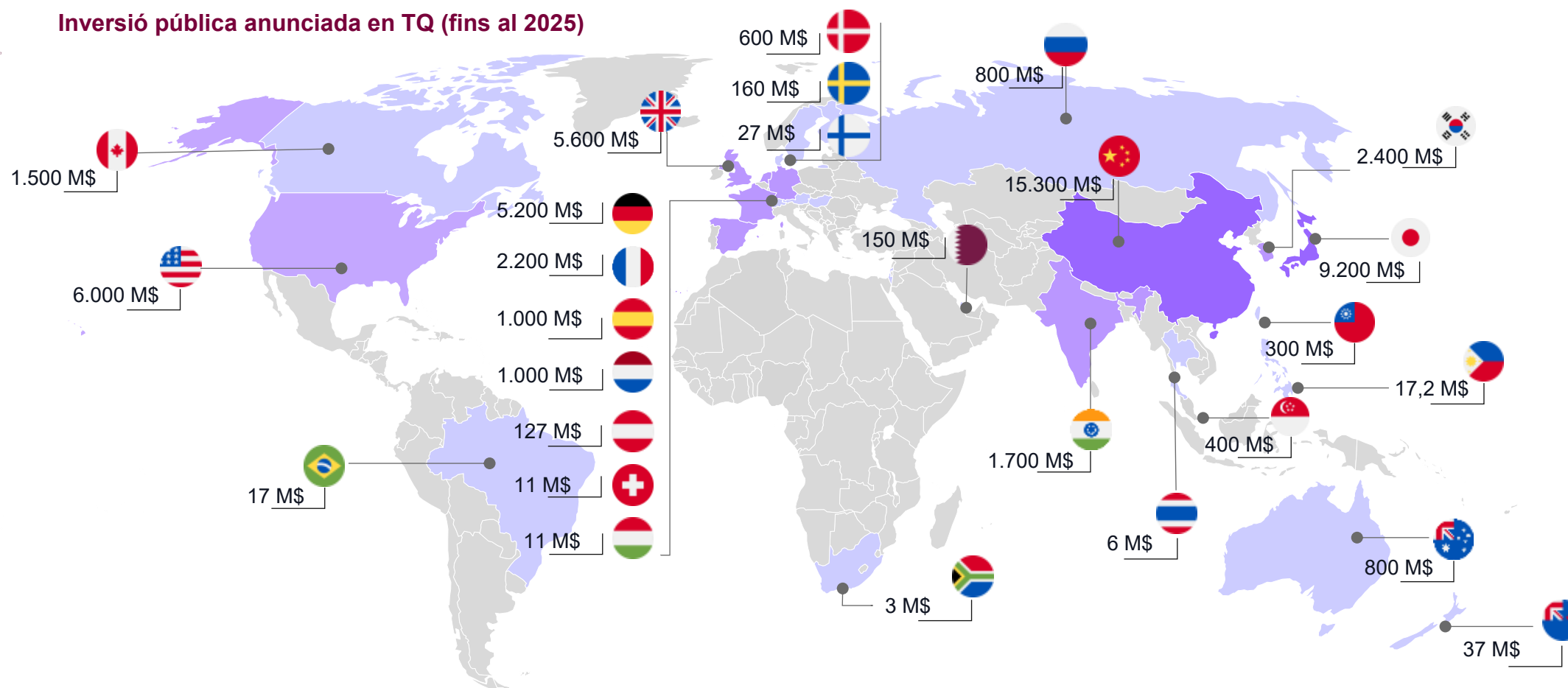
Fonts: McKinsey i the Quantum Insider

Fem avui l'**empresa** del demà

Principals països i regions rellevants en inversió pública en Tecnologies Quàntiques al món

30

Inversió pública anunciada en TQ (fins al 2025)



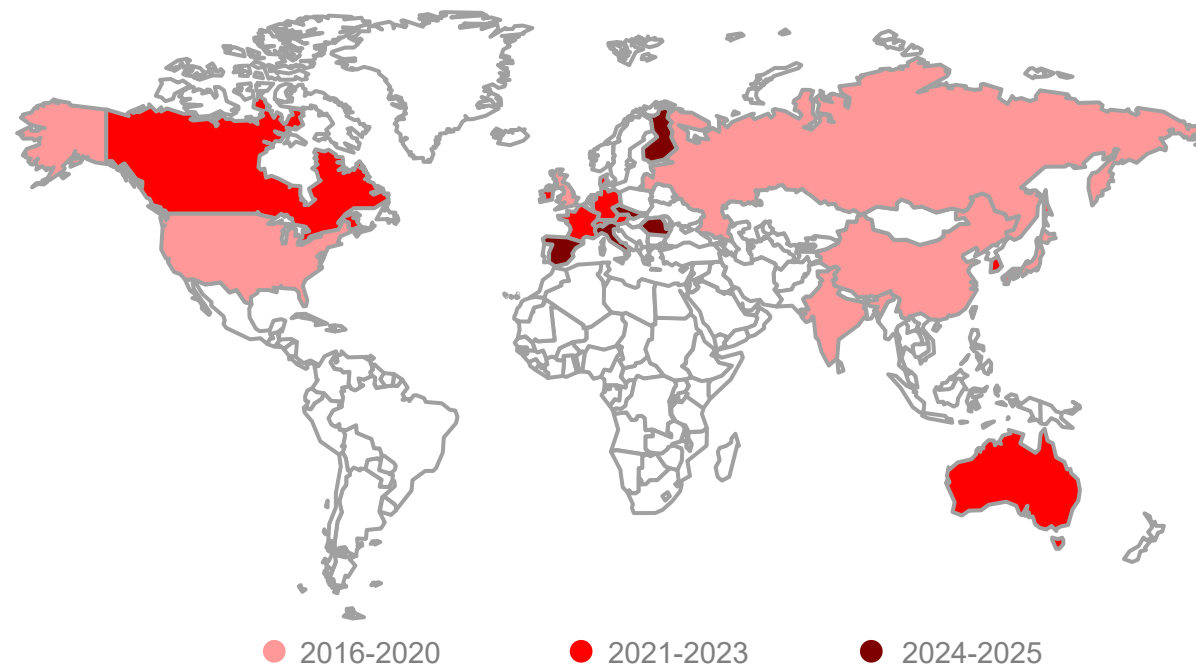
Està previst que a tot el món s'assoleixi una inversió pública global de **d'aproximadament 55.000 M\$** destinada al desenvolupament de les TQ. En quan a inversió pública per països, destaquen els **15.300 M\$** anunciats pel govern de la **Xina** com a part del seu pla quinquennal (2021-2025), destinats a la recerca i la innovació entorn aquestes tecnologies. La **UE** aposta també per les TQ, amb més de **10.000 M\$** d'inversió pública anunciats, amb **Alemanya** al capdavant. **Japó**, **EUA**, **Regne Unit**, l'**Índia** i **Canadà** també han anunciat fortes inversions en TQ.

Font: Quantum Technology Monitor (April 2026), McKinsey

Estratègies nacionals en Tecnologies Quàntiques (I)

-  **Alemanya.** Action Plan en TQ. Comercialització de TQ i transició de la investigació a la indústria.
-  **Austràlia.** Visió a llarg termini de com Austràlia aprofitarà les oportunitats de les TQ.
-  **Àustria.** Iniciativa Nacional de Finançament de la Quàntica.
-  **Canadà.** Impulsar la recerca quàntica, crear llocs de treball i avançar en TQ.
-  **Corea del Sud.** Pla Estratègic Nacional per la Quàntica. Recerca, desenvolupament i comercialització de TQ.
-  **Dinamarca.** Estratègia Nacional per a les TQ. Recerca, comercialització i talent.
-  **Eslovènia.** Estratègia Nacional pel desenvolupament de les TQ.
-  **Espanya.** Estratègia Nacional de TQ. Inversió publico-privada.
-  **EUA.** Elements bàsics pels avenços científics i mantenir el liderat en aquest camp. Iniciativa Nacional Quàntica. Visió estratègica per a les Xarxes quàntiques a Amèrica.
-  **Filipines.** Roadmap estratègic de TQ.
-  **Finlàndia.** Estratègia de TQ. Recerca i infraestructura.
-  **França.** Formació de nous talents i la creació de llocs de treball en el camp de les TQ.
-  **Índia.** Investigació, desenvolupament i innovació en el camp de les TQ.
-  **Irlanda.** Estratègia Quàntica 2030.

Any de publicació de l'estratègia en Tecnologies Quàntiques



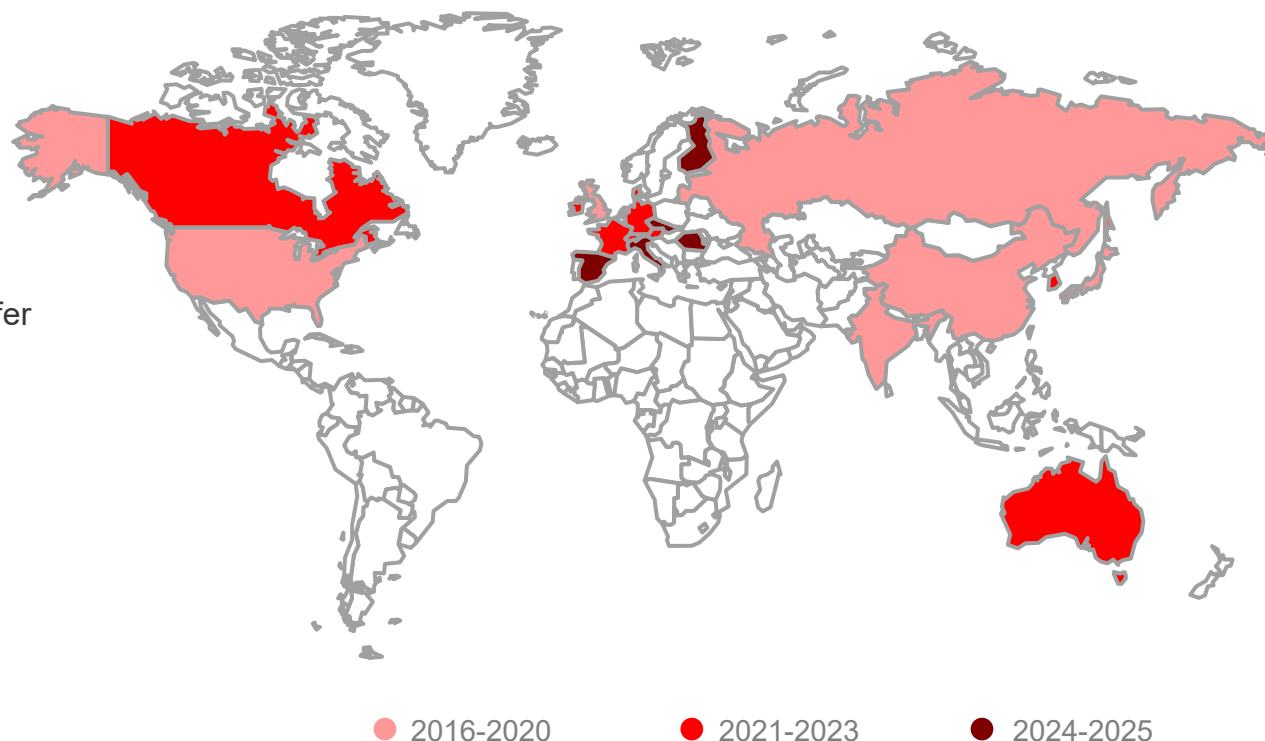
La Unió Europea i l'**OTAN** són les úniques institucions supranacionals que compten amb una estratègia pròpia en quàntica o tecnologies quàntiques.

Estratègies nacionals en Tecnologies Quàntiques (II)

32

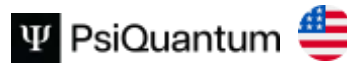
Any de publicació de l'estratègia en Tecnologies Quàntiques

- **Japó.** Estratègia de TQ i la seva innovació. Estratègies pel futur de la quàntica i les seves indústries. Recerca, tecnologia i innovació social.
- **Itàlia.** Estratègia Nacional Quàntica.
- **Països Baixos.** Agenda Nacional de TQ. Comercialització, educació, desenvolupament ètic i ús de tecnologies quàntiques i desenvolupament d'una comunitat quàntica.
- **Regne Unit.** Programa i Estratègia Nacional de TQ. Pla de 10 anys per fer realitat el potencial de les tecnologies quàntiques
- **Rep. Txeca.** Estratègia Nacional de TQ.
- **Romania.** Estratègia Nacional en el camp de la computació quàntica
- **Rússia.** Roadmap Nacional en computació quàntica.
- **Singapur.** Estratègia Nacional en Quàntica. Reptes de la indústria i iniciatives per nodrir un ecosistema quàntic.
- **Suïssa.** Iniciativa Nacional en Quàntica.
- **Taiwan.** Programa Nacional de Quàntica.
- **Xina.** Pla quinquennal. Xarxa nacional de comunicacions quàntiques. Comitè Nacional per a la estandardització de la quàntica. Estratègia 'Made in China 2025', per impulsar el progrés del país en tecnologies estratègiques.



Empreses líders mundials en Tecnologies Quàntiques

33

 Amb presència a Catalunya

Nota: imatge il·lustrativa parcial

Fonts: McKinsey, Statista i Forbes

Fem avui l'**empresa** del demà

Inversió Estrangera Directa (IED) en Computació Quàntica

La IED en Computació Quàntica va augmentar exponencialment entre 2021 i 2022, venint de xifres d'inversió d'entorn als 150 M€ i augmentant fins els **1.550 M€** al 2024. Durant el període 2021-2025 la inversió acumulada va ser de quasi **5.300 M€**, amb **75.435 llocs de treball creats** en **126 projectes**.

IED en computació quàntica (2021-2025)			
Any	Projectes	Capital invertit (M€)	Ocupació generada
2025	31	757,5	7.149
2024	29	1.550	3.649
2023	29	1.570	2.864
2022	19	1.260	60.992
2021	18	153,6	781
Total	126	5.291	75.435

Principals empreses inversores (2021-2025)

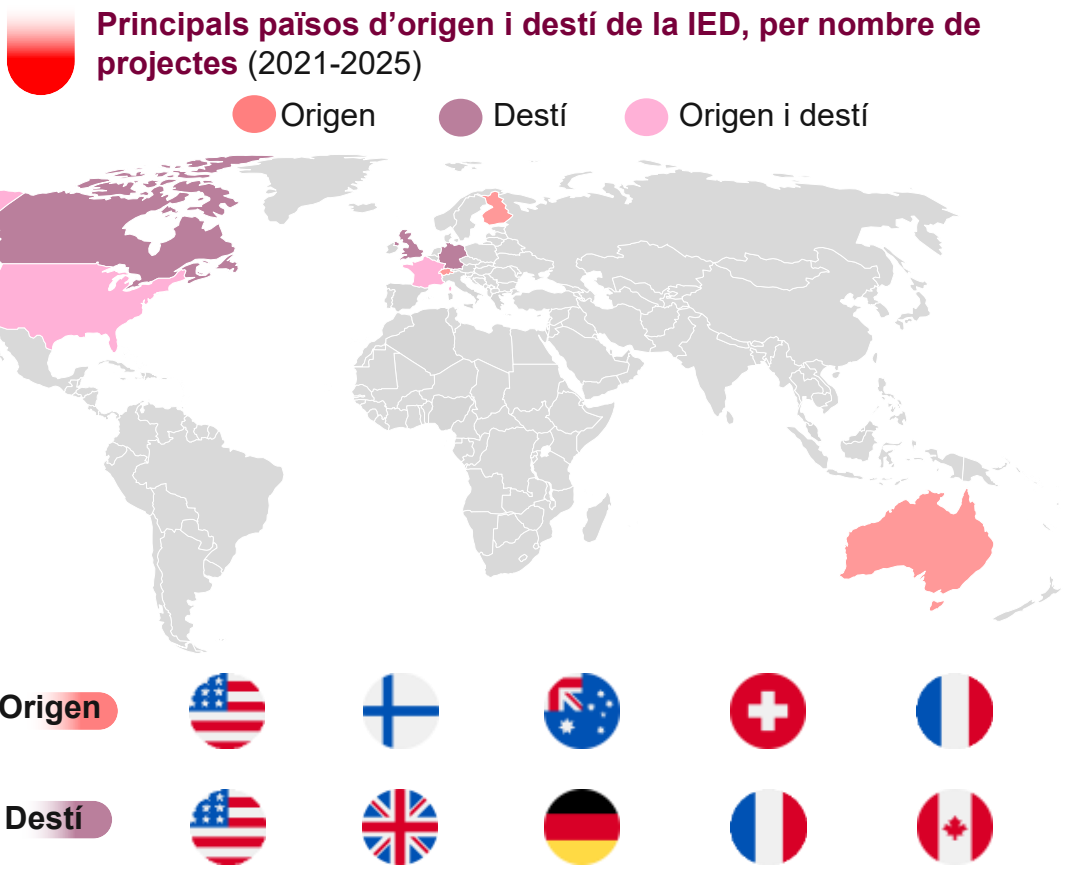

Capgemini
1.054 M€


Hines
620 M€


ConScience
477 M€


WIS@key
419 M€


IQM
381 M€



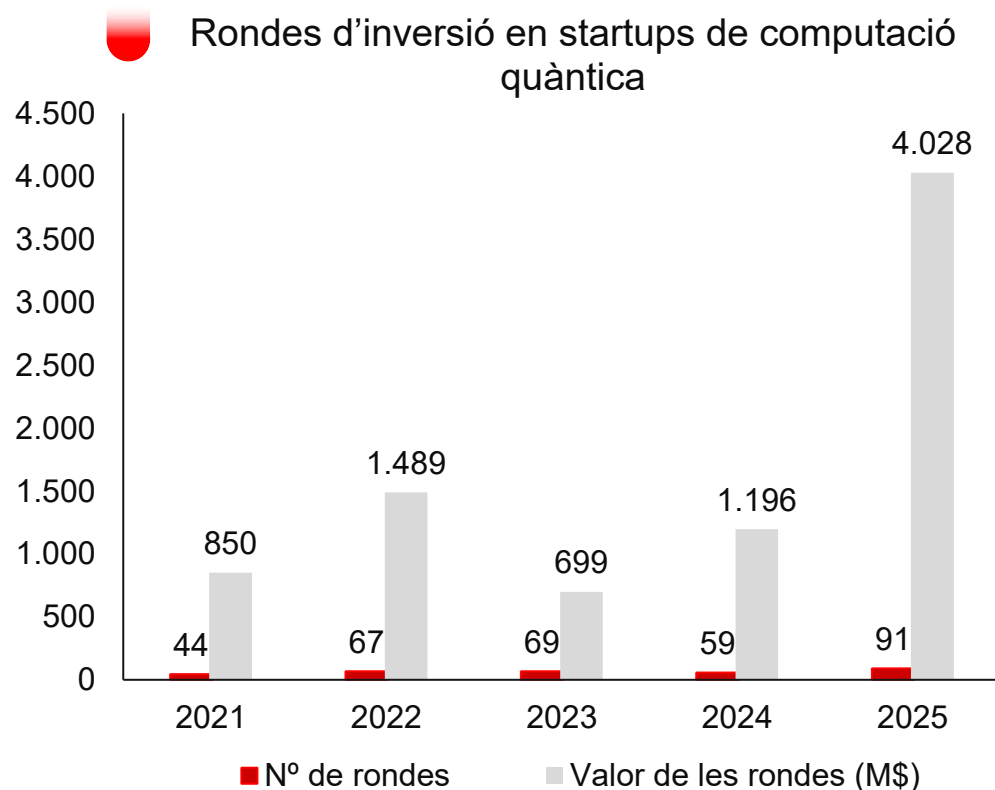
Font: elaboració pròpia a partir d'fDi Markets

Fem avui l'empresa del demà

Capital risc en startups de computació quàntica

35

Durant el període 2021-2025 s'han tancat 330 rondes de capital risc per valor de **8.262 milions de dòlars en startups de computació quàntica** al món, amb els Estats Units destacant com a ecosistema més dinàmic.



Nota: s'hi inclouen les rondes d'inversió *pre-seed* i *seed*, i les sèries A-J; les dades fan referència al període del 2021 al 2025.

Valor i nombre de rondes tancades als principals països



4.706 M\$

105 rondes



599 M\$

28 rondes



490 M\$

11 rondes



388 M\$

13 rondes



327 M\$

17 rondes

Les startups europees (UE) representen el 18,3% del total invertit

Principals startups per ronda tancada



PsiQuantum

1.000 M\$



QUANTINUUM

839 M\$



SANDBOXAQ

500 M\$



IQM

320 M\$



QuEra

230 M\$

Principals inversors en capital risc



Combinator



techstars



Font: elaboració pròpia a partir de Crunchbase

Fem avui l'**empresa** del demà

Casos mundials d'èxit en TQ (I)

36

IBM



IBM va presentar al 2024 l'"Heron", un nou processador quàntic (399 qbits) que es pot interconnectar en diferents sistemes de manera modular segons les necessitats del client; l'Heron ha permès reduir errors, incrementar el número de portes i incrementar el número de qbits per a cada ordinador quàntic gràcies al sistema d'acoblament per mòduls. IBM va trencar la barrera dels 1.000 qbits amb el seu processador "Condor". El 2025 va començar a desenvolupar la gama "Flamingo" que superarà els 1.000 qbits per mòdul.

Google impulsa la computació quàntica a través de la seva unitat Google Quantum AI. Google ha desenvolupat el xip quàntic innovador de 105 qbits "Willow", que ha permès la reducció exponencial d'errors, té una potència de càlcul superior i fa que els computadors quàntics puguin ser més fiables; Google desenvolupa també algorismes quàntics innovadors per a resoldre problemes pràctics. L'empresa invertirà milers de milions de dòlars per a llançar un ordinador quàntic en els propers anys que pugui realitzar càlculs sense errors.



FUJITSU



Fujitsu compta amb International Quantum Center, un centre de referència en computació quàntica enfocat a impulsar l'adopció de les TQ en tots els àmbits. Fujitsu desenvolupa maquinari quàntic, amb un prototip de 64 qbits per a la recerca. Col·labora amb Rikken en tecnologia de superconductors i amb TU Delft en un ordinador quàntic d'espín de diamant. Ha creat mpiQulacs, un programari d'emulació quàntica i participa en el projecte Tenet de matrius de densitat. Ha llançat Digital Annealer, tecnologia aplicada a l'optimització combinatòria.

Microsoft avança en computació quàntica amb l'Azure Quantum mitjançant la integració de maquinari, IA, supercomputació i sistemes híbrids que coordinen CPUs i QPUs. Amb fites com el xip topològic Majorana 1 i el rècord de 24 qbits lògics entrellaçats amb Atom Computing, la plataforma redueix els errors de processament per facilitar l'experimentació científica a través d'un model de programari com a servei (SaaS). Col·labora amb Quantinuum per a realitzar aquesta transició, integrant eines híbrides al núvol.



Casos mundials d'èxit en TQ (II)

37



SK Telecom, el principal operador de telefonia mòbil de Corea, ha desenvolupat un xip generador quàntic de números aleatoris (QRNG), que s'ha utilitzat en la sèrie Galaxy Quantum de Samsung per a millorar la seguretat de la informació en els telèfons intel·ligents. S'espera que aquest nou xip de seguretat quàntica proporcioni una protecció completa de les dades contra escoltes telefòniques o hackers, i sigui àmpliament utilitzat per institucions financeres i en xarxes de telecomunicacions.

Origin Quantum, establerta el 2017, ha estat pionera en els avenços de la computació quàntica a la Xina. Ha lliurat els seus ordinadors quàntics superconductors de primera i segona generació al mercat xinès. L'empresa va anunciar fa mesos l'"Origin Wukong", un ordinador quàntic superconductor de 72 bits de tercera generació, l'ordinador quàntic superconductor més avançat del moment a la Xina. L'empresa també desenvolupa el programari i solucions de computació quàntica.



Rigetti ha llançat el "Novera QPU", el primer QPU disponible comercialment de la companyia. El QPU inclou un xip de 9 qbits que inclou acobladors ajustables per a operacions ràpides de 2 qbits i un xip de 5 qbits per provar operacions d'un sol qbit. El Novera implementa la computació quàntica universal basada en portes i pot ser utilitzat per estudiants i experts en algorismes i programari quàntic per prototipar i innovar. Disponible comercialment, es pot adquirir per 900.000 dòlars.

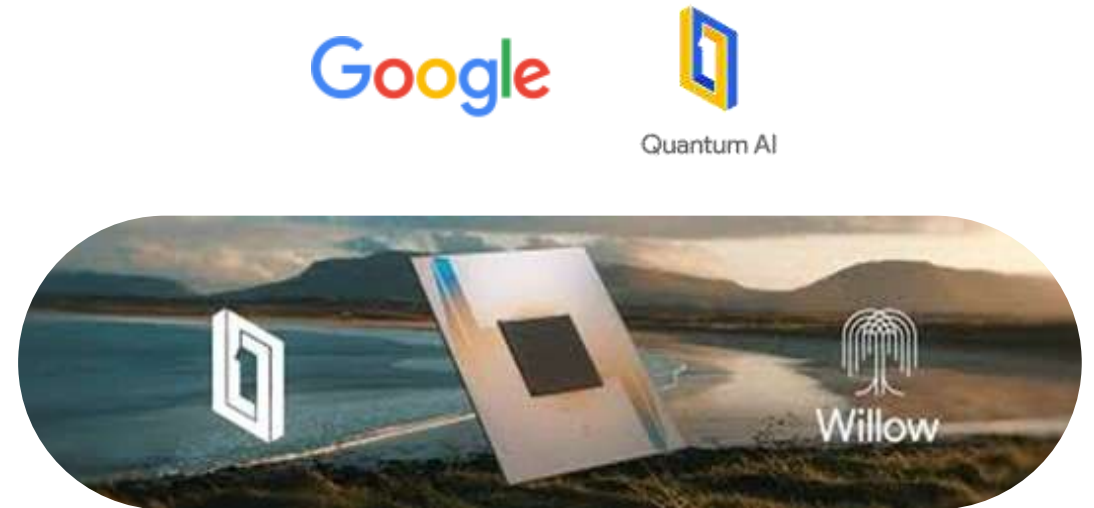
Airbus està apostant pel desenvolupament de les TQ, sobretot en l'àmbit dels sensors i la metrologia quàntica. És un dels principals socis industrials del Centre d'Innovació de Tecnologies Quàntiques (QTIC), al Regne Unit, i vol desenvolupar aplicacions en l'àrea de comunicacions per satèl·lit assegurades amb física quàntica, utilitzar computació quàntica més potent i adoptar sensors més enllà de la precisió de la tecnologia actual.



El xip quàntic Willow de Google representa un avenç innovador en la tecnologia de la computació quàntica, abordant reptes existents des de feia temps i establint nous punts de referència de rendiment.

Avenços

- **Reducció exponencial d'errors.** Un dels reptes més grans en la computació quàntica són els errors que es produeixen atesa la sensibilitat dels qbits al seu entorn. Willow ha demostrat una capacitat notable per a reduir els errors de manera exponencial a mesura que augment el nombre qbits, Willow utilitza 105 qbits. Aquest avenç soluciona un repte de fa més de 30 anys en el sector i és crucial per a construir computadors quàntics fiables i capaços de realitzar càlculs complexes.
- **Potència de càlcul.** Willow va realitzar un càlcul de referència en menys de cinc minuts, càlcul que a una supercomputadora clàssica li portaria billons d'anys. (10^{25} anys, un nombre que supera àmpliament l'edat de l'univers)
- **Temps de coherència millorat.** Els qbits del xip mantenen l'estabilitat durant gairebé 100 microsegons, cinc vegades millor que el seu predecessor, Sycamore.



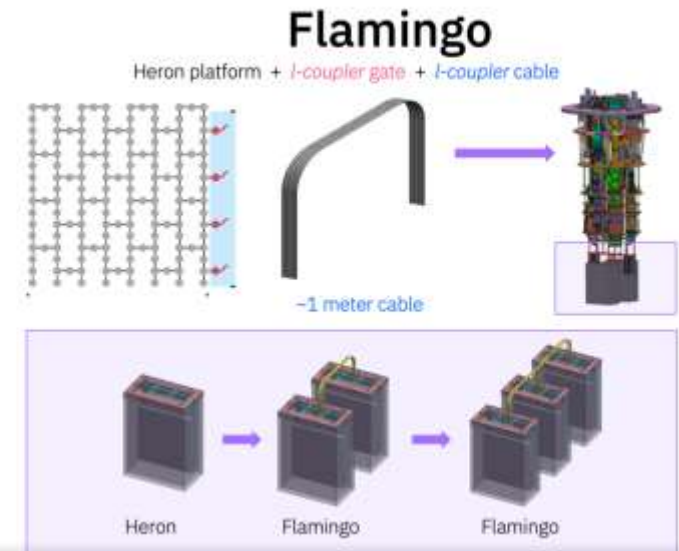
El full de ruta de la quàntica d'IBM descriu la seva estratègia per escalar la tecnologia quàntica i fer-la comercialment viable. El pla s'estén més enllà del 2033, centrant-se en l'escala de qubits, la correcció d'errors, l'automatització de middleware i l'expansió de la infraestructura global.

Fites clau

- Quantum-Centric Supercomputing: anar més enllà de la quantitat de qubits per millorar les operacions de la porta i integrar la informàtica quàntica i clàssica.
- Quantum Utility i IBM Quantum System Two™: Aconseguint un avantatge quàntic per a tasques específiques i introduint un sistema modular per escalar les càrregues de treball.
- Expansió global: llançament d'un centre de dades quàntic europeu a Alemanya per ampliar l'accés a la informàtica quàntica.
- Correcció d'errors i sistemes moduls: desenvolupament dels sistemes "Flamingo" (+ de 1.000 qubits el 2025) i "Starling" (portes de 100 milions) per millorar la fiabilitat dels càlculs.
- Supercomputadors de nova generació: plans per a "Blue Jay" (100.000 qubits, portes 1B) per abordar aplicacions a gran escala com la seguretat i la IA.
- Middleware & Developer Tools: millora de l'automatització, assistència de programació basada en IA i ampliació de Qiskit per a una accessibilitat més àmplia.



Extending Heron platform through modular coupling



Majorana 1 de Microsoft, el primer xip quàntic del món basat en una arquitectura de nucli topològic.

40

Majorana 1 és un processador quàntic que utilitza qbits topològics, amb major estabilitat i menor taxa d'error en comparació amb els qbits tradicionals. Aquesta estabilitat és clau per al desenvolupament de sistemes quàntics escalables i fiables.

■ Innovació en materials: els topoconductors.

Un component fonamental d'aquest avenç és el desenvolupament de materials topològics, un nou tipus de material que permet l'observació i el control de les partícules de Majorana*. Aquestes partícules, teoritzades per primera vegada a la dècada de 1930, han estat durant molt de temps elusives per als científics. Microsoft ha aconseguit integrar-les en el seu xip, facilitant la creació de qbits més robustos i eficients

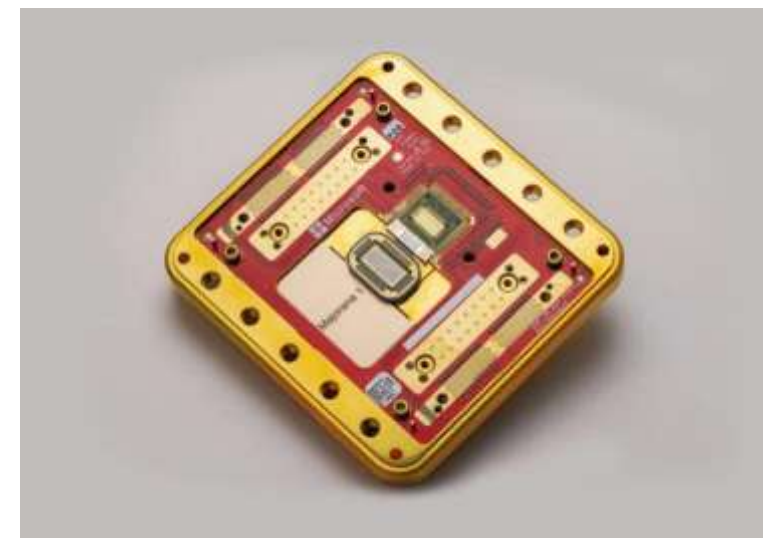
■ Escalabilitat

La importància d'aquest desenvolupament rau en la capacitat potencial de Majorana 1 per integrar fins a un milió de cúbits en un sol xip. Aquesta densitat podria transformar sectors com la medicina i la ciència de materials, permetent simulacions més precises i el descobriment de nous compostos i tractaments.

■ Aplicacions potencials

Amb Majorana 1, Microsoft ha establert un nou estàndard en la computació quàntica. La seva arquitectura basada en qbits topològics i topoconductors obre la porta a la creació de sistemes quàntics més escalables i fiables. A mesura que aquesta tecnologia avanci, les seves aplicacions podrien revolucionar sectors clau com la química, la sostenibilitat i la salut, apropant-nos cada cop més a un futur impulsat per la computació quàntica.

* Un fermió de Majorana és una partícula que és la seva pròpia antipartícula, proposada originalment per Ettore Majorana el 1937.



Les tecnologies quàntiques a Catalunya

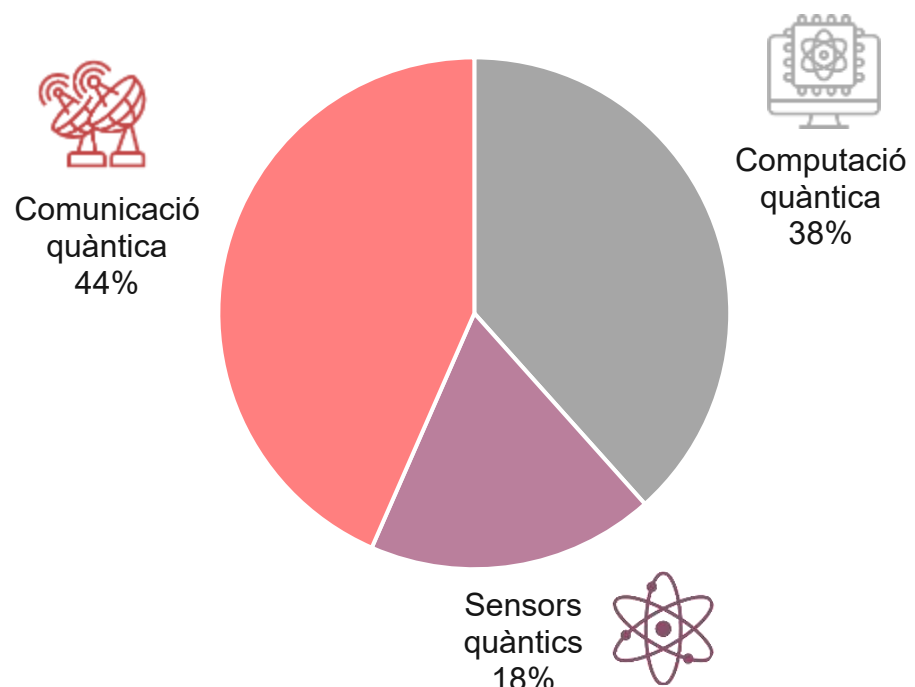
3. Propietat intel·lectual i producció científica

Patents

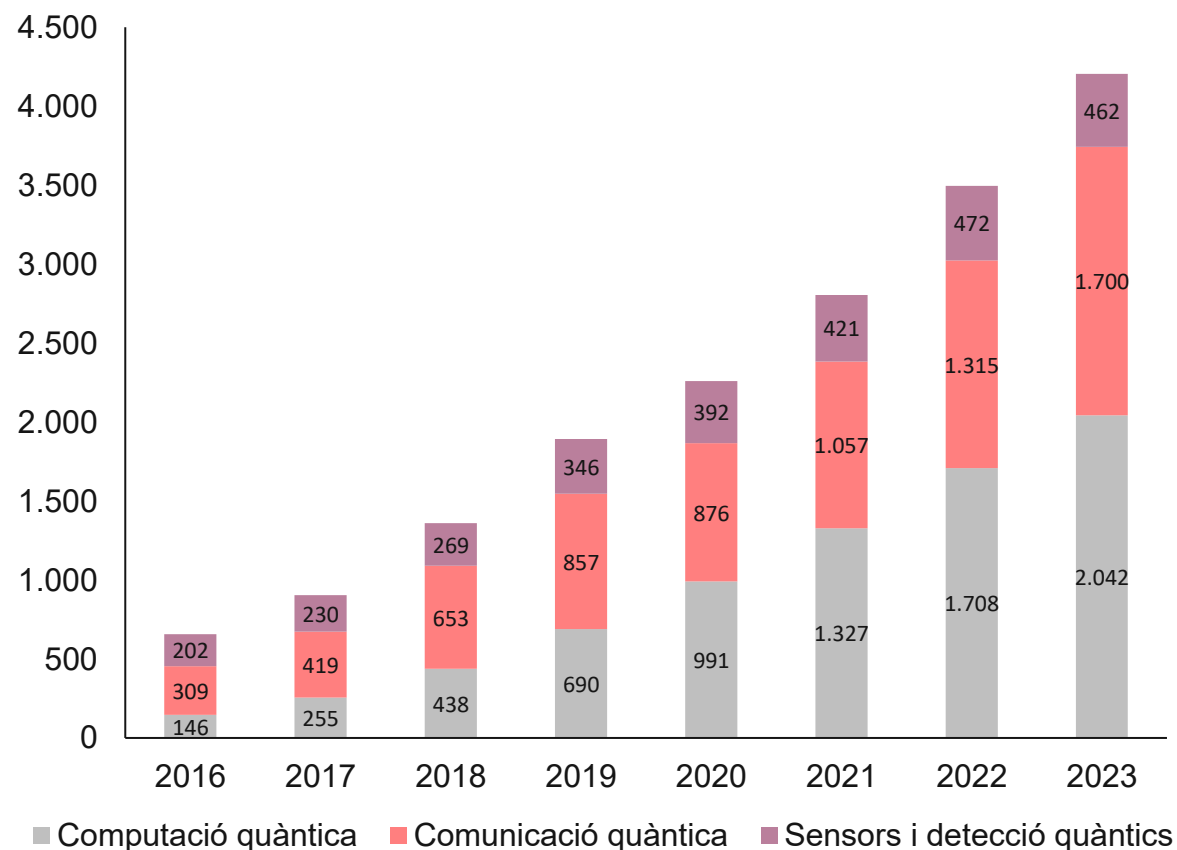
42

- La computació quàntica i la comunicació quàntica generen més interès que els sensors

Patents per segments (total 2016-2023)



Evolució el nombre de patents per segments



Quota de patents mundials per tecnologia quàntica i país o regió (2000-2022)

43

- Computació quàntica
- Comunicacions quàntiques
- Sensors quàntics

Nota: el sumatori total dels percentatges de cada tecnologia pot ser que no sigui 100, ja que s'han exclòs països amb quota més baixa, com Suïssa, Rússia, Canadà o Índia, però que també patenten en TQ.

Per codificació IPC de la WIPO, en TQ destaquen les patents en **semiconductors**, els **components** i les **solucions informàtiques**.

Principals empreses mundials que patenten:



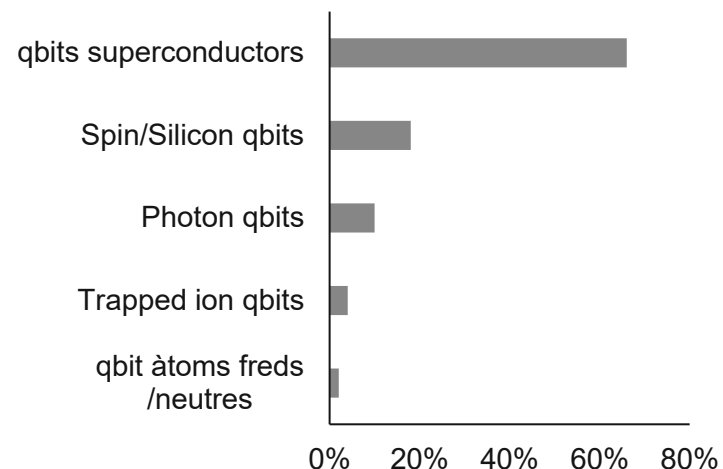
Patents per segments (2024)

44



Computació quàntica

Principals tecnologies patentades

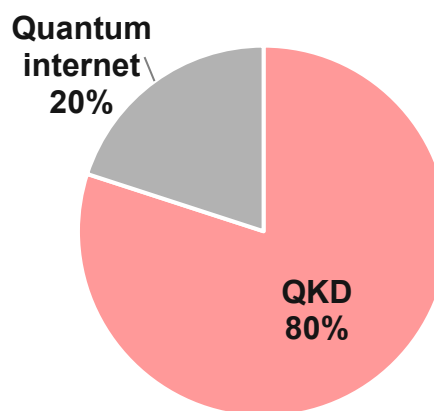


Principals sol·licitants



Comunicacions quàntiques

Principals tecnologies patentades

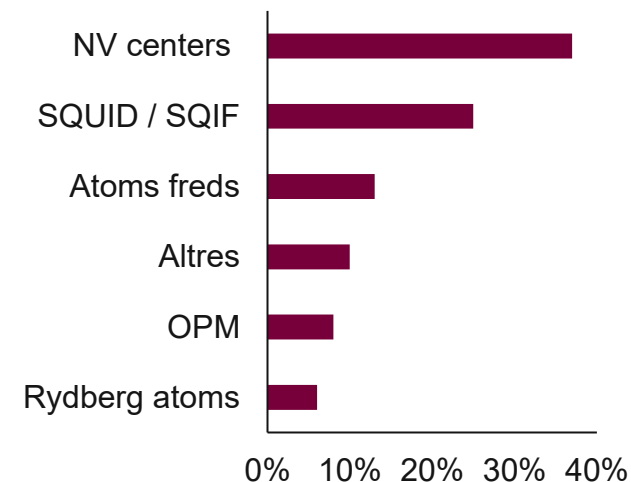


Principals sol·licitants



Sensors quàntics

Principals tecnologies patentades



Principals sol·licitants



Font: A Portrait of the Global Patent Landscape in Quantum Technologies. Jan 2024. QUIC

Fem avui l'empresa del demà

Les tecnologies quàntiques a Catalunya

4. Iniciatives al món, a Europa i a Espanya en TQ

Iniciatives internacionals i europees (I)

 Computació i simulació quàntiques

 Comunicació i encriptació quàntiques

 Sensors quàntics

46

Quantum Economy Network

WORLD
ECONOMIC
FORUM

Xarxa global del World Economic Forum per impulsar tecnologies quàntiques, fomentar la governança responsable i integrar-les a l'economia. Es prioritza la sostenibilitat i la seguretat.



Quantum Europe Strategy



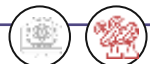
Estratègia de la UE per a posicionar Europa en referent mundial en les tecnologies quàntiques. Pretén desenvolupar infraestructures quàntiques, impulsar la recerca i establir un ecosistema resilient en TQ.



CERN Quantum Technology Initiative



Iniciativa per avançar en computació, detecció i comunicacions quàntiques aplicades a la física d'altres energies. Col·labora amb IBM Q-Network i altres iniciatives internacionals.



European Chips Act



La Llei Europea de Xips vol establir un ecosistema europeu d'indústria i recerca en semiconductors. Amb una dotació prevista de 15.800 M€, també preveu el desenvolupament de xips quàntics.



European Declaration on Quantum Technologies



Acord entre els Estats membres de la UE per a impulsar les tecnologies quàntiques conjuntament, amb l'objectiu de convertir Europa en una "vall quàntica" d'àmbit global.



Quantum Internet Alliance



Projecte europeu per construir una Internet quàntica global. Desenvolupa tecnologia full-stack amb nodes avançats i repetidors. El seu objectiu és fer realitat l'Internet quàntic per al 2030.



Iniciatives internacionals i europees (II)



Computació i simulació
 quàntiques



Comunicació i
 encriptació quàntiques



Sensors
 quàntics

47

EuroQCI, European Quantum Communications Infrastructures



Xarxa europea de comunicacions quàntiques segures. Busca reforçar la ciberseguretat, protegint dades sensibles i infraestructures crítiques. Aquest projecte compta amb la col·laboració de dos partners catalans.



Quantum Secure Networks Partnership (QSNP)



El Quantum Secure Networks Partnership (QSNP), té per objectiu crear un ecosistema europeu sostenible en criptografia i comunicació quàntiques, per contribuir en la sobirania europea en ciberseguretat.



European Quantum Industry Consortium (QuIC)



Associació industrial per coordinar el desenvolupament de tecnologies quàntiques a Europa. Es centra en fomentar la competitivitat industrial, la normalització i la col·laboració amb institucions europees.



QuantERA



Xarxa europea de finançament per recerca en tecnologies quàntiques. Promou convocatòries transnacionals per desenvolupar sistemes avançats de computació, detecció i comunicacions quàntiques.



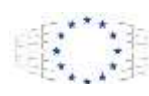
Quantum Flagship



Projecte europeu dotat amb 1.000 M€ per liderar en computació, comunicacions i detecció quàntiques. Busca reduir la dependència externa i potenciar l'ecosistema tecnològic europeu.



European High Performance Computing Joint Undertaking (EuroHPC JU)



L'EuroHPC JU té per objectiu el desenvolupament duna xarxa europea de supercomputadors i ordinadors quàntics al servei de les empreses i la recerca científica.





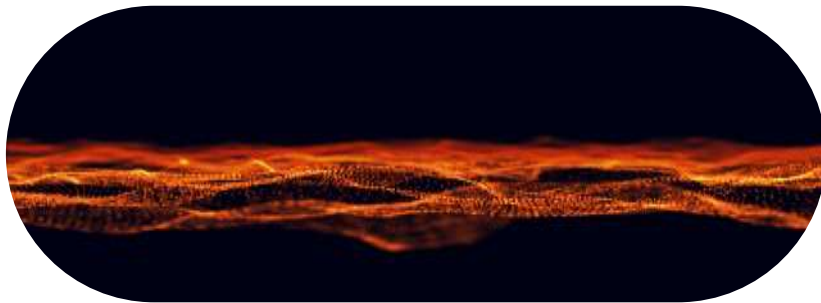
La **Quantum Economy Network** (Xarxa d'Economia Quàntica), que forma part del Centre per a la Quarta Revolució Industrial (C4IR) del World Economic Forum és una plataforma global perquè els governs, les empreses i el món acadèmic entenguin el potencial de les tecnologies quàntiques, modelin el seu desenvolupament i es preparin per a la seva introducció a l'economia.



181 Membres



129 organitzacions



WORLD
ECONOMIC
FORUM

Àrees de Treball

- **Aplicacions:** identificar, desenvolupar i desplegar aplicacions quàntiques per a les empreses i per a aconseguir el objectius de sostenibilitat.
- **Governança:** per construir un ecosistema quàntic, centrat en el creixement econòmic, la creació d'ocupació i el desenvolupament responsable.
- **Seguretat:** ajudar a crear consciència, desenvolupar lideratge, capacitats i eines per gestionar la transició cap a una economia quàntica segura.

CERN Quantum Technology Initiative



49

La **Iniciativa de Tecnologia Quàntica del CERN (QTI)** és un programa integral d'R+D i de col·laboració acadèmica. Es basa en gairebé dos anys de col·laboracions i investigacions pilot, principalment en computació quàntica, relacionades amb possibles aplicacions que són fonamentals per a les activitats de la física d'altres energies.



Impacte

- L'establiment de col·laboracions dins dels Estats membres i amb iniciatives internacionals permetrà al CERN situar-se a l'avantguarda de la nova revolució quàntica i treballar per desenvolupar nous sistemes de computació, detectors i comunicacions, a més d'avançar en el coneixement dels sistemes quàntics i el processament de la informació quàntica.

Línies de treball

- Computació quàntica i algorismes.
- Teoria quàntica i simulació.
- Detecció quàntica, metrologia i materials.
- Comunicació quàntica i xarxes



El juny de 2021, el CERN es va convertir en un centre quàntic en col·laboració amb **IBM Q-Network**.

European Declaration on Quantum Technologies

26 Estats membres de la UE han firmat a dia d'avui, la **Declaració Europea sobre Tecnologies Quàntiques** (European Declaration on Quantum Technologies), publicada el 2023. Aquesta declaració, no vinculant a efectes legals, reconeix la importància estratègica de les tecnologies quàntiques per a la competitivitat científica i industrial de la UE.

- Els Estats signataris es comprometen a col·laborar en el desenvolupament d'un ecosistema de tecnologia quàntica de classe mundial a tot Europa, amb l'objectiu final de fer d'Europa la "**vall quàntica**" del món, la regió líder mundial en excel·lència i innovació quàntiques.

- S'estableixen 9 punts que els Estats signataris acorden complir:

1. **Alineament i coordinació** de programes europeus, nacionals, i regionals d'R+D en torn a les TQ.
2. **Transició de la recerca a la producció** comercialitzable d'alta qualitat.
3. **Establir una xarxa d'agrupacions de competències quàntiques**, recerca i necessitats orientades a la indústria.
4. **Desplegar infraestructures quàntiques paneuropees** (computació, simulació, comunicacions segures, etc.).
5. **Desenvolupar l'ecosistema quàntic, donar suport a empreses emergents**, finançament privat, **inversió** de grans empreses en recerca quàntica.
6. **Inversions públiques** en innovació quàntica, autonomia tecnològica de la UE.
7. **Desenvolupament de capacitats**, formació i talent en TQ.
8. **Analitzar el potencial impacte social i econòmic** de les TQ.
9. **Supervisió de les TQ a nivell mundial, cooperació i col·laboració internacional**, acords amb tercers països, seguretat econòmica de la UE.



Quantum Europe Strategy



51

La UE va adoptar al juliol del 2025 l'Estratègia de l'Europa Quàntica (**Quantum Europe Strategy**). Aquesta estratègia persegueix posicionar Europa com a **líder mundial en matèria quàntica** pel 2030, transformant l'excel·lència científica en aplicacions comercials i assegurant la sobirania tecnològica i industrial europea.

■ L'Estratègia es centre en cinc eixos interconnectats:

1. Recerca i innovació

Consolidar l'excel·lència europea en ciència quàntica i la seva transformació industrial.

2. Infraestructures quàntiques

Desenvolupar centres escalables per al disseny, producció i aplicacions de tecnologia quàntica.

3. Ecosistema quàntic

Impulsar startups i scale-ups, reforçar cadenes de subministrament i industrialitzar tecnologies quàntiques.

4. Tecnologies quàntiques espacials i d'ús dual (seguretat i defensa)

Integrar capacitats quàntiques segures en infraestructures espacials i de defensa.

5. Habilitats quàntiques

Crear una força laboral diversa de classe mundial amb formació i mobilitat de talent entre països europeus.

■ Es preveuen diferents iniciatives per a desplegar els eixos esmentats, com la Quantum Europe Research per a la cooperació interestatal en recerca, el Roadmap tecnològic quàntic a l'espai, la creació de la European Quantum Skills Academy, o l'esperada Llei Europea de la Quàntica (Quantum Act) prevista pel 2026.





- La **Llei Europea de Xips** (*European Chips Act*) que va entrar en vigor el setembre de 2023, té l'objectiu de reforçar les capacitats europees en matèria de semiconductors per assegurar-ne la competitivitat futura i mantenir el lideratge tecnològic.
- La normativa estableix un marc regulatori i una Iniciativa Europea (*Chips for Europe Initiative*) dotada amb 15.800 M€ pel desenvolupament de l'ecosistema dels semiconductors i xips a Europa fins al 2030, incloent-hi el **desenvolupament de xips i semiconductors quàntics**, així com les tecnologies associades.
- La Iniciativa se centrarà en les necessitats específiques de la futura generació de components de processament de la informació que explotin principis no clàssics, especialment xips que explotin efectes quàntics. En particular, la Iniciativa donarà suport al desenvolupament de biblioteques de disseny per a xips quàntics, línies pilot noves o ja existents, sales blanques i foses per a la creació de prototips i la producció de xips quàntics, així com instal·lacions per a provar i validar els xips quàntics avançats produïts per les línies pilot.



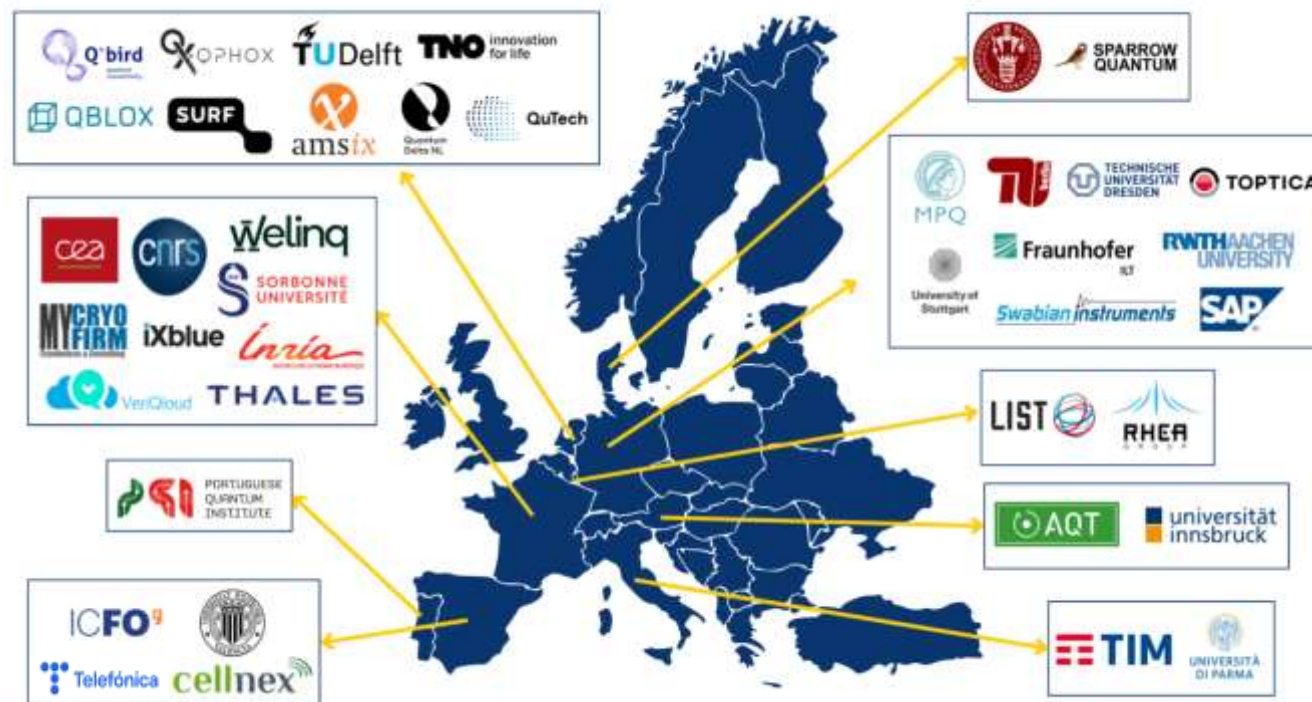
Quantum Internet Alliance



53

Construint una Internet quàntica global feta a Europa

- Quantum Internet Alliance és un equip enfocat a construir una Internet quàntica global a Europa.
- La missió de QIA és el desenvolupament de la primera xarxa d'Internet quàntic full-stack del món.
- QIA està avançant en tecnologia en nodes finals (qbts d'ions atrapats, qbts de diamant NV, qbts d'àtoms neutres) i repetidors quàntics.
- L'aliança està formada per un equip multidisciplinari d'organitzacions acadèmiques, industrials i tecnològiques de recerca.
- QIA s'ha fixat l'objectiu de fer realitat l'Internet quàntic per al 2030.
- La Quantum Internet Alliance ha llançat el primer fòrum mundial de tecnologia d'Internet quàntica al Mobile World Congress 2024.



Partners catalans en el projecte:

ICFO⁹ cellnex

ACCIÓ
Catalonia
Trade & Investment

 **Generalitat
de Catalunya**

Font: Quantum Internet Alliance

Fem avui l'**empresa** del demà

EuroQCI, European Quantum Communications Infraestructures

54

La iniciativa EuroQCI té com a objectiu establir una infraestructura de comunicació quàntica segura a tota la UE i els seus territoris d'ultramar.

- Constarà de segments tant terrestres com espacials (amb una constel·lació de satèl·lits desenvolupats amb l'ESA, integrant sistemes quàntics a les infraestructures de comunicació existents).
- La iniciativa reforça la ciberseguretat, protegint dades sensibles i infraestructures crítiques com institucions governamentals, centres de dades, hospitals i xarxes energètiques.
- La col·laboració amb socis de la indústria europea i pimes és crucial per desenvolupar components EuroQCI basats en tecnologies europees.
- La implementació inclou finançament per a projectes industrials, xarxes nacionals de comunicació quàntica, accions de coordinació i infraestructures de proves.
- Els enllaços transfronterers entre xarxes nacionals i les interconnexions amb el segment espacial compten amb el suport del mecanisme Connecting Europe.
- La infraestructura de proves i avaluació de tecnologies i serveis basats en QKD està disponible des del 2023 a Collserola. El laboratori i el node de comunicacions quàntiques de la Torre de Collserola (Barcelona) no és un simple disseny teòric, sinó una infraestructura activa on es fan experiments de camp reals, amb la coordinació de l'ICFO i Cellnex.
- Indra lidera el projecte estratègic IberianQCI, iniciativa integrada en el programa EuroQCI, que connectarà les infraestructures de comunicacions quàntiques d'Espanya i Portugal per garantir interconnexions ultrasegures.



L'EuroQCI és un pas cap a la sobirania i la competitivitat digitals europees, alineant-se amb els objectius de la dècada digital de la UE per al 2030.



El node d'Espanya té com a partners:



 Partners catalans en el projecte: **ICFO** **cellnex**

Fonts: European Comission, ICFO i Digital Strategy

Fem avui l'**empresa** del demà



Activitats

- Definir i coordinar objectius estratègics per al desenvolupament de tecnologies quàntiques a Europa.
- Col·laborar amb institucions europees i altres actors clau.
- Impulsar el creixement industrial i la competitivitat a Europa.
- Crear un centre de col·laboració i un ecosistema per a la indústria quàntica.
- Posicionar les tecnologies quàntiques per abordar reptes socials i ambientals d'Europa.
- Participar en activitats de normalització amb organismes competents.
- Desenvolupar estratègies de propietat intel·lectual per fer la indústria quàntica europea competitiva.
- Identificar les necessitats educatives i de formació laboral.

L'European Quantum Industry Consortium (QuIC) és una associació industrial sense ànim de lucre, fundada el 2021, dedicada al creixement del sector comercial de la tecnologia quàntica.

■ QuIC forma part de l'acció de coordinació i suport del Quantum Flagship, un projecte europeu, que té com a objectiu fer d'Europa una regió dinàmica i atractiva per a la recerca, els negocis i les inversions innovadores en el camp quàntic dinàmic.



196 membres



23 països



Partners catalans:

Ametic

gmv

ICFO

luxquanta

QILMANJARO
QUANTUM TECH

Quside

SATELIT
Space - Connecting - 5G IoT

Quantum Flagship



56

Quantum Flagship és una iniciativa a gran escala finançada amb 1.000 M€ en un període de 10 anys

- Europa pretén establir-se com la "vall quàntica" reduint la dependència de les nacions externes per al desenvolupament quàntic, fomentant la sobirania econòmica i tecnològica i liderant l'excel·lència quàntica a nivell mundial.
- Quantum Flagship presenta un full de ruta estratègic, posant èmfasi en un ecosistema quàntic autònom.
- El full de ruta contempla Europa com un centre quàntic que fomenta la innovació i la recerca. Dona suport al desenvolupament de tecnologia quàntica per al 2030, estableix una estratègia per a la computació, la comunicació i la internet quàntica, col·laboració amb diferents indústries per a l'avenç social.
- Aquesta iniciativa impulsa Europa cap al lideratge quàntic, abordant els reptes de la societat i optimitzant les tecnologies quàntiques per a un futur global competitiu.



 Partners catalans en el projecte:



1.000 M€ de
finançament per la
Comissió Europea



10 anys



+ 5.000
investigadors
implicats



140 propostes RIA en
la primera convocatòria
del Quantum Flagship

Quantum Secure Networks Partnership

57

El projecte Quantum Secure Networks Partnership (**QSNP**) té com a objectiu crear un ecosistema europeu sostenible en criptografia i comunicació quàntiques. Aquest projecte s'emmarca en el Quantum Flagship. El QSNP contribuirà a la sobirania europea en tecnologia quàntica per a la ciberseguretat.

3 objectius a llarg termini

- 1.** Desenvolupament de tecnologia avançada per a xarxes de comunicació quàntiques segures contra la potència cada cop més gran dels ordinadors i la sofisticació dels algorismes (fins i tot per a ordinadors quàntics).
- 2.** Integrar la tecnologia de criptografia quàntica a nivell de components, sistema i xarxa, també a les xarxes de comunicació clàssiques.
- 3.** Establir QSNP com a actor clau en infraestructures governamentals crítiques de seguretat quàntica, com EuroQCI, així com per al sector privat del mercat de les telecomunicacions i els futurs sectors quàntics d'Internet, les tecnologies de la informació i la comunicació (TIC).



+ 25 M€



3,5 anys



42 socis de
14 països europeus



Coordinador



 Partners catalans en el projecte:





QuantERA és una xarxa europea de 41 organitzacions públiques de finançament de la recerca (RFO) de 31 països

- QuantERA dona suport a la Recerca i la Innovació en Tecnologies Quàntiques (TQ) per promoure una investigació excel·lent i fomentar les col·laboracions transnacionals.
- L'objectiu principal del Consorci QuantERA és llançar convocatòries de propostes cofinançades transnacionals, així com convocatòries addicionals iniciades dins de les activitats complementàries iniciades en el Programa.
- Els projectes seleccionats tenen com a objectiu desenvolupar una nova plataforma física per a la comunicació quàntica, la detecció i la computació, arquitectures i algorismes avançats per a futurs sistemes de processament d'informació quàntica i impulsar l'escalabilitat del maquinari.
- Tot i que ofereixen un fort suport a la ciència bàsica, s'espera que els projectes donin un impuls a la recerca estratègica aplicada en tecnologies quàntiques. També s'espera que els resultats de la investigació abordin una sèrie de reptes socials, com ara la ciberseguretat i l'assistència sanitària.



Convocatòries dels anys 2017, 2019, 2021 i 2023



+ 118 M€



101 projectes



541 grups
de recerca

Coordinador



Representat Espanya



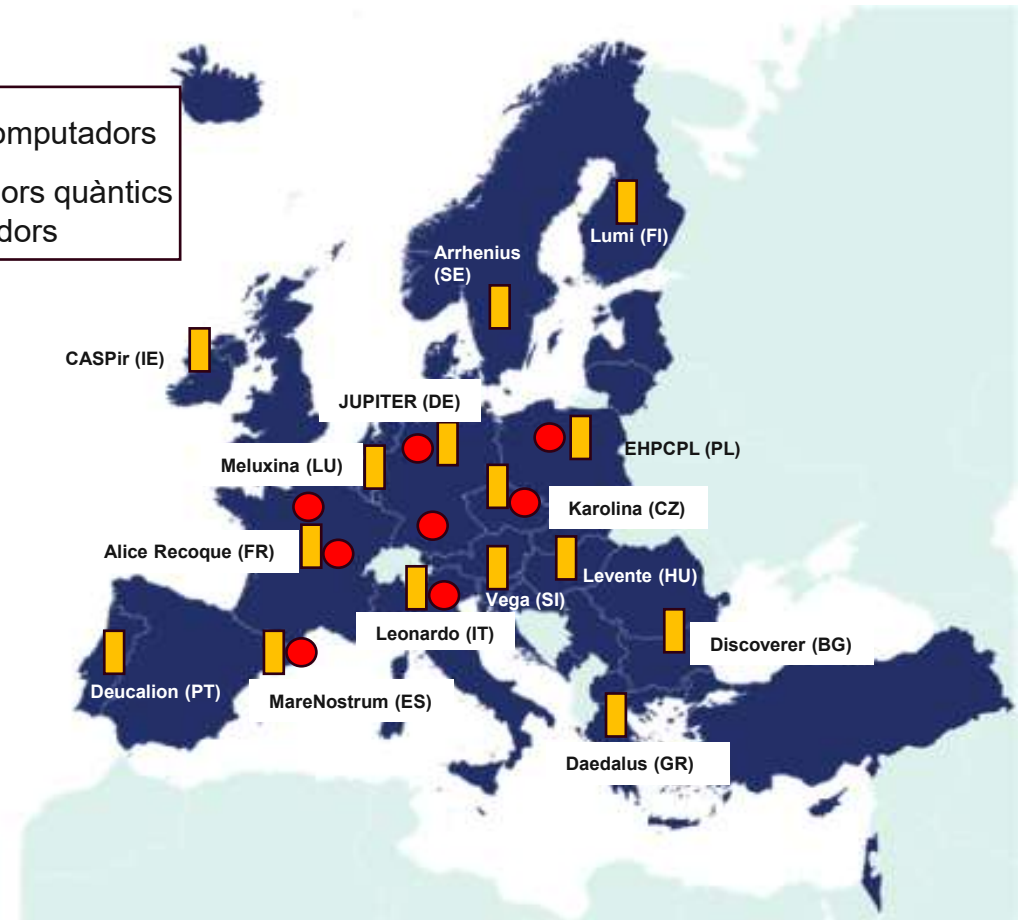
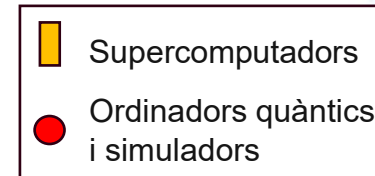
Font: Quanteria

Fem avui l'**empresa** del demà

EuroHPC Joint Undertaking

L'European High Performance Computing Joint Undertaking (**EuroHPC JU**) és una entitat jurídica i de finançament, creada el 2018 i situada a Luxemburg per a liderar el camí en la supercomputació europea.

- L'EuroHPC JU coordina esforços i recursos de la UE i altres països per fer d'**Europa un líder mundial en supercomputació**, per augmentar l'excel·lència científica i la força industrial d'Europa, dona suport a la transformació digital de la seva economia alhora que en garanteix la sobirania tecnològica.
- Amb un **pressupost de 7.000 M€** (2021-2027), finançat principalment per la UE, desplega una xarxa europea de supercomputadors (alguns amb **capacitat quàntica**, com el BSC-CNS a Barcelona) per impulsar la ciència, la indústria i la transformació digital, garantint la sobirania tecnològica europea.



Font: EuroHPC-JU

Fem avui l'**empresa** del demà



L'**estandardització** i la **certificació** són components crucials del desenvolupament i el desplegament de tecnologies quàntiques. Asseguren la interoperabilitat, la seguretat i la fiabilitat dels dispositius i sistemes quàntics.

Àrees clau d'estandardització en tecnologies quàntiques

- **Distribució de clau quàntica (QKD):** Normes per a interoperabilitat, seguretat dels protocols, i mètriques com la taxa de clau segura i la taxa d'error (QBER).
- **Computació quàntica:** Estàndards per a punts de referència, llenguatges de programació, i tècniques de correcció d'errors.
- **Detecció quàntica:** Procediments de calibració i mètriques per avaluar sensibilitat, precisió i estabilitat dels sensors

Principals organismes en estandardització i certificació de tecnologies quàntiques

- International Organization for Standardization (ISO): ISO/IEC JTC 1/SC 27: Cybersecurity, including quantum cryptography
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- European Telecommunications Standards Institute (ETSI): Industry Specification Group (ISG) dedicated to Quantum Key Distribution (QKD).
- **CEN-CENELEC:** Joint Technical Committee (JTC 22) specifically for quantum technologies.
- National Institute of Standards and Technology d'EUA (NIST)



El projecte **Nostradamus** és una iniciativa important destinada a desenvolupar una **infraestructura de proves** per a dispositius de distribució de claus quàntiques (**QKD**):

- Avaluar els dispositius QKD: avaluar el rendiment i la seguretat dels dispositius QKD de diferents fabricants.
- Desenvolupar metodologies de prova: crear metodologies de prova estandarditzades per garantir la qualitat i la fiabilitat dels sistemes QKD.
- Fomentar la interoperabilitat: promoure la interoperabilitat entre diferents sistemes QKD mitjançant l'establiment d'estàndards i protocols comuns.

Fonts: Comissió Europea, *Quantum Error Correction* (Anand Ramachandran, Research Gate), SQuaD Germany

Control i limitació a l'exportació de components quàntics fora de la UE



61

- L'any 2023, la Comissió Europea va publicar una llista de 10 tecnologies considerades crítiques per a la seguretat i la sobirania econòmica del continent. Aquestes tecnologies es classifiquen com a crítiques pel seu potencial ús militar o maliciós (tecnologies de doble ús), i se'n recomana un control i regulació estrictes, especialment pel que fa a les tecnologies de doble ús. Entre aquestes es troben **les tecnologies quàntiques**, incloent-hi la **computació quàntica**, la **criptografia quàntica**, les **comunicacions quàntiques** i la **detecció quàntica**. L'estratègia de la Unió Europea se centra en controlar rigorosament l'exportació i la importació d'aquestes tecnologies, així com en reduir la dependència de països competidors, com ara la Xina. Diversos estats membres ja han començat a aplicar restriccions a l'exportació de tecnologies quàntiques, arribant fins i tot a prohibir el seu lliurament final a països com la Xina o Rússia.
- Un dels Estats de la UE pioners en la transposició de normativa que regula les exportacions i importacions de components quàntics ha estat Espanya, alineant-se així amb l'estratègia de la Unió.
- L'Estat espanyol va actualitzar el 2023 el seu **"Reglament de control del comerç exterior de material de defensa, d'un altre material i de productes i tecnologies de doble ús"** aprovat pel RD 679/2014, d'1 d'agost, per tal d'encabir al llistat d'elements a sotmetre a inspecció i control d'exportació **"les computadores quàntiques i acoblaments electrònics relacionats i els seus components"**. Aquest annex al Reglament també inclou, entre altres, dispositius qbits i circuits qbits; components de control quàntic; dispositius de medicació quàntica; semiconductors i superconductors; xips de qbits fotònics i conjunts de xips; conjunts de dispositius per a capturar ions; etc. Aquells exportadors que exportin fora de la UE hauran de complir amb la premissa de que el destí final no sigui cap dels països amb sancions o vetats (com Xina o Rússia).

Països de la UE actualment amb algun tipus normativa de restricció o control nacional a les exportacions de components quàntics



Fonts: Politico, Blomstein, Newtral, BOE, la Administración al Día i CE



Projecte CUCO



Projecte d'àmbit nacional espanyol finançat amb fons Next Generation EU i fons del Ministeri de Ciència i Innovació, amb participació públic-privada. Està centrat principalment en el desenvolupament de la computació quàntica a l'Estat espanyol.



Quantum Spain



Iniciativa impulsada pel Ministeri d'Economia i Transformació Digital i coordinada pel Barcelona Supercomputing Center. Compta amb una dotació inicial de 22 M€ per a l'establiment del primer ecosistema de computació quàntica a l'Estat i al sud d'Europa interconnectant diverses infraestructures de supercomputació per posar-les al servei de la ciència i la intel·ligència artificial (IA).



Estratègia espanyola en tecnologies quàntiques



L'Estratègia espanyola de tecnologies quàntiques pretén enfortir l'ecosistema quàntic espanyol d'investigació i recerca i potenciar el mercat de les TQ a Espanya. Es preveu una inversió pública de 808 M€ i una mobilització total de fons publico-privats de 1.500 M€. Es fomentarà el finançament d'infraestructura i l'ús de les TQ en aplicacions industrials.





PERTE Aeroespacial



Projecte Estratègic per a la Recuperació Transformació Econòmica amb una dotació prevista de 4.533 M€ fins al 2025 i que està enfocat al creixement del sector aeroespacial.
Compta amb 125 M€ pel desenvolupament d'infraestructura, programari, i maquinari quàntics principalment les comunicacions amb QKDs.



PERTE Chip



Projecte Estratègic per a la Recuperació Transformació Econòmica amb una dotació prevista de més de 12.000 M€ pel desenvolupament de la indústria dels semiconductors i la microelectrònica. Es preveu la mobilització de 40 M€ pel desenvolupament de xips quàntics.



Projecte CUCO

64

El projecte CUCO és el primer gran projecte de computació quàntica nacional i orientat a l'empresa a Espanya

Objectiu

- Avançar en el coneixement científic i tecnològic dels algorismes de computació quàntica mitjançant la col·laboració públic - privada.
- El projecte implica associacions entre empreses, centres de recerca i universitats per accelerar la implementació de tecnologies quàntiques.
- Pretén identificar casos d'ús rellevants en l'economia espanyola i realitzar proves conceptuals per avaluar les millores potencials de la informàtica quàntica respecte a la informàtica clàssica.

Àrees de recerca

- l'observació de la Terra,
- la mitigació del canvi climàtic,
- la traçabilitat de la informació de la cadena de subministrament,
- l'optimització de càlculs financers i
- la intel·ligència del senyal



Consorti



Partners catalans en el projecte:



Quantum Spain

65

Impulsada pel Ministeri d'Economia i Transformació Digital espanyol i coordinada pel Barcelona Supercomputing Center (BSC-CNS), aquesta iniciativa pretén construir un ecosistema de computació quàntica potent a Espanya.



Partners catalans en el projecte:



Línies de treball

- **Computador quàntic;** Barcelona Supercomputing Centre
- **Accés;** Red Española de Supercomputación
- **Recerca;** Universitats i centres de recerca
- **Formació;** Programa TalentQ

Pressupost: **22 M€**

Objectius

1. Desenvolupar **Ordinador quàntic** basat en la tecnologia de qbits superconductors.
2. **Servei d'accés remot a l'ordinador quàntic** per permetre a l'indústria i als sector públic experimentar amb els algorismes quàntics.
3. **Desenvolupar algorismes quàntics** útils aplicables a problemes reals. Desenvolupament de Quantum Machine Learning.
4. **Organitzar i promoure activitats transversals** de formació i difusió relacionades amb la computació quàntica.

Impacte

- **Espai públic de tecnologia emergent**, que s'alinea amb iniciatives europees i mundials
- **Generació de massa crítica de talent**
- **Impacte positiu a l'economia espanyola**, creació de llocs de treball de qualitat, atracció i retenció de talent

Estratègia espanyola en tecnologies quàntiques

L'Estratègia de tecnologies quàntiques del govern espanyol va ser aprovada l'abril del 2025 i té per objectiu **enfortir l'ecosistema quàntic a l'estat espanyol**, a nivell de recerca i investigació com de mercat, i preparar la societat espanyola pel canvi tecnològic amb les TQ.

- L'Estratègia, aprovada pel Ministeri per a la transformació digital i de la funció pública, es centra en **tres grans àrees**: la **computació quàntica**, les **comunicacions quàntiques** i la **sensòrica/metrologia quàntica**.
- L'accent es posa tant en la **recerca** com en la **transferència tecnològica al mercat**, el suport a startups i empreses tecnològiques emergents, així com en la **creació d'un ecosistema nacional coordinat** que sigui capaç de competir internacionalment. També busca preparar la societat per als canvis que aquestes tecnologies poden provocar en àmbits com la seguretat digital o la privacitat, especialment en l'anomenada era post-quàntica.
- El pla es desplega mitjançant set prioritats estratègiques, entre les quals destaquen el suport directe a empreses espanyoles, la integració de tecnologies quàntiques amb intel·ligència artificial i big data, el desenvolupament d'infraestructures de recerca, la formació de talent especialitzat i la consolidació d'un marc legal i ètic adequat. Un exemple concret ja en marxa és el **Hub de Comunicacions Quàntiques**, finançat amb 10 milions d'euros i destinat a impulsar projectes de recerca, formació i casos d'ús en diversos centres científics de prestigi. D'aquests 10 M€, **l'ICFO en va ser beneficiari de 2,48 M€**.

● Pressupost públic: **808 M€**

● Inversió publico-privada total prevista: **1.500 M€**



66



PERTEs Aeroespacial i de Microelectrònica i semiconductors



67

El Govern espanyol va aprovar dos **Projectes Estratègics per a la Recuperació i Transformació Econòmica** (PERTE) per impulsar la indústria, l'economia i la recerca a tot l'estat en els àmbits **aeroespacial** i de la **microelectrònica i els semiconductors**. Aquests plans dotats amb fons Next Generation UE, inclouen també inversions milionàries pel desenvolupament de les tecnologies quàntiques, **entre 2021 i el 2027**.



PERTE Aeroespacial

Aquest PERTE preveu mobilitzar prop de 4.533 M€ entre 2021 i 2025, amb una contribució del sector públic al voltant de 2.193 M€ i una inversió privada de prop de 2.340 M€. Una de les línies finançades és la de l'àmbit espacial, a on s'inclouen les comunicacions quàntiques. El finançament per a les comunicacions quàntiques es fa a través d'un Pla Complementari al PERTE, on participen diverses comunitats autònomes, entre les quals Catalunya.

Es preveuen mobilitzar un total de 125 M€ pel desenvolupament d'infraestructura, programari, i maquinari quàntics, principalment les comunicacions amb QKDs.



125 M€ pel desenvolupament de comunicacions quàntiques.



2021-2025



PERTE de Microelectrònica i semiconductors

El PERTE de Microelectrònica i semiconductors, també conegut com a "PERTE Xip", té com a objectiu reforçar les capacitats de disseny i producció de la indústria de la microelectrònica i els semiconductors. Preveu mobilitzar una inversió pública de 12.250 M€ fins al 2027, i estimular la inversió privada en el sector. Una de les línies de finançament del PERTE és la destinada a la creació de plantes de fabricació de microxips, que rebrà una injecció de 10.000 M€.

Una part d'aquests anirà destinada al desenvolupament de xips quàntics, amb una dotació inicial prevista de 40 M€.



40 M€ pel desenvolupament de xips quàntics.



2022-2027

Hubs quàntics a Espanya (I)

68



Fonts: BasQ, Galicia Quantum Technologies Hub i Generalitat de Catalunya

Fem avui l'**empresa** del demà

Hubs quàntics a Espanya (II)

69

	Galician Quantum Technologies Hub vol situar Galícia com a referent en TQ. Compta amb un ordinador quàntic de 32 qbits superconductors, Qmio , al Centre Tecnològic de Supercomputació de Galícia (CESGA), amb tecnologia proveïda per Fujitsu i Oxford Quantum Circuits (OQC). Fujitsu té a Galícia el seu <i>International Quantum Center</i> .	
	Castella i Lleó impulsa el projecte Q-Cayle en el marc del seu Pla Complementari de Comunicacions Quàntiques, fomentant la recerca i innovació en comunicacions quàntiques i aprofitant les infraestructures del Centre de Supercomputació de Castilla y León (SCAYLE).	
	Extremadura ha desenvolupat ExQNet per a establir una infraestructura de comunicacions quàntiques que faciliti la transició cap a la Internet Quàntica, aprofitant la infraestructura de supercomputació del CénitS-Lusitania (Centre de supercomputació d'Extremadura).	
	Andalusia té el seu centre de supercomputació i el supercomputador " Hércules ". L'Agència Digital d'Andalusia (ADA) ha licitat un contracte de 2 M€ per implementar un sistema d'innovació en tecnologies exponencials i computadors quàntics per potenciar aquesta infraestructura.	
	BasQ és una iniciativa del Govern Basc per a posicionar-se com un hub quàntic i desenvolupar les TQ. Té un acord amb IBM per a instal·lar un ordinador quàntic. La Diputació Foral de Biscaia impulsa Biqain per a oferir un servei d'emulació quàntica i assessorament en TQ per a les empreses amb la col·laboració de Microsoft.	
	Catalunya té un ecosistema d'startups i de recerca propici pel desenvolupament de les TQ . Compta amb centres de recerca i startups pròpies referents a nivell mundial com l'ICFO, el BSC-CNS, Qilimanjaro, Luxquanta o Quside, i el primer ordinador quàntic d'Espanya al BSC-CNS.	
	El País Valencià recolza a través de la seva Conselleria d'Educació, Cultura, Universitats i Ocupació un programa de comunicacions quàntiques que comptarà amb un pressupost total d'1,8 M€, i amb finançament provinent de fons Next Generation.	
	A Madrid hi ha la xarxa de comunicacions quàntiques més gran d'Europa (MadridQCI), en el marc del projecte Madrid Quantum , per promoure el desenvolupament de les TQ. Compta amb l'efecte capitalitat i amb fons europeus i estatals i institucions que fan recerca en TQ com l'UPM o el CSIC.	

Fonts: BasQ, Galicia Quantum Technologies Hub i Generalitat de Catalunya

Fem avui l'**empresa** del demà

5. Oportunitats, reptes i tendències de la Quàntica

Oportunitats



Solució i simulació de problemes complexos



Sensors i metrologia



Desenvolupament de cadena de valor i indústria auxiliar



Criptografia i major seguretat



Plans públics d'inversió i desenvolupament de les TQ



Aprenentatge automàtic quàntic

Reptes



Desenvolupament de la tecnologia



Regulació i seguretat



Inversions i costos elevats



Equilibri d'expectatives



Correcció d'errors



Talent



Solució i simulació de problemes complexos

Simular molècules materials, processos químics amb molt precisió, cosa que obre noves possibilitats en àrees com la medicina, desenvolupament de materials i la química verda. Permet resoldre problemes d'optimització complexos, en aplicacions com logística, finances, i les TQ es poden fer servir per a desenvolupar algoritmes de IA.



Sensors i metrologia

Els sensors quàntics ofereixen nivells de precisió sense precedents en les mesures. Hi ha oportunitats per desenvolupar sensors per a aplicacions en sanitat, monitoratge ambiental, a més, els sensors quàntics poden millorar els sistemes de navegació i les tecnologies d'imatge.



Desenvolupament de cadena de valor i indústria auxiliar

El desenvolupament de les TQ requereix d'altres tecnologies facilitadores com la criogènia i entorns de buit, sales blanques i capacitat per miniaturitzar, electrònica de control, fonts làser, detectors, etc. i s'ha de treballar per a integrar la nova tecnologia a les indústries i ecosistemes existents



Criptografia i major seguretat

Garantir la seguretat de les comunicacions davant atacs de computació quàntica. Protegir dades sensibles de manera segura.



Plans públics d'inversió i desenvolupament de les TQ

Les institucions europees, a través de programes com Horizon Europe i Digital Europe, Quantum Flagship, ofereixen finançament per a tecnologies quàntiques.



Aprenentatge automàtic quàntic

Explorar la intersecció de la computació quàntica i l'aprenentatge automàtic per desenvolupar algorismes més potents per a l'anàlisi de dades i el reconeixement de patrons.

Font: elaboració pròpia a partir de KA Hossain "The potential and Challenges of Quantum Computing", 2023; Quantum Flagship, European Commission; McKinsey, "The Rise of Quantum Computing"; TNO; The Quantum insider, i entrevistes amb experts

Fem avui l'**empresa** del demà



Inversions i costos elevats

La despesa continua sent el principal obstacle per al desenvolupament de tecnologies quàntiques. El talent i la formació en aquest àmbit són costosos. Tant el desenvolupament de maquinari com el de programari quàntic requereixen inversions significatives. A més, les cadenes de subministrament són complexes, vulnerables i cares. Superar aquestes despeses i trobar inversions per compensar-les seguirà sent el major repte.



Equilibri d'expectatives

L'equilibri de les expectatives en tecnologies quàntiques és un repte crític, tot i el seu gran potencial, aquestes tecnologies encara tenen barreres tècniques importants. Cal moderar l'entusiasme amb una visió realista dels temps de desenvolupament per ajustar les expectatives d'inversors i responsables polítics, evitant el risc de desil·lusió a llarg termini.



Correcció d'errors

A causa de la naturalesa delicada dels estats quàntics, la computació és propensa a errors que poden acumular-se amb el temps i donar resultats incorrectes. Superar aquesta dificultat és essencial abans que la computació quàntica pugui resoldre problemes del món real. A més, és extremadament sensible al seu entorn, i qualsevol interferència o soroll pot provocar errors en els càlculs. Per això és necessari utilitzar equips i instal·lacions especialitzades per mantenir l'estabilitat dels estats quàntics.



Desenvolupament de la tecnologia

Es necessita avançar en la fabricació de qbits més estables i escalables per a crear sistemes amb més gran capacitat de processament, per transmetre la informació a més llargues distàncies. Són necessaris nous llenguatges de programació i algorismes específics.



Regulació i seguretat

Són necessaris estàndards internacionals per a garantir la interoperabilitat dels sistemes quàntics i protegir la seguretat de les comunicacions. A més desenvolupar noves tècniques de criptografia quàntica per a protegir la informació.



Talent

El nombre de persones formades adequadament per entrar a la força de treball quàntica és reduït a tot el món. Trobar els treballadors adequats i formar les noves persones és un repte.

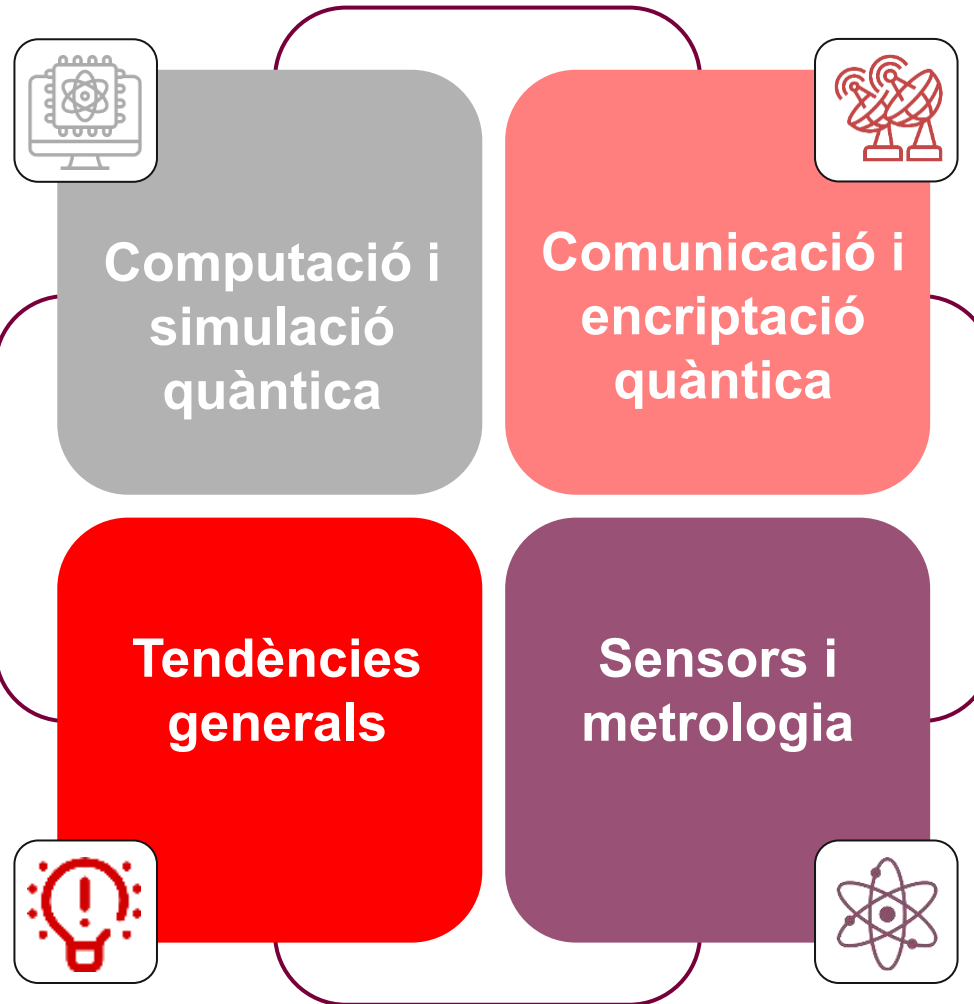
Font: elaboració pròpia a partir de KA Hossain "The potencial and Challenges of Quantum Computing", 2023; Quantum Flagship, European Commission; McKinsey, "The Rise of Quantum Computing"; TNO; The Quantum insider i entrevistes amb experts

Fem avui l'empresa del demà

Tendències en el camp de les TQ

- Escalabilitat
- Algorismes quàntics més eficients
- Nous qbits
- Correcció d'errors quàntics
- Integració amb la computació clàssica
- Quantum as a Service (QaaS)

- Estàndards, protocols i certificació
- Inversió pública i privada
- Impacte econòmic, ètic i social
- Sistemes de control i gestió
- Materials quàntics
- Simbiosi IA+TQ



- Desplegament QKD
- Xarxes quàntiques
- Repetidors quàntics
- Comunicació quàntica espacial
- Generació de nombres aleatoris quàntics (QRNG)
- Integració amb les infraestructures de comunicació clàssiques

- Més gran sensibilitat
- Miniaturització
- Noves àrees d'aplicació
- Integració amb altres tecnologies
- Noves plataformes quàntiques
- Soroll i estabilitat

Font: elaboració pròpia a partir de Quantum flagship, IonQ, MIT, ICFO, Boston consulting group, CENELEC, entrevistes amb experts

Tendències en el camp de les TQ. Computació i simulació quàntica

Escalabilitat

Desenvolupament d'arquitectures de qbits més estables i escalables.

- Qbits lògics, combinant diferents qbits per millorar l'estabilitat i la correcció d'errors
- Maquinari escalable amb plataformes modulars
- Sistemes de control avançats

Correcció d'errors quàntics

La correcció d'errors és crucial per millorar la robustesa dels ordinadors quàntics.

El repte principal és trobar maneres més eficients de detectar i corregir errors sense introduir una latència significativa i mitigar l'impacte del soroll, la decoherència i les incerteses en la informàtica quàntica.

Algorismes quàntics més eficients

Objectiu de crear nous algorismes per a aplicacions pràctiques com criptografia, simulacions químiques, optimització, etc. que siguin més eficients, més “verds”, i millorar els existents amb la integració de la Intel·ligència artificial.

Integració amb la computació clàssica

- Els sistemes híbrids combinen la computació quàntica i clàssica, amb processadors quàntics per a càlculs complexos i ordinadors clàssics per al processament i control de dades.
- Els algorismes quàntics variacionals (VQA) optimitzen els circuits quàntics mitjançant un bucle quàntic-clàssic.

Nous qbits

Desenvolupament i millora de mètodes per a generar qbits de manera que incrementin la seva estabilitat, la fiabilitat i escalabilitat per tal d'aconseguir ordinadors quàntics més funcionals.

Quantum as a Service (QaaS)

- QaaS fa accessible la informàtica quàntica a les empreses sense necessitat de maquinari car..
- La combinació de QaaS amb sistemes clàssics està guanyant força per afrontar reptes complexos. La demanda de precisió en operacions computacionals impulsa el creixement de QaaS.

Font: elaboració pròpia a partir de Quantum flagship, IonQ, MIT, ICFO, Bostin consulting group, CENELEC, entrevistes amb experts

Desplegament QKD

Fer aquesta tecnologia més pràctica, escalable i ubiqua

- Xarxes de QKD terrestres i satel·litals
- Integració en infraestructures de comunicació existents, especialment en fibra òptica
- Disminució de costos i miniaturització
- Protocols híbrids de seguretat
- Interoperabilitat, estandardització i certificació

Comunicació quàntica espacial

- S'ha aconseguit amb èxit la distribució de claus quàntiques entre satèl·lits i estacions terrestres, establint un nou estàndard en la comunicació quàntica.
- S'està treballant en la construcció d'una xarxa quàntica satel·lital, provant diferents tipus d'òrbites per a crear una infraestructura de comunicació segura.

Xarxes quàntiques

Objectiu: xarxes de comunicació segures i globals.

- Xarxes quàntiques híbrides
- Desenvolupament d'Internet quàntic
- Teletransportació quàntica
- Correcció d'errors quàntics
- Xarxes d'entrellaçament quàntic
- Estàndards i regulació de la comunicació quàntica

Generació de nombres aleatoris quàntics (QRNG)

- Els números aleatoris quàntics són una eina fonamental gràcies a la seva aleatorietat intrínseca i a la impossibilitat de ser predits o manipulats.
- S'estan desenvolupant estàndards internacionals per a la caracterització i certificació de generadors de números aleatoris quàntics, cosa que facilitarà la seva adopció en aplicacions comercials.

Repetidors quàntics

Els repetidors són essencials per estendre l'abast de la transmissió de la informació sense degradar l'entrellaçament dels qbits

- Repetidors d'entrellaçament distribuït
- Integració en xarxa de fibres i xarxes de satèl·lits
- Preservació de la seguretat quàntica

Integració amb les infraestructures de comunicació clàssiques

- Xarxes híbrides, amb coexistència d'ambdues tecnologies i especialització per tal d'optimitzar recursos
- Integració en infraestructura existent, això implica dissenyar xarxes quàntiques compatibles amb les xarxes existents
- Desenvolupament d'estàndards que permetin la interoperabilitat
- Certificació de seguretat i funcionament

Més gran sensibilitat

- Els sensors quàntics estan aconseguint nivells de sensibilitat sense precedents, permetent detectar senyals extremadament febles que abans eren impossibles de mesurar.
- S'estan explorant aplicacions en entorns extrems, com ara l'espai profund, on les condicions ambientals són molt desafiadors.

Integració amb altres tecnologies

- Intel·ligència artificial: La combinació de sensors quàntics amb IA permetrà sistemes de mesura més intel·ligents i autònoms.
- Internet de les coses (IoT): Els sensors quàntics s'integraran a dispositius IoT per crear xarxes de sensors altament sensibles i precises.

Miniaturització

- Sensors quàntics compactes: S'estan desenvolupant dispositius més petits i portàtils sense comprometre el rendiment, permetent la seva integració en diverses aplicacions, des de mòbils fins a satèl·lits.
- Fabricació en massa: La recerca de mètodes de fabricació més eficients i a gran escala reduirà els costos i augmentarà la disponibilitat d'aquests sensors.

Noves plataformes quàntiques

- Qbits NV diamant, àtoms freds i altres tecnologies de generació de qbits podrien oferir plataformes estables per a construir sensors quàntics d'alta precisió.

Noves àrees d'aplicació

- Biomedicina: detecció precoç de malalties, imatge mèdica d'alta resolució, i desenvolupament de nous tractaments
- Geofísica: exploració de recursos naturals, seguiment de terratrèmols, volcans, etc
- Metrologia. Millora de la precisió dels instruments de precisió
- Defensa

Soroll i estabilitat

- Els sensors quàntics són molt sensibles a qualsevol pertorbació externa, fluctuacions, etc. que pot afectar a la precisió de la mesura
- Existeixen diferents estratègies per a millorar la correcció del soroll i l'estabilitat en els sensors quàntics com l'aïllament, correcció d'errors quàntics, selecció de materials i disseny

Tendències en el camp de les TQ. Tendències generals.

78

Estàndards, protocols i certificació

- Quantum Key Distribution (QKD) és actualment l'àrea més avançada pel que fa a l'estandardització.
- A mesura que les tecnologies quàntiques maduren, s'espera que els esforços d'estandardització i certificació s'accelerïn, facilitant la interoperabilitat, el creixement del mercat i una adopció més àmplia..

Sistemes de control i gestió

- Per a gestionar la complexitat d'una configuració de computació quàntica, s'han desenvolupat sistemes integrats d'instruments i programari, que proporciona l'electrònica de control essencial per inicialitzar, manipular i llegir bits quàntics amb la fidelitat requerida per als ordinadors quàntics

Inversió pública i privada

- La col·laboració públic-privada és un motor clau per a impulsar la recerca i el desenvolupament de les TQ, per trobar sinergies entre els coneixements acadèmics i la pràctica empresarial, per que les inversions són significatives tant en recerca bàsica com en el desenvolupament d'aplicacions, i per a la generació de nous sectors i llocs de treball.

Materials quàntics

- El desenvolupament de materials específics per a la computació quàntica millorarà l'eficiència i la fiabilitat dels dispositius quàntics.
- Recerca en nous materials amb propietats quàntiques

Impacte econòmic, ètic i social

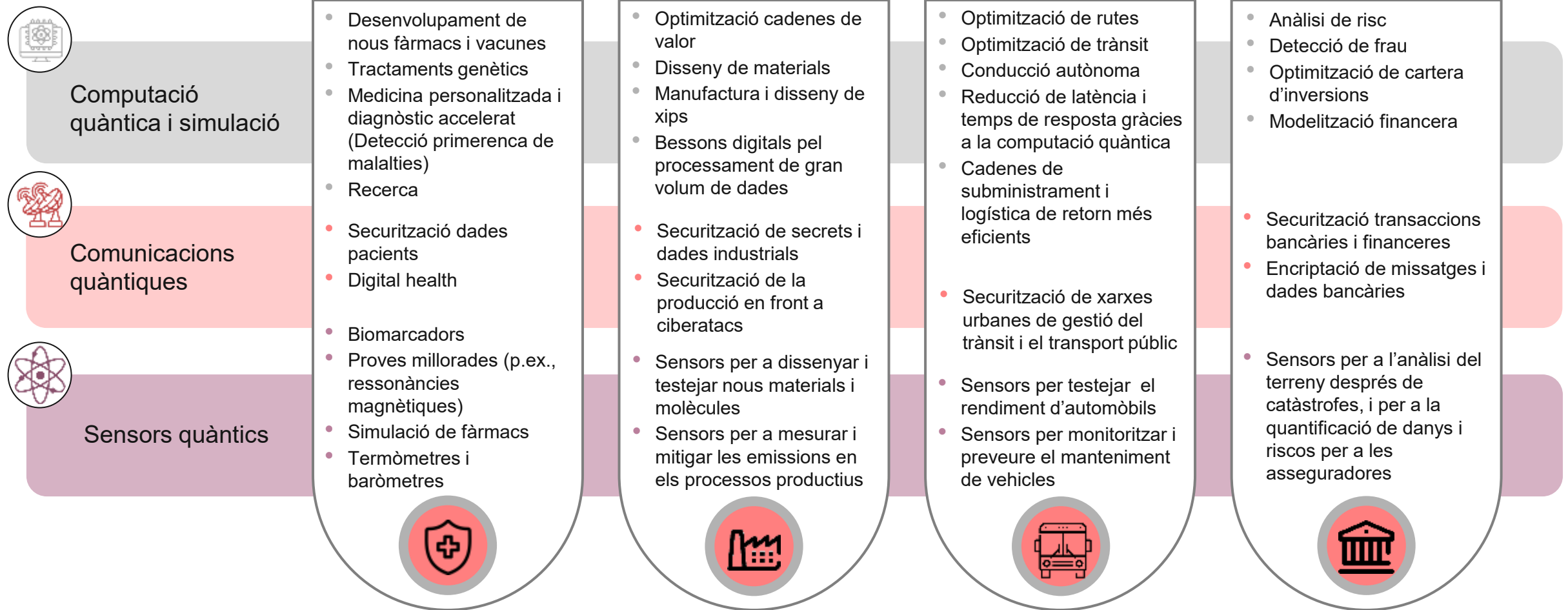
- Les tecnologies quàntiques revolucionaran diverses indústries, amb grans implicacions per a la societat i l'economia.
- També plantegen consideracions ètiques importants, com la seguretat de les dades, la bretxa digital, alteracions en determinades indústries i nous mercats de treball, inquietud pel fet de tractar-se d'una tecnologia de doble ús.

Simbiosi IA+TQ

- Simbiosi de la IA i les Tecnologies quàntiques per a resoldre el reptes que afecten a la societat.
- Exploració d'algoritmes quàntics per a tasques d'aprenentatge automàtic.
- Integració de la computació quàntica en models clàssics d'aprenentatge automàtic. Xarxes neuronal quàntiques

Les tecnologies quàntiques a Catalunya

6. Àmbits d'aplicació i ODS



Telecomunicacions i ciberseguretat

Enginyeria civil i aeroespacial

Serveis

Recursos i infraestructures crítiques



Computació quàntica i simulació



Comunicacions quàntiques



Sensors quàntics

- Processadors quàntics en Data Centers
- Processament de dades en temps real gràcies als algoritmes quàntics
- Sistemes encriptats de comunicació QKD
- Generadors quàntics de codis encriptats
- Optimització de temps i latència gràcies la convergència de les TQ i la 5G i la 6G (llarg termini)
- Rellotges atòmics per a GPS
- LiDAR quàntics
- Radars quàntics



- Càlculs complexos en àrees de dinàmica de fluids, simulacions per elements finits, aerodinàmica, mecànica de vol
- Sistemes d'encriptació i comunicacions segures per a les plataformes de vol i aerolínies
- Sensors per a enginyeria aeroespacial i naval
- Metrologia pel disseny i testatge de models d'aeronaus
- Millora dels sistemes de navegació i posicionament
- Sensors per a detecció submarina



- Experiència client millorada gràcies al processament avançat de dades
- Predicció de "trànsit" en botigues i prevenció de robatoris gràcies al processament de les dades de moviment dels clients
- Optimització de la logística final i entregues
- Serveis de missatgeria i encriptació quàntica
- Sensors quàntics integrats en dispositius comercials



- Predicció meteorològica
- Optimització de xarxes i detecció de fuites
- Desenvolupament millorat de nous combustibles i sistemes d'emmagatzematge d'energia més eficients
- Optimització del rendiment de panells solars
- Securitització de les xarxes d'energia en front a ciberatacs
- Sensors pel disseny de nous circuits electrònics
- Simuladors quàntics pel disseny avançat de bateries



Ús quotidià de les TQ (I)

82



TELÈFONS MOBILS

Sistemes de navegació amb sensors quàntics; Càmera amb CCD sensor, basat en efecte fotoelèctric; Disseny de bateries; Física quàntica pel disseny dels materials dels circuits electrònics.



RESSONÀNCIA MAGNÈTICA

La ressonància magnètica (MRI) ha revolucionat la manera de diagnosticar malalties, proporcionant als professionals mèdics un mètode no invasiu per generar imatges dins del cos humà.

Les màquines de ressonància magnètica funcionen gràcies a la propietat quàntica de l'espín, que proporciona a cada àtom una propietat magnètica previsible.

En excitar aquests imants amb llum de radiofreqüència, podem fer mapes en 3D d'objectes des de l'exterior.



CÈL·LULES FOTOVOLTAIQUES

Les cèl·lules solars converteixen la llum en corrent elèctric, un procés conegut com a efecte fotovoltaic. Aquest efecte només es pot explicar si la llum arriba en paquets discrets (fotons), una pedra angular de la mecànica quàntica.



Ús quotidià de les TQ (II)

83



GPS

El Sistema de Posicionament Global (GPS) utilitza rellotges atòmics molt precisos per a la geolocalització. Els rellotges atòmics mantenen el temps controlant el senyal de microones que emeten els electrons dels àtoms quan canvien els nivells d'energia.



LÀSER

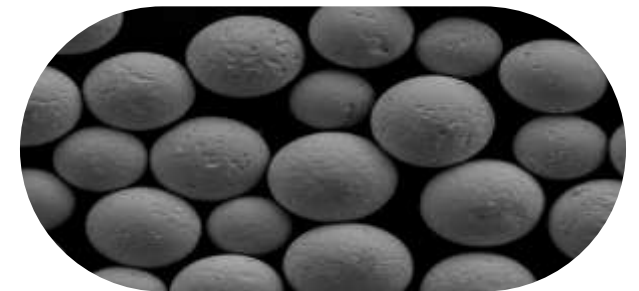
El làser és un procés quàntic que produeix un feix de llum altament enfocat. Els làsers només són possibles a causa dels nivells d'energia quantificats dels àtoms, que es poden manipular per emetre més llum quan s'il·luminen mitjançant un procés anomenat emissió estimulada.

Els làsers s'utilitzen per a l'emmagatzematge de disc òptic (DVD), cirurgia, tractaments corporals, telecomunicacions de fibra i connexions a Internet i moltes altres aplicacions. També són clau per construir altres tecnologies quàntiques com els rellotges atòmics.



MICROSCOPI ELECTRÒNIC

Els microscopis electrònics són capaços de veure alguns dels detalls més petits utilitzant electrons en lloc de llum com a font d'il·luminació. Com que els electrons tenen una longitud d'ona fins a 100.000 vegades més curta que la de la llum visible, els microscopis electrònics tenen una resolució molt millor que els microscopis òptics tradicionals. Amb els microscopis d'efecte túnel es poden veure les superfícies de materials amb precisió atòmica.

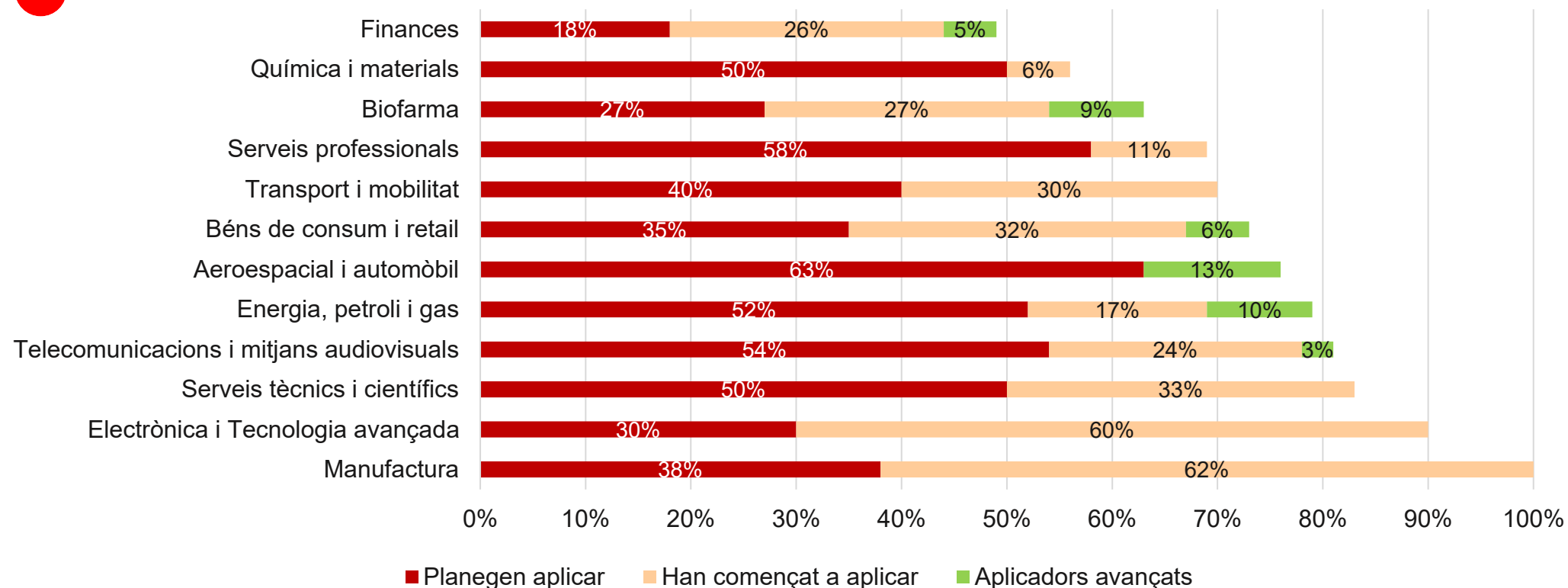


Aplicació de les TQ per sector industrial

84

A nivell global les TQ estan encara en **fase incipient d'adopció** per norma general en les empreses. No obstant això, les TQ com els sensors quàntics i la comunicació quàntica estan més implantades i desenvolupades que la computació quàntica, la qual s'anirà desenvolupant cada cop més. Hi ha sectors en que aquestes tecnologies porten més temps aplicant-se, com poden ser l'aeroespacial, l'automotriu, el de l'energia o el de les finances.

Aplicació de les empreses de les TQ en el seu model de negoci (dades mundials, en percentatge)



Nota: les dades són extretes d'una enquesta realitzada a més de 300 alts directius tecnològics (CTOs, VPs, CIOs, etc.) de grans empreses globals d'EUA, Canadà, Xina, Japó, Índia, Austràlia, França, Regne Unit i Alemanya. 2024

Font: elaboració pròpia en base a Zapata.ai

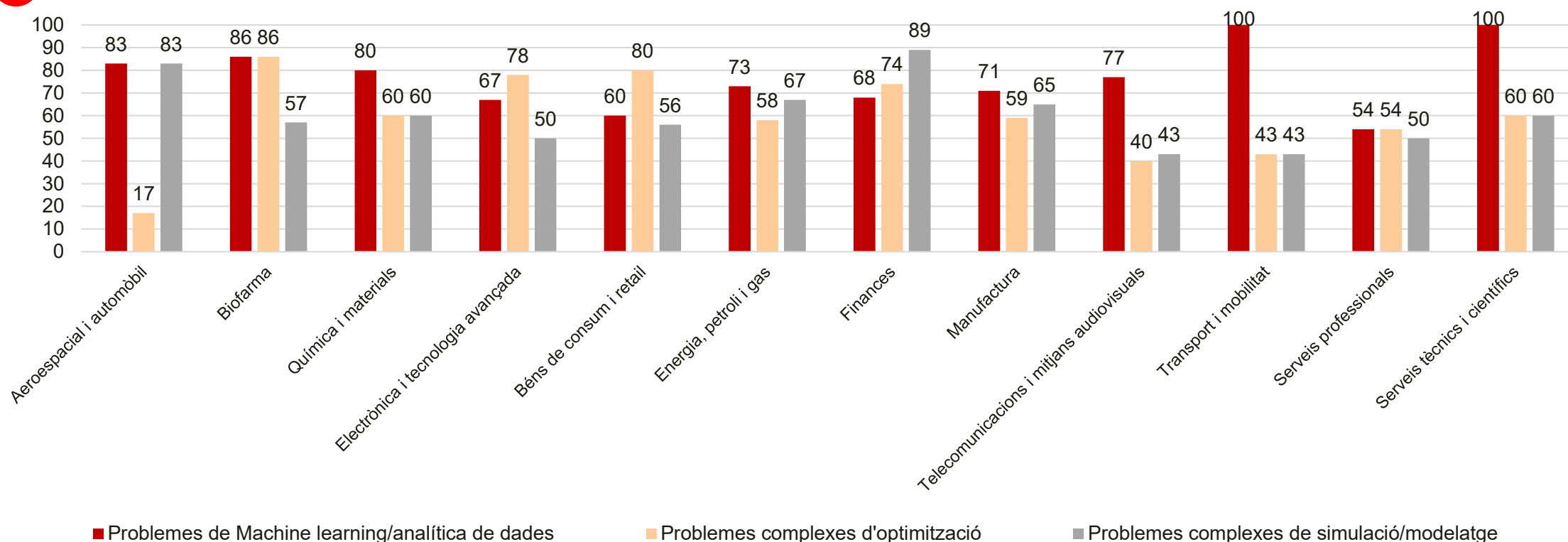
Problemes als quals s'espera que les TQ donin resposta (per sector industrial)

85

Les TQ permetran a les empreses i sectors industrials que l'adoptin **optimitzar** els processos interns i millorar la producció, l'eficiència i la **seguretat** en un futur. Les TQ serviran previsiblement per optimitzar problemes d'analítica de dades i aprenentatge automàtic, sobretot en la ciència, la mobilitat, l'automoció o la farma.



Aplicacions desitjades de les TQ en cada sector industrial (dades mundials, en percentatge d'empreses responents de cada sector, %)



Nota: les dades són extretes d'una enquesta realitzada a més de 300 alts directius tecnològics (CTOs, VPs, CIOs, etc.) de grans empreses globals d'EUA, Canadà, Xina, Japó, Índia, Austràlia, França, Regne Unit i Alemanya. 2024

Font: elaboració pròpia en base a Zapata.ai

Les **TQ** poden ajudar en la **consecució** dels **Objectius de Desenvolupament Sostenible**, per la seva **transversalitat** en diversos sectors. Es preveu que l'impacte de la quàntica sigui substancial i transformador, i els casos d'ús abunden en moltes indústries, que van des de l'optimització a l'aprenentatge automàtic, simulació, detecció de precisió i seguretat.

Els **Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS)** són el pla mestre de **Nacions Unides** per a aconseguir un futur **sostenible per a tothom en vistes al 2030**. Les tecnologies quàntiques poden contribuir en la consecució de la majoria dels àmbits primordials per a l'assoliment que persegueixen els objectius de desenvolupament sostenible. La contribució en els ODS es pot donar en els següents camps:



Les TQ poden impactar en la consecució, en major o menor mesura, de tots els **ODS (17)**.



1. Fi de la pobresa

Optimització i distribució eficient dels recursos gràcies a la computació quàntica. Processament de gran volum dades i detecció de pobresa per a una assignació eficaç de recursos gràcies als algorismes quàntics.



5. Igualtat de gènere

Optimització quàntica de recursos i anàlisi de dades en la configuració de polítiques de gènere. Computació quàntica en videovigilància per augmentar la seguretat de les dones en espais públics.



2. Fam zero

Simulació de processos naturals i reaccions químiques per millorar la producció agrícola (agricultura de precisió) i de fertilitzants. Optimització de producció d'aliments i rutes de distribució gràcies als algorismes quàntics.



6. Aigua neta i sanejament

Gravimetria i dispositius giroscòpics quàntics per a localitzar i extraure aigua. Magnetometria quàntica per rastrejar i detectar bacteries i altres contaminants a l'aigua. Optimització de la gestió dels recursos hídrics.



3. Salut i benestar

Desenvolupament de nous fàrmacs i simulació acurada de molècules gràcies a la computació quàntica. Anàlisis genòmic accelerat. Sensors i dispositius quàntics per millorar proves MEG, MMG, NIR, ressonàncies magnètiques i proves in vitro.



7. Energia neta i assequible

Optimització de la xarxa elèctrica gràcies a la computació quàntica. Sensors quàntics per optimitzar la distribució d'energia detectant fuites. Simulació per al descobriment de nous materials semiconductors i millora de l'eficiència dels recursos energètics actuals. Algorismes quàntics per preveure la demanda, subministrament, preus, gestió, etc., de l'energia.



4. Educació de qualitat

Eines d'aprenentatge automàtic quàntic per a un aprenentatge personalitzat i adaptat. Processament de dades de nivell educatiu de la població amb algorismes quàntics per a una prioritització i assignació de recursos eficient.

Les TQ poden impactar en la consecució, en major o menor mesura, de tots els **ODS (17)**.



8. Treball digne i creixement econòmic

Computació quàntica per augmentar la productivitat econòmica i crear nous llocs de treball. Simulació quàntica de models micro i macro per millorar les economies dels països. Avaluació eficient del risc financer i modelització financera.



9. Indústria, innovació i infraestructures

Optimització quàntica de xarxes de transport, distribució d'energia i aigua. Simulació i predicció de la demanda futura per detectar les necessitats d'inversió. Sensors quàntics pel manteniment preventiu d'infraestructures.



10. Reducció de les desigualtats

Aprentatge automàtic quàntic per processar dades i ajudar a prendre decisions per disminuir les desigualtats. La simulació i els algorismes quàntics poden ajudar a millorar els indicadors de solidesa financera i reduir les desigualtats.



11. Ciutats i comunitats sostenibles

Algorismes quàntics per optimitzar les xarxes de transport, distribució d'aigua i energia; millora i descongestió del trànsit gràcies a càlculs i preses de decisions més ràpides. Sensors quàntics pel monitoratge d'edificis i infraestructures.



12. Consum i producció responsables

Computació quàntica per una distribució de cultius i producció d'aliments més eficient i sostenible. Sensors per mesurar la radiació fotosintètica i utilitzar eficientment els hivernacles. Indústria més eficient gràcies a les TQ.



13. Acció climàtica

Sensors i modelatge quàntic per preveure fenòmens meteorològics. TQ per garantir la captura d'emissions de CO₂ en processos industrials. Sensors quàntics per monitoritzar l'observació de la Terra.



14. Vida submarina

TQ en imatges per satèl·lit per monitoritzar la fauna marina. Algorismes quàntics per ajudar a estimar i predir l'estat dels caladors de peixos. Simuladors quàntics aplicats a la producció de materials no contaminants pels oceans. Sensors quàntics per monitoritzar l'estat dels gasoductes i canonades submarines i detectar fuites.

Les TQ poden impactar en la consecució, en major o menor mesura, de tots els **ODS (17)**.



15. Vida terrestre

TQ en imatges per satèl·lit per monitoritzar la fauna i vegetació terrestre. Optimització de terres de cultius per evitar desforestació. Observació terrestre i sensors quàntics pel monitoratge del canvi de clima en rius, llacs, muntanyes, deserts, etc.



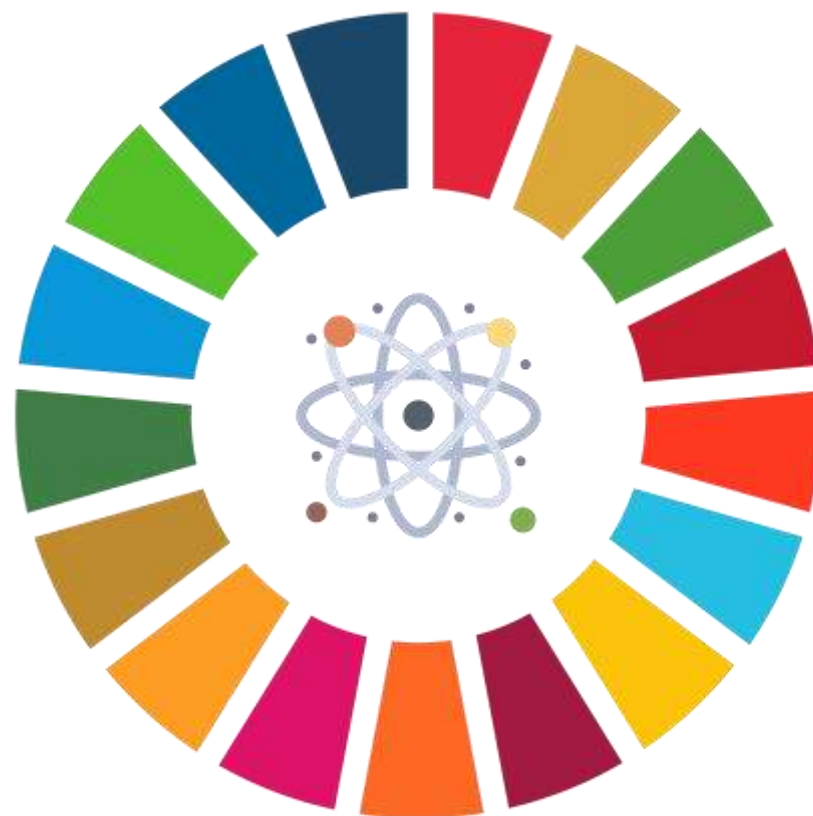
16. Pau, justícia i institucions sòlides

Algoritmes quàntics per detectar i reduir el frau fiscal, el blanqueig de capitals i transaccions fraudulent. Comunicacions quàntiques i ciberseguretat per neutralitzar ciberatacs i atacs terroristes. Processament de dades per definir regulacions més eficaces.



17. Aliança pels objectius

La computació quàntica pot ajudar a recaptar recursos addicionals provinents de la fiscalitat, prevenint el frau fiscal. Simulació quàntica per aconseguir sostenibilitat del deute financer dels països (modelització financera). TQ com a pilar per a la cooperació i innovació tecnològiques entre països. Algoritmes quàntics per a l'anàlisi de dades demogràfiques i regionals per dissenyar quadres i indicadors macroeconòmics.



Les tecnologies quàntiques a Catalunya

7. La Quàntica a Catalunya

Mapatge de l'ecosistema de les Tecnologies quàntiques a Catalunya

91



52 empreses



+30
empreses*



91,4 milions
d'euros



470 llocs
de treball



El 53,8% són pimes.



El 32,7% tenen menys de
10 anys.

El 17,3% són startups.



El 13,5% facturen més d'1 M
d'€ i el 2% més de 10 M d'€.

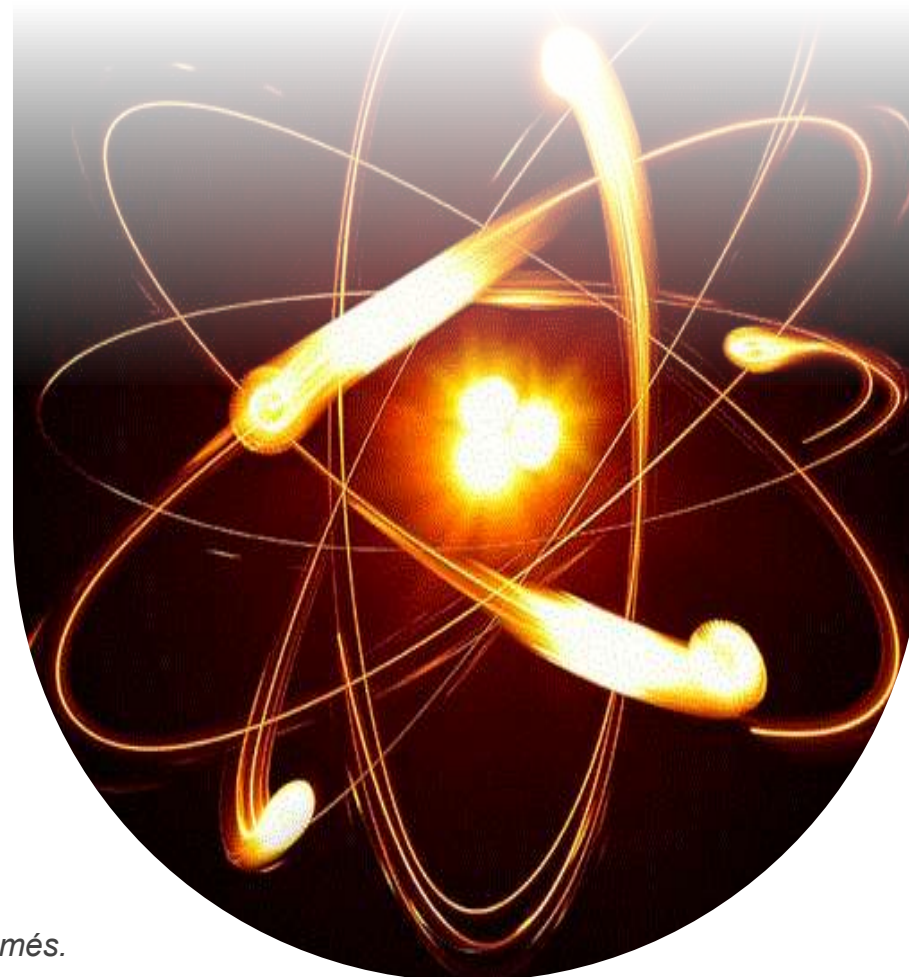


El 21,2% són exportadores.

Per tecnologia desenvolupada, destaquen les empreses que es dediquen a **comunicació/criptació** (51,9%), **computació quàntica** (44,2%) i **aplicacions i tecnologies facilitadores** (42,3%), i per sector d'aplicació, destaca la **indústria 4.0** (80,8%) i les aplicacions en **enginyeria civil i aeroespacial** (61,5%)**.

* Respecte les dades del mapatge realitzat el 2019, el total d'empreses creix en 30 empreses més.

**Les empreses poden estar classificades en més d'una tecnologia i sector d'aplicació.



Empreses destacades de les TQ a Catalunya (I)

92

Segons àmbit d'especialització tecnològica



Computació



Simulació



Comunicació/Encriptació



Aplicacions i tecnologies facilitadores



Sensors /Metrologia



Algoritmes /IAQ



Fem avui l'empresa del demà

Empreses destacades de les TQ a Catalunya (II)

93

Segons el sector d'aplicació

Nota: sectors d'aplicació segons els que apareixen a les pàgines web de les empreses.



Salut i farma



Indústria 4.0



Mobilitat i logística



Finances i assegurances



Telecomunicacions i ciberseguretat



Recursos i infraestructures



Serveis



Enginyeria civil i aeroespacial



Consultoria



Agents de l'ecosistema de les TQ a Catalunya

94



Centres
tecnològics
i instituts de
recerca



Universitats
i centres
formatius



Xarxes i
equipaments



Associacions,
clústers i
ventures



Fires i
congressos



Institucions i
administració
pública



Localització de les empreses desenvolupadores de TQ a Catalunya

95

- La major part de les empreses de tecnologies quàntiques a Catalunya es concentren a l'**àrea del Barcelonès**. Per comarques es distribueixen entre el **Barcelonès**, el **Baix Llobregat**, el **Vallès Occidental** i el **Vallès Oriental**.
- Per municipis el repartiment seria el següent: **Barcelona** (amb **34** empreses sobre el total), Castelldefels (**6**), l'Hospitalet de Llobregat (**2**), Badalona (**1**), Sant Adrià del Besòs (**1**), Terrassa (**1**), Cornellà de Llobregat (**1**), Cerdanyola del Vallès (**1**) i Parets del Vallès (**1**).

Comarca	Núm. d'empreses	% sobre el total
Barcelonès	38	73%
Baix Llobregat	8	15%
Vallès Occidental	4	8%
Vallès Oriental	2	4%
Total	52	100%



Centres tecnològics i de recerca en TQ a Catalunya (I)

 Accés al web de la institució

96



Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS) és el centre nacional de supercomputació d'Espanya i un dels principals centres europeus de recerca en computació d'alt rendiment (HPC). El 2023 va posar en marxa el superordinador MareNostrum 5. El BSC lidera el projecte Quantum Spain, destinat a promoure el desenvolupament de la computació quàntica a nivell estatal, i col·labora amb altres centres de recerca i empreses en projectes com el CUCO; en el marc del Quantum Spain acull el primer ordinador quàntic de tot Espanya. A escala europea, participa en els programes QUADRATURE, centrats en dissenyar arquitectures quàntiques escalables, i HPCQS, enfocats a la computació d'alt rendiment. A més, el BSC alberga un dels sis ordinadors quàntics d'EuroHPC JU dins el projecte EuroQCI, integrant un sistema quàntic analògic i digital al MareNostrum 5 per impulsar la recerca en computació quàntica.



L'**Institut de Ciències Fotòniques** (ICFO) és un centre de recerca d'excel·lència amb línies de recerca que abasten diverses àrees en les quals la fotònica exerceix un paper decisiu. L'ICFO duu a terme diferents línies d'investigació entorn a la quàntica i el big data, inclosa la intel·ligència artificial quàntica, i l'anàlisi massiva de dades gràcies a l'aprenentatge automàtic. Compta amb una unitat de recerca entorn de la ciència quàntica. Actualment lidera diversos projectes dins de l'European Quantum Flagship, centrant-se sobretot en el pilar de la comunicació quàntica, amb el projecte QSNP, i col·laborant en altres iniciatives com QIA i Pasquans2. Des de 2010, l'ICFO ha participat en més de 180 projectes relacionats amb tecnologies quàntiques. Igual que el BSC, l'ICFO també forma part de l'iniciativa EuroQCI, coordinant el projecte EuroQCI-Spain, que busca desplegar una xarxa de comunicació quàntica a nivell nacional.



L'**Institut de Física d'Altes Energies** (IFAE) és un centre de recerca adscrit a la UAB. La missió de l'IFAE és promoure i portar a terme investigacions en física de partícules, astrofísica i cosmologia. El centre s'estructura en dues divisions: l'experimental i la teòrica. Compta amb un grup de recerca en TQ i col·labora amb el BSC en el desenvolupament de la computació quàntica a Catalunya. L'IFAE lidera el projecte ICRQ, que estudia l'impacte de la radiació ionitzant en qbits superconductors, i participa en el consorci europeu QRADES per al desenvolupament de sensors quàntics per detectar matèria fosca.



Eurecat és un centre tecnològic amb onze seus a Catalunya que ofereix serveis d'R+D aplicada, consultoria i formació en l'àmbit industrial, digital, biotecnològic i de sostenibilitat. Actualment, lidera la innovació quàntica al territori mitjançant la seva participació en les xarxes AI4ES i ARQA, el desenvolupament del projecte de programari QUANTUM i la recent obertura del QuantIA Lab, una infraestructura d'emulació i optimització quàntica única a Catalunya.



Centres tecnològics i de recerca en TQ a Catalunya (II)

 Accés al web de la institució

97



L'**Institut Català d'Investigació Química** (ICIQ) va iniciar les seves activitats de recerca l'any 2004. Investigacions en 2 àrees principals que són la catàlisi i les energies renovables. El centre està compromès amb la transferència de coneixement i tecnologia als sectors químic, farmacèutic i energètic. En l'àmbit de les TQ, han rebut recentment un Advanced Grant ERC de 2,5 milions d'euros per estudiar els fenòmens de coherència quàntica aplicats a cèl·lules solars.



L'**Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia** (ICN2) té com a missió assolir l'excel·lència científica i tecnològica en els camps de la nanociència i la nanotecnologia, a força de desenvolupar idees i coneixement fonamental en l'àrea de la nanociència, i facilitar l'adopció i integració de nanotecnologies en la societat i la indústria. Pel que fa a les tecnologies quàntiques, actualment es centren en el desenvolupament de qbits en 3D i semiconductors en 2D.



L'**Institut d'Estudis Espacials de Catalunya** (IEEC) és un centre de recerca especialitzat en l'estudi de l'espai, amb projectes en tecnologies de comunicació quàntica com la distribució quàntica de claus (QKD) per garantir comunicacions segures. L'IEEC participa en el desenvolupament de càrregues útils satel·litals i infraestructures terrestres per implementar QKD, i en la creació de fonts quàntiques avançades amb aplicacions en detecció de matèria fosca i comunicacions quàntiques.



L'**Institut de Ciència de Materials de Barcelona** (ICMAB-CSIC) és un centre de recerca multidisciplinari centrat en la recerca d'avantguarda en materials avançats funcionals en els camps de l'energia, l'electrònica, la nanomedicina i les aplicacions encara per imaginar. Compta amb una unitat de baixa temperatura i magnetometria que mesura les propietats elèctriques i magnètiques mitjançant sensors quàntics per a la recerca i desenvolupament.



L'**Institut Químic de Sarrià** (IQS-Universitat Ramon Llull) és membre fundador de la Universitat Ramon Llull i consta de dues facultats universitàries: la IQS School of Engineering i la IQS School of Management. IQS també alberga departaments que donen suport a l'esperit empresarial, la transferència de tecnologia i la formació contínua. Compta amb equips docents i investigadors en el camp de les TQ aplicades a l'àmbit industrial i tecnològic.



El **Port d'Informació Científica** (PIC) és un centre científicotecnològic operat a través d'un conveni de col·laboració entre els centres de recerca del CIEMAT i l'IFAE especialitzat en el desenvolupament d'eines i mètodes avançats per a l'anàlisi de dades científiques. Dona suport en la recerca de TQ, col·laborant amb IFAE i en projectes de desenvolupament de la quàntica com el Quantum Spain.



El **Centre Nacional de Microelectrònica** (IMB-CNM) és un institut d'investigació del Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC). L'activitat principal és la recerca i el desenvolupament amb una orientació aplicada als camps de les micro- i nanotecnologies, dispositius i sistemes basats en el silici. A la seva sala blanca al Campus Bellaterra de la UAB, col·labora amb diversos centres i empreses per desenvolupar xips quàntics. L'IMB-CNM lidera la fabricació dins la plataforma QTEP+ del CSIC i participa en projectes destacats com Qu-PILOT per establir infraestructures de línies pilot per a tecnologies quàntiques, QU-TECH per a dispositius quàntics semiconductors, i Pilot4QuTech per explorar la fabricació de dispositius nanoelectrònics compatibles amb CMOS. També col·labora en projectes de sensors quàntics i estructures híbrides per a qbits Shiba.



La fundació **i2CAT** és un centre de recerca sense ànim de lucre que impulsa R+D+I en arquitectures i serveis avançats d'Internet. És part de la Quantum Internet Alliance i el hub QuantumCAT, amb implicació en projectes de comunicació i computació quàntiques. Destaca per la seva col·laboració en la primera videoconferència amb encriptació quàntica a Catalunya i en el disseny de missions satel·litals per a la distribució de claus quàntiques. Participa en el projecte de criptografia quàntica 6GSATNET-SeS i lidera 6GQuCryptoLab per a criptografia quàntica dins el programa UNICO I+D 6G.



El **Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya** (CTTC) és un centre de recerca centrat principalment en tecnologies relacionades amb les capes físiques, d'enllaç de dades i de xarxa dels sistemes de comunicació, i amb la geomàtica. Com a part del QuantumCAT, el CTTC desenvolupa recerca en encriptació i computació quàntiques. Coordina projectes innovadors com RELAMPAGO per a la distribució de claus quàntiques (QKD) i 6G-OPENSEC-KEYS per integrar QKD en xarxes 6G. A més, lidera dos projectes per aplicar QKD en xarxes no terrestres i geoestacionàries. El CTTC participa en iniciatives europees com ALLEGRO per a tecnologies quantum-safe i GREEN 5G/B5G, centrades en validar sistemes de comunicació quàntica en espai lliure. També forma part de la Catalonia Quantum Academy, que busca impulsar la formació en tecnologies quàntiques.



El **Sincrotró ALBA**, situat a Cerdanyola del Vallès, és una infraestructura científica de tercera generació que produeix llum de sincrotró per estudiar l'estructura atòmica i molecular dels materials. Disposa de deu línies de llum operatives, orientades a les biociències, la matèria condensada i la ciència dels materials. Properament es construirà al complex del sincrotró, el BCN-Innofab, un centre tecnològic de producció de xips que aprofitarà la recerca de l'ALBA per al desenvolupament de materials avançats i superconductors i xips quàntics.

A banda dels instituts tecnològics i de recerca, algunes de les principals universitats catalanes compten també amb grups de recerca i institucions pròpies que també estan treballant en el camp de les TQ:



Grups de recerca en TQ

- **Grup d'òptica:**  Disseny de simuladors quàntics i dispositius atomtrònics amb àtoms ultrafreds, comunicacions quàntiques
- **Grup d'informació quàntica (GIQ):**  Comunicació quàntica, simuladors quàntics, sensors quàntics, aprenentatge quàntic, termodinàmica quàntica
- **Grup de Nanoelectrònica Computacional (NANOCOMP):**  Computació quàntica (implementació de qbits en estat sòlid), modelatge quàntic (amb trajectòries Bohmianes), materials quàntics



Grups de recerca en TQ

- **Grup de magnetisme:**  Magnetisme quàntic, transport electrònic dependent de l'espín

Institucions



Institut de Ciències del Cosmos
UNIVERSITAT DE BARCELONA



- Fonts de fotons individuals i entrellaçats a partir de punts quàntics



Institut de Nanociència i Nanotecnologia
UNIVERSITAT DE BARCELONA

LabMoDesign



- Síntesi de complexos moleculars de coordinació per a la computació quàntica



Grups de recerca en TQ

- **Grup de comunicacions òptiques (GCO):** Computació/comunicació quàntica 
- **Grup QuNet/BAMPLA:** Computació/sensors quàntics 
- **Grup SPCOM:** Computació/comunicació quàntica 
- **Grup BQMC:** Comunicació/sensors quàntics/materials 
- **Grup DONLL:** Comunicació quàntica 

Institucions



- Arquitectures de computació quàntica, comunicacions quàntiques integrades



- Postgrau en enginyeria quàntica 

Font: Generalitat de Catalunya
Fem avui l'**empresa** del demà

Talent quàntic a Catalunya

 Accés al web de la institució

100

Catalunya disposa d'una oferta formativa especialitzada que respon als reptes de les tecnologies quàntiques i prepara professionals altament qualificats en aquest camp emergent. Algunes de les empreses punteres del país son fruit de la recerca en els centres d'excel·lència que ofereixen talent al país.

Graus

Catalunya compta amb una oferta de graus en àrees de coneixement STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics), orientats a les tecnologies quàntiques i impartits per les següents universitats:



Màsters i postgraus

- Màster en **Ciència i Tecnologia Quàntiques** / Master in Quantum Science and Technology



- esforç coordinat de:



- Postgrau en **Enginyeria Quàntica**



Cursos i formacions

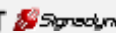
- Curs bàsic de computació quàntica



- Plataforma de formació en **Ciència i Tecnologia Quàntiques**



Spin-offs catalanes en tecnologies quàntiques i centre del qual provenen



Font: Generalitat de Catalunya

Fem avui l'**empresa** del demà

Projectes en Quàntica a Catalunya (2022-1r. Trim. 2026)

53 projectes

40,9 milions d'euros

2,7% del total de la UE
44,6% del total a l'Estat espanyol

Catalunya va captar el **44,6%** de **finançament** Horizon Europe per projectes amb algun **component quàntic a l'Estat espanyol** pel període 2022-1r. Trim. 2026 i el **2,7% del total a la UE**.

Startups i empreses catalanes receptores:

 **ILIMANJARO**
QUANTUM-TECH

 **Quside**

 **luxquanta**

 **SATELIOT**
Space - Connecting - 5G sat

 **QURECA**
QUANTUM RESOURCES & CONCEPTS

 **qurv**

Horizon Europe



11 institucions

 **ICFO**

 **UPC**

 **UAB**
Universitat Autònoma de Barcelona

 **IFAE**
Institut de Física d'Altes Energies

 **Universitat de Girona**

 **CRG**
Centre for Genomic Regulation

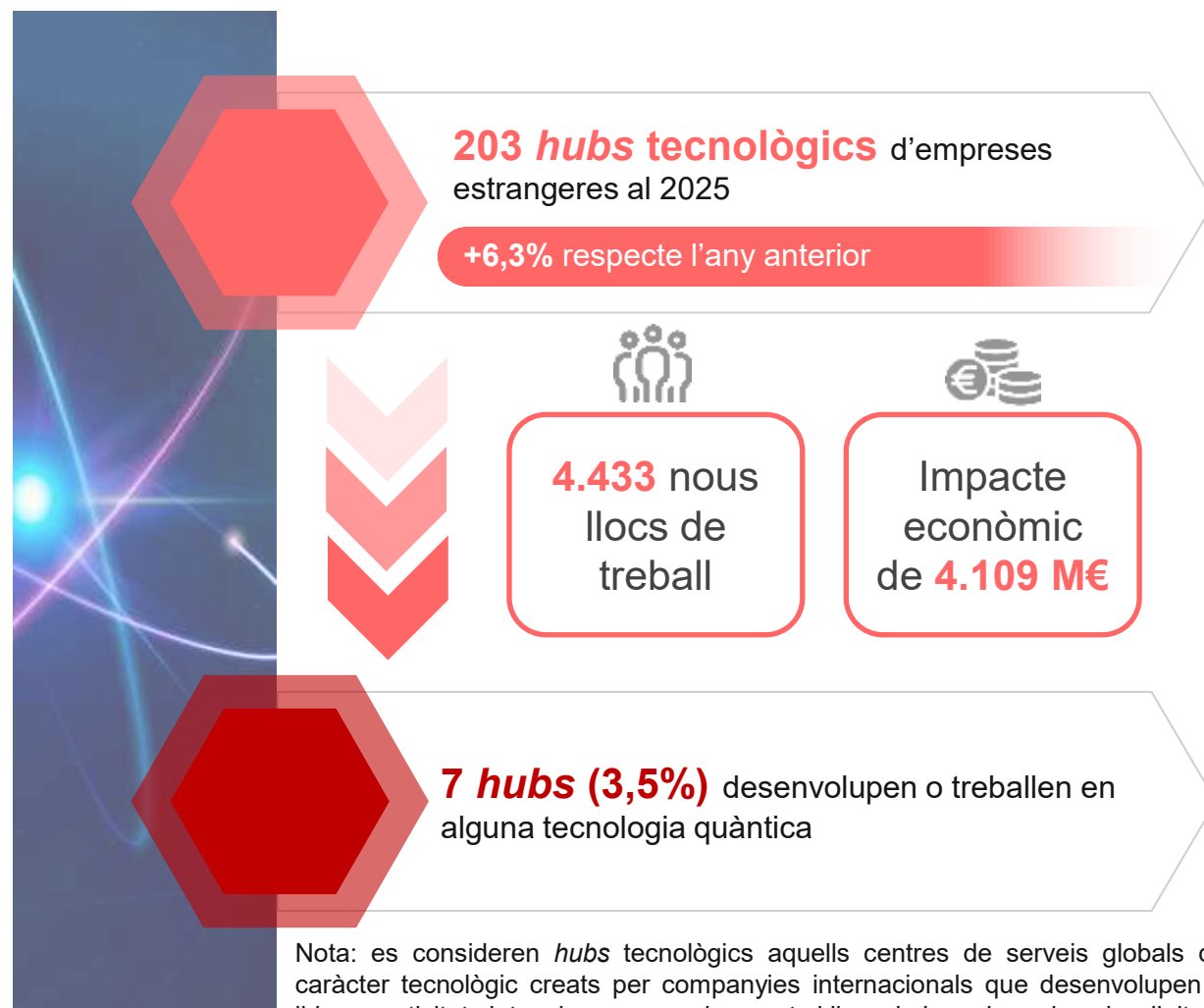
 **BSC**

 **i2cat**

 **ICIQ**
Institut Català d'Investigació Química

 **UNIVERSITAT DE BARCELONA**

 **ICN2**
Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia



Nota: es consideren *hubs* tecnològics aquells centres de serveis globals de caràcter tecnològic creats per companyies internacionals que desenvolupen o lideren activitats intensives en coneixement al llarg de la cadena de valor digital.



Font: Mobile World Capital Barcelona, ACCIÓ, Ajuntament de Barcelona: "Tech hubs overview"

Fem avui l'**empresa** del demà

Oxford Quantum Circuits aterra a Barcelona

103

L'empresa britànica **Oxford Quantum Circuits (OQC)** ha escollit **Barcelona per instal·lar-hi el seu nou centre de computació quàntica**, que es convertirà en la instal·lació d'aquest tipus més gran del sud d'Europa i preveu crear més de 200 llocs de treball altament qualificats.

- Aquest centre de recerca, desenvolupament i fabricació de tecnologies quàntiques de pròxima generació s'integrarà en l'ecosistema de la ciutat, col·laborant amb universitats i centres de recerca locals. La decisió d'OQC consolida la capital catalana com un pol europeu de referència en deep tech i computació d'alt rendiment, sumant-se a infraestructures de capital públic existents com el Barcelona Supercomputing Center (BSC-CNS).
- La nova planta estarà dedicada a l'R+D i la fabricació d'ordinadors quàntics per donar resposta a la creixent demanda d'aquesta tecnologia en sectors com la IA, les finances, la salut i l'energia.
- La companyia, sorgida com a spin-off de la Universitat d'Oxford, invertirà 92 milions d'euros en aquest projecte, reforçant el posicionament de Barcelona i Catalunya com a actors estratègics dins de l'ecosistema quàntic i d'innovació europeu



Fonts: Generalitat de Catalunya i Ajuntament de Barcelona

Quantica – Vall Mediterrània de la Ciència i les Tecnologies Quàntiques

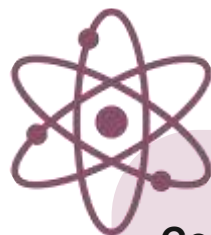
104

El Govern de la Generalitat de Catalunya ha impulsat "**Quantica – Vall Mediterrània de la Ciència i les Tecnologies Quàntiques**", una iniciativa que proposa la creació d'un ecosistema de recerca, desenvolupament i innovació (R+D+I), de formació, d'atracció i retenció de talent, d'aprofitament industrial i de creació de noves empreses en aquest àmbit del coneixement, amb l'objectiu de convertir Catalunya en un pol tecnològic mundial en tecnologies quàntiques.

Coordinació: **ICFO**

Línies d'actuació

- Infraestructures
- Talent
- Recerca
- Indústria
- Divulgació
- Aliances



Consell de les Tecnologies Quàntiques de Catalunya, integrat per personalitats del món acadèmic, empresarial i institucional, amb les funcions d'assessorar el Govern sobre polítiques orientades a impulsar les tecnologies quàntiques, proposar actuacions i mesures de coordinació i crear els espais de debat necessaris amb el sector d'aquestes tecnologies a Catalunya i amb la societat civil.



Font: Generalitat de Catalunya

Quantumcat, el Hub de tecnologies quàntiques de Catalunya

El Hub té com a objectiu impulsar i transferir els descobriments realitzats a nivell de laboratori cap al mercat, mitjançant implementacions i aplicacions industrialment viables. Aquesta iniciativa aborda tres problemes principals:

- Promoure tecnologies d'alt potencial: incentiva el desplegament industrial de tecnologies amb gran potencial mitjançant col·laboracions de recerca específiques.
- Facilitar la difusió a nivell comunitari: comparteix estratègies d'èxit per al desplegament i la innovació.
- Dur a terme accions de divulgació: organitza esdeveniments i tallers de networking per a audiències acadèmiques i industrials, fomentant la discussió d'experiències i col·laboracions, així com el compartiment de coneixements sobre casos d'èxit i ús.



Projectes



Computació
quàntica



Comunicació
quàntica



Detecció
quàntica



Simulació
quàntica

QUANTUMCAT inclou institucions líders en recerca a Catalunya i actors industrials rellevants en aquest àmbit. Catalunya ja és la llar de diversos grups d'investigació i empreses (startups) pioneres en tecnologies quàntiques. Un dels reptes més grans és traslladar els descobriments del laboratori de recerca al món industrial

Catalonia Quantum Academy

L'“Acadèmia quàntica de Catalunya” (Catalonia Quantum Academy) és una plataforma emmarcada en la “Quàntica – Vall Mediterrània de la ciència i les Tecnologies Quàntiques” que ofereix formació i capacitació al voltant de les tecnologies quàntiques. La Catalonia Quantum Academy forma futurs científics i enginyers quàntics, potenciant la capacitat de Catalunya per a desenvolupar i utilitzar tecnologies quàntiques.

L'acadèmia dona suport a programes de grau, màster, doctorat, postdoctorat i formació professional, de les universitats associades per ajudar als estudiants a ampliar els seus coneixements en TQ mitjançant:

- Projectes de recerca i pràctiques
- Beques i programes de mobilitat
- Esdeveniments i grups d'intercanvi
- Programes PhD
- Beques docents
- Projectes de recerca
- Programes de postgrau i formació contínua



Universitats associades i programes participats

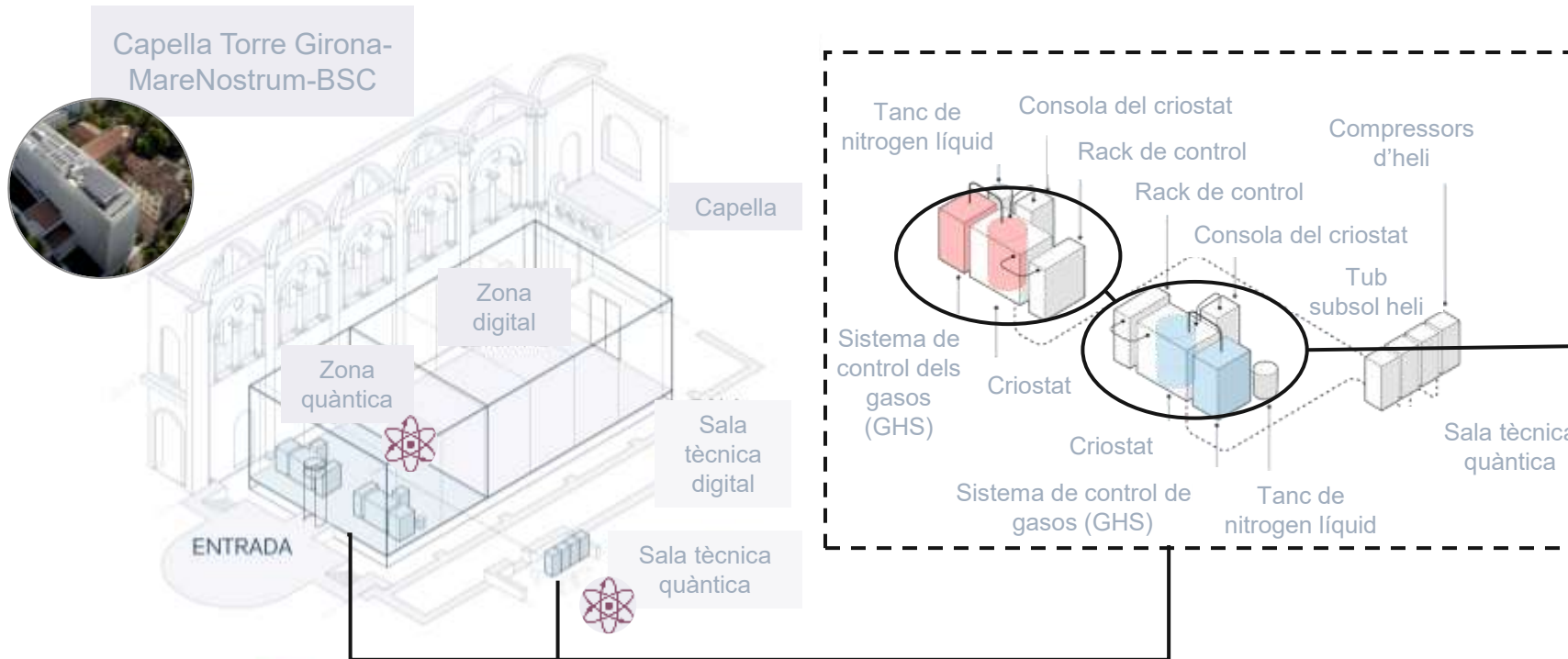


El BSC acull el primer ordinador quàntic d'Espanya

El **BSC-CNS** allotja el **primer ordinador quàntic d'Espanya, el MareNostrum-Ona**, desenvolupat amb **tecnologia 100% europea**. Està disponible per a la comunitat científica, empreses i organismes públics a través del projecte Quantum Spain. Integrat al supercomputador MareNostrum 5, aquest avenç millora la capacitat computacional del país. A més, el BSC ha rebut un ordinador quàntic analògic europeu, adjudicat per l'EuroHPC Joint Undertaking de la Comissió Europea. Ambdós sistemes ofereixen tecnologies complementàries i formaran part de la infraestructura quàntica del BSC. La construcció de l'ordinador quàntic ha estat liderada per Qilimanjaro i GMV que van aportar la seva experiència en tecnologies d'avantguarda per desenvolupar un sistema basat en qbits superconductors.

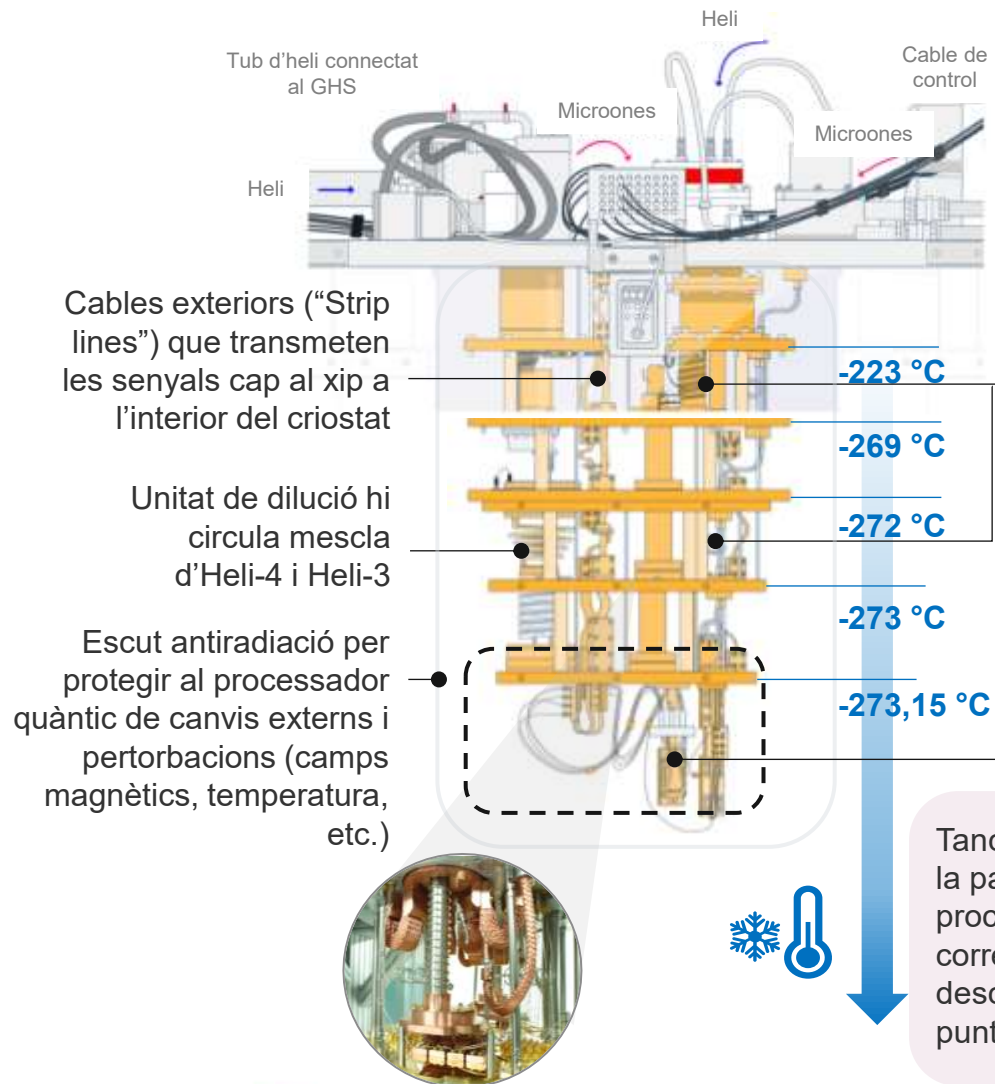


107



Parts i funcionament del MareNostrum-Ona

108

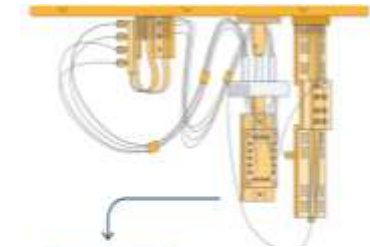


El **refrigerador de dilució** té una funció similar a la d'una nevera domèstica, però utilitzant heli líquid per arribar a temperatures properes al zero absolut.

Tubs d'Heli-4 procedent dels compressors

Tancat i protegit del "soroll" exterior, en la part inferior del criostat es troba el processador quàntic. Perquè es realitzin correctament els càlculs, la temperatura descendeix fins als $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$, un dels punts més freds de l'univers.

Processador quàntic

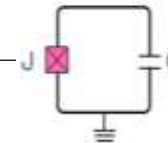


Processador quàntic encapsulat que conté **qbits superconductors** de tipus *transmon* que al rebre microones amb certes freqüències i amplituds, processen informació quàntica.

Cada qbit vibra a una freqüència única, per a controlar-lo s'utilitzen els polsos de microones amb la seva mateixa freqüència. Ajustant la intensitat, fase i durada d'aquests polsos, s'apliquen diferents portes lògiques quàntiques.

Qbit Transmon
Al seu interior un circuit superconductor representa cada un dels qbits.

J (unió de Josephson)
C (condensador)



Font: BSC

Nou ordinador quàntic de Qilimanjaro al BSC

109

El BSC inaugura el seu tercer ordinador quàntic, l'**EuroQCS-Spain**, a la renovada capella de Torre Girona.

- El nou ordinador, cofinançat per la Comissió Europea i el Govern d'Espanya amb una inversió de 9,8 milions d'euros, afegeix noves capacitats a la supercomputació i la computació quàntica europea en presentar una tecnologia de codificació analògica, complementària al sistema quàntic instal·lat prèviament al BSC.
- Amb el desenvolupament del xip i del programari fet íntegrament a Espanya per Qilimanjaro Quantum Tech, aquest tercer ordinador quàntic manté l'aposta del BSC, el Govern d'Espanya i EuroHPC per assolir la sobirania tecnològica amb la instal·lació de tecnologia 100% europea.
- Amb aquesta incorporació, **MareNostrum 5 es converteix en un dels primers superordinadors de tot el món a combinar computació clàssica** (amb les particions de propòsit general i l'accelerada) **i computació quàntica digital i analògica (amb 3 ordinadors quàntics:** els dos ordinadors quàntics instal·lats pel projecte Quantum Spain i la Secretaria d'Estat de Digitalització i Intel·ligència Artificial (SEDIA) i aquest últim, respectivament).



Font: BSC

Criptografia Quàntica en comunicacions crítiques

110

La Generalitat de Catalunya impulsa la continuïtat del pilot de criptografia quàntica en comunicacions crítiques, liderat per l'ICFO, mitjançant l'anàlisi de la implantació de la criptografia quàntica en les seves xarxes de comunicacions. El Govern invertirà **10 milions d'euros** en l'anomenat "**Anell Quàntic de Barcelona**", que tindrà 12 nodes físics repartits per Barcelona i l'AMB, entre els quals, el Palau de la Generalitat, el CTTI o les instal·lacions centrals dels Mossos d'Esquadra a Sabadell.



El pilot de criptografia quàntica és l'embrió d'una futura xarxa que es connectarà a la internet quàntica estatal i europea, i que es vol convertir en un "anell" que encercli Barcelona amb l'objectiu de transmetre informació crítica de manera *quantum-safe*.



L'anell físic envoltarà Barcelona i connectarà diverses infraestructures i equipaments de la ciutat. En fases posteriors, es connectarà via terrestre i satèl·lit amb altres localitzacions estatals i internacionals.



Utilitza un sistema de comunicació segura basat la "Distribució Quàntica de Claus" (QKD), un mètode de xifratge per generar una clau "completament segura" davant els avanços en la capacitat de còmput ordinària i quàntics.

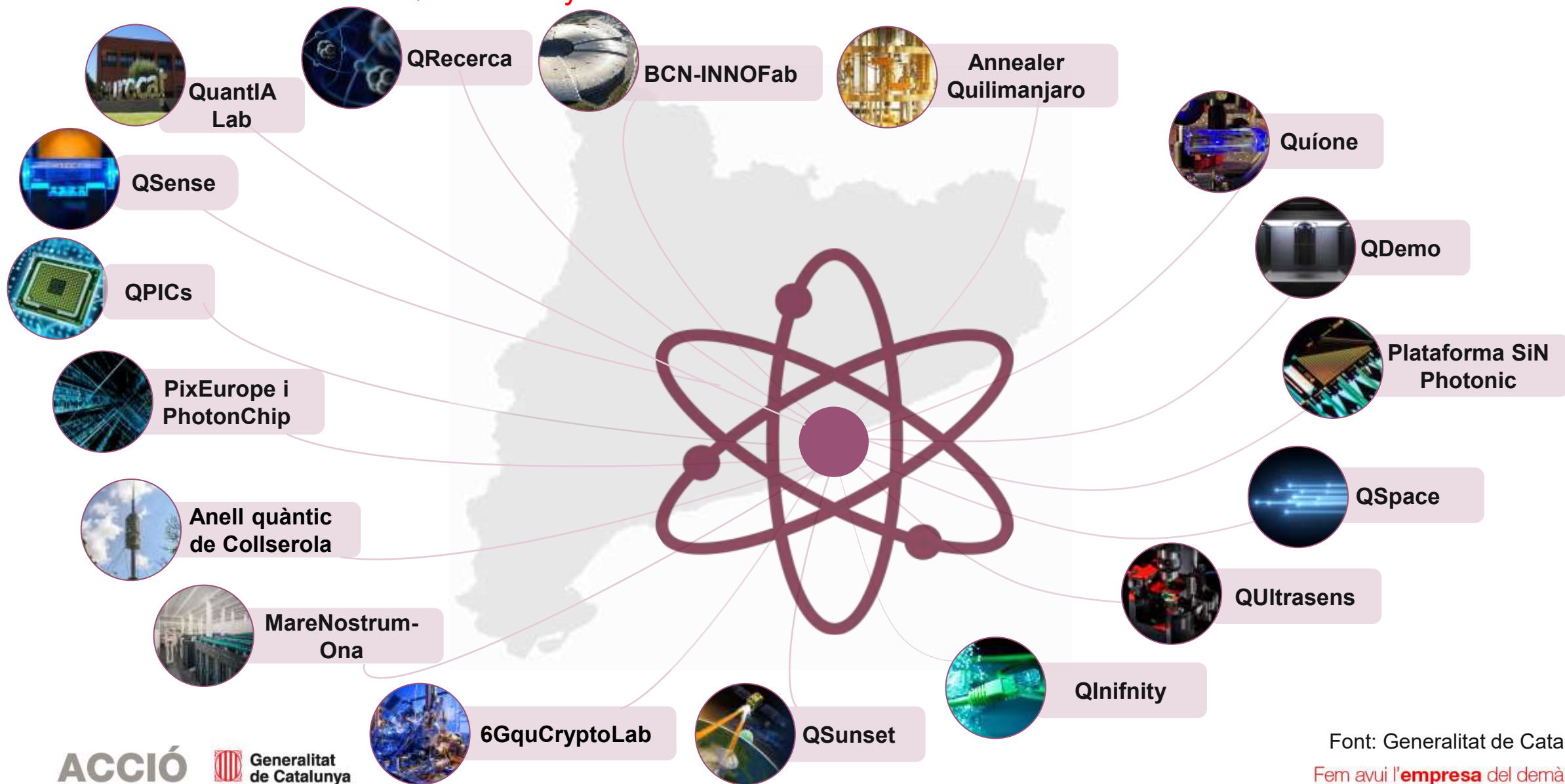


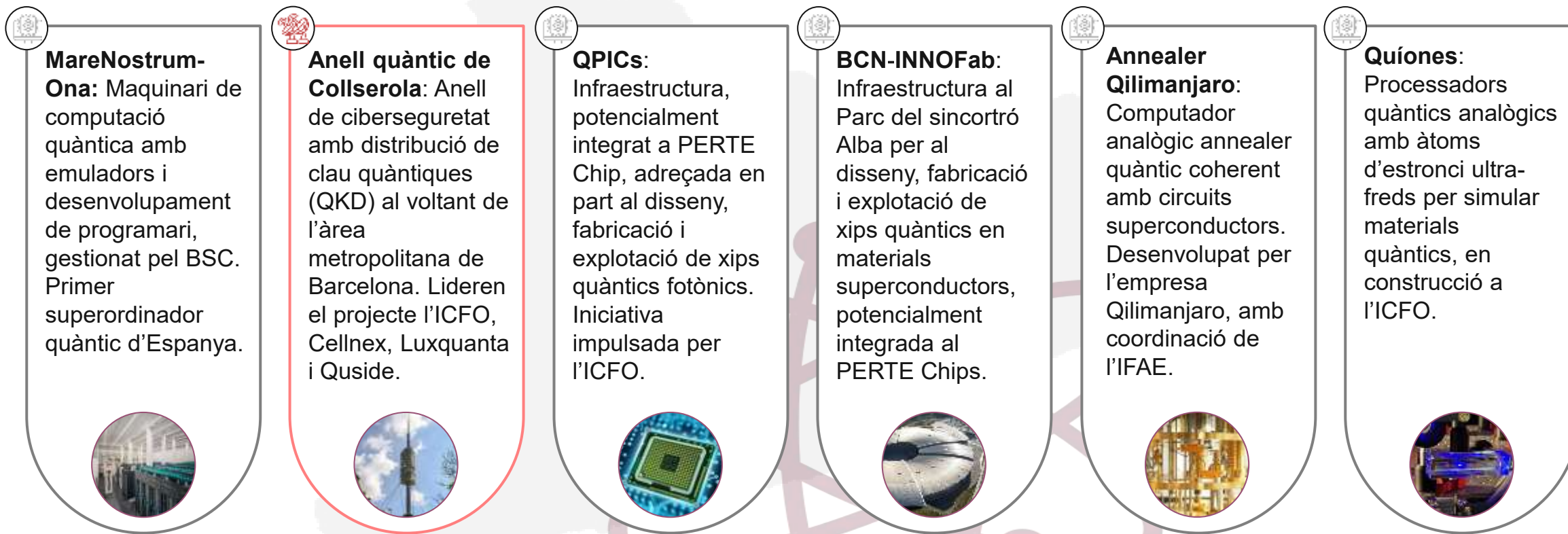
Aquest projecte està alineat amb l'estratègia quàntica Euro-QCI, que és un pilar estratègic de ciberseguretat europeu. El projecte, per ara únic a la Unió Europea, es posarà en marxa durant la segona meitat del 2026 i hauria de finalitzar el seu desplegament entre el 2028 i el 2029.

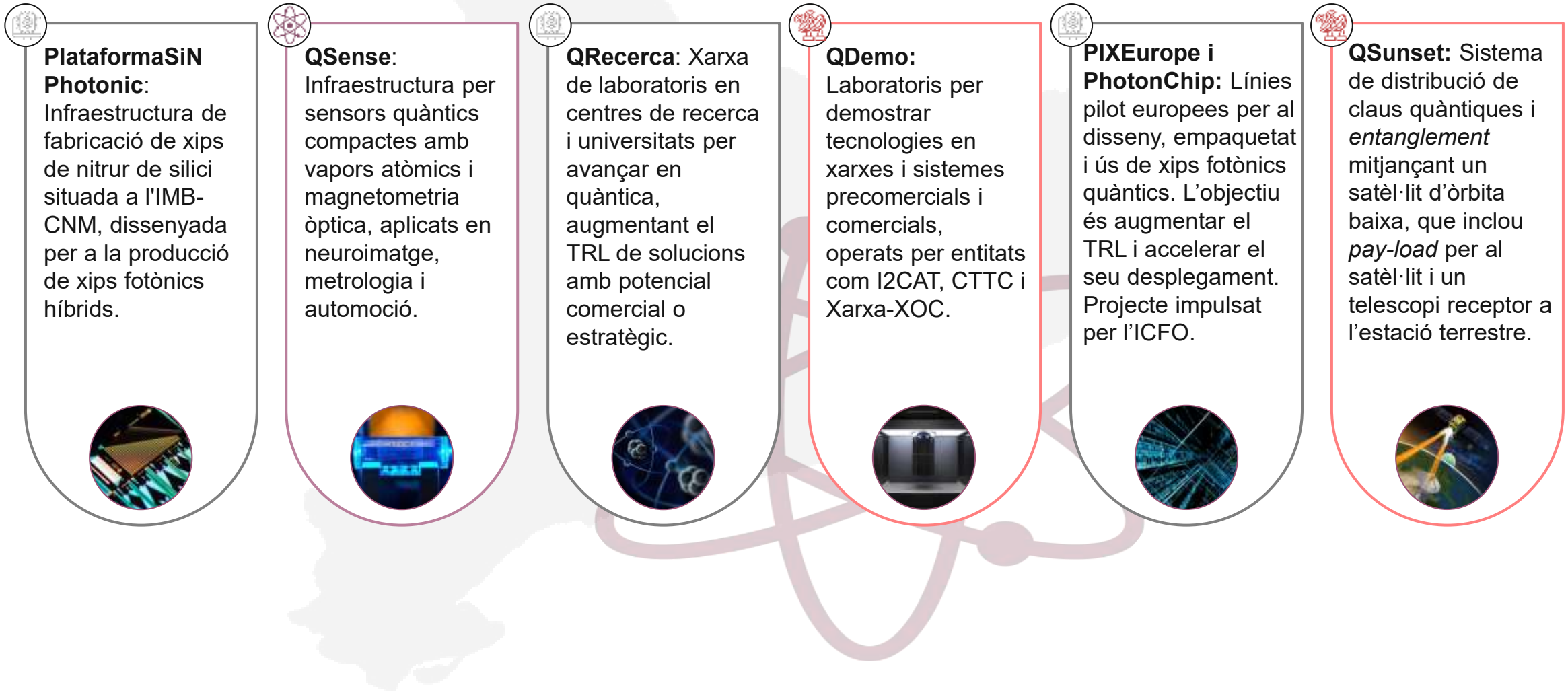


Infraestructures de les TQ a Catalunya

111









6GQuCryptoLab:
Instal·lació d'I2CAT per simular distribució de claus quàntiques (QKD) punt a punt i amb nodes de confiança, integrant protocols de variables discretes (DV) i contínues (CV) i escenaris de xarxes satèl·lit.



QSpace:
Infraestructura per desenvolupar distribució de claus quàntiques i *entanglement* via satèl·lit, centrada en nano satèl·lits i LEOs amb càrrega útil quàntica i serveis 5G/6G.



QInfinity: Sistema de memòries i processadors quàntics compatible amb operació a les bandes de Telecomunicacions, per demostració de repetidor quàntic.



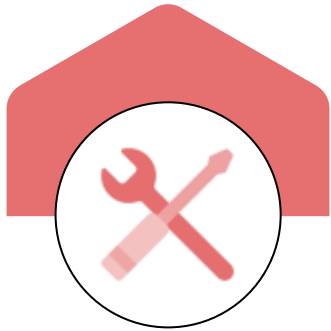
QUltrasens:
Família de sensors quàntics compactes basats en vapors atòmics i magnetometria òptica, per diverses aplicacions



QuantIA Lab:
Infraestructura quàntica d'Eurecat per impulsar l'R+D+I empresarial i resoldre reptes industrials reals combinant computació quàntica i intel·ligència artificial.

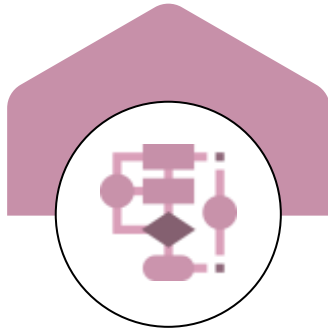


Maquinari i programari



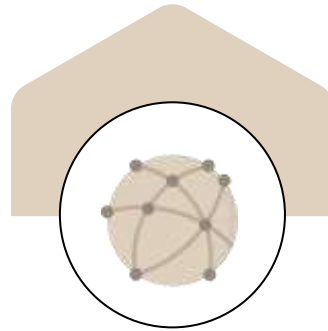
- Xip quàntic ASIC
- Quantum as a Service (QaaS)
- Ordinadors quàntics basats en àtoms ultrafreds
- Algoritmes quàntics per a optimització de dades
- Qbits superconductors
- Ordinadors quàntics analògics
- Llenguatge i programari quàntics

Sensors i dispositius



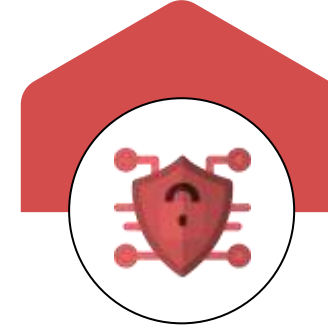
- Sensors quàntics magnètics per a materials i neuromedicina
- Miniaturització de dispositius quàntics
- Sensors quàntics d'imatge d'ampli espectre
- Sensors òptics quàntics

Comunicació



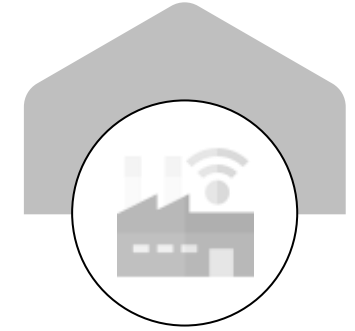
- Anella de comunicacions quàntiques a l'AMB
- TQ per a repetidors i fibra
- Enllaços quàntics via satèl·lit
- Algoritmes estocàstics per a la descodificació i detecció de MIMO per a tecnologies 5G

Ciberseguretat



- Desenvolupament de programari i maquinari per a la generació de nombre aleatoris
- Criptografia
- QKD
- CV-QKD
- QRNG
- Entropy-as-a-Service
- RPU-as-a-Service

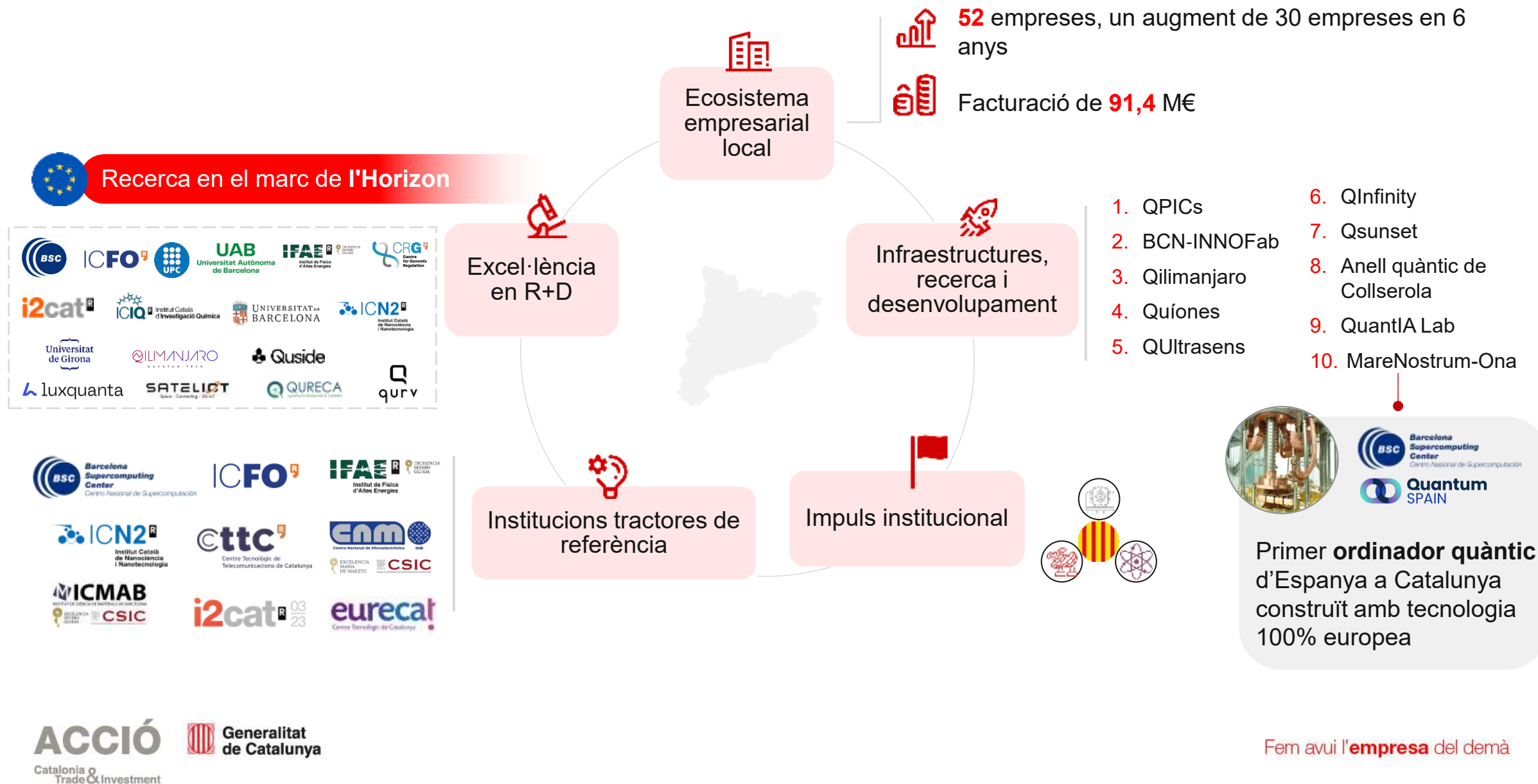
Indústria 4.0 i nous materials



- Exploració de materials quàntics sintètics i les seves aplicacions
- Optimització i consultoria per a l'adopció de la quàntica en el model de negoci
- Processament de dades i optimització de processos mitjançant computació quàntica

Catalunya, un ecosistema en efervescència quàntica

116



Fortaleses



Ecosistema emprenedor i empresarial potent



Sector de ciència bàsica universitari i de recerca en TQ capdavanter



Aposta de govern i de la societat per les TQ



Infraestructures facilitadores i crítiques al territori, com el BSC i ICFO

Oportunitats



Expansió global, mercat potencial



Especialització en àmbits concrets de la cadena de valor de les TQ



Recerca, innovació i lideratge en projectes i iniciatives



Creació i desenvolupament de solucions per a diferents sectors econòmics

Debilitats



Manca de talent, formació i especialització en aquesta àrea de coneixement



Alts costos de desenvolupament i falta de finançament públic en TQ



Encara lluny la viabilitat comercial d'algunes aplicacions



Falta d'indústria que aposti pel desenvolupament de les TQ

Amenaces



Tecnologia emergent. Incertesa en les aplicacions



Competència internacional. Molts països estan desenvolupant estratègies de TQ



Incertesa reglamentària



Risc de seguretat

Les tecnologies quàntiques a Catalunya

8. Casos d'èxit a Catalunya

Casos d'èxit a Catalunya (I)

119



El **BARCELONA SUPERCOMPUTING CENTRE (BSC)** allotja un dels 6 supercomputadors quàntics europeus i el primer ordinador quàntic del projecte Quantum Spain.



L'**INSTITUT DE CIÈNCIES FOTÒNIQUES (ICFO)** està a l'avantguarda de la innovació i recerca en TQ a Catalunya.



QILIMANJARO spin-off del BSC, IFAE i la UB referent de la computació quàntica a Catalunya.



QUSIDE spin-off de l'ICFO a l'avantguarda de l'encriptació i aplicacions quàntiques per a ciberseguretat.



LUXQUANTA spin-off de l'ICFO que ofereix Solucions de ciberseguretat basades en criptografia quàntica.



SENER desenvolupa comunicacions per satèl·lit quàntiques amb fons del PERTE Aeroespacial.



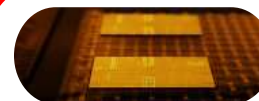
L'**IMB-CNM** participa en projectes de desenvolupament de xips quàntics i per fomentar la comercialització de les TQ



El **PROJECTE QUDICE** desenvolupa distribució de claus quàntica (QKD) en xarxa de satèl·lits.



ANELL QUÀNTIC DE COLLSEROLA serà el desplegament de la xarxa de ciberseguretat quàntica a Barcelona i la seva àrea metropolitana.



PHOTONCHIP desenvolupament i escalabilitat de xips fotònics a la indústria



QUÍONE màquina quàntica capaç de detectar àtoms individuals en un gas d'estronci.



6GQUCRYPTOLAB escenari de proves de distribució de claus quàntiques (QKD)



Barcelona Supercomputing Centre

Centre de referència en supercomputació a l'Estat espanyol

El Barcelona Supercomputing Center (BSC) seleccionat per allotjar un dels sis supercomputadors quàntics europeus. L'EuroHPC JU ha signat acords d'allotjament amb sis llocs d'Europa per allotjar i operar ordinadors quàntics EuroHPC, un d'ells al BSC de Barcelona. Aquests ordinadors quàntics permetran als usuaris europeus explorar una varietat de tecnologies quàntiques acoblades a superordinadors líders. Un dels focus de recerca es centrarà en l'estandardització de components clau, com ara la interfície de programació d'aplicacions, el programari de monitorització i les eines de gestió de treballs i usuaris. La integració de les capacitats de computació quàntica en aplicacions HPC permetrà avenços científics i noves oportunitats per a innovacions industrials. El BSC coordina el projecte Quantum Spain, allotjant-ne el seu supercomputador, i compta amb un grup de recerca en quàntica que treballa en algorismes de computació quàntica i simulació de sistemes quàntics. Actualment allotja el primer ordinador quàntic d'Espanya, el MareNostrum-Ona.

www.bsc.es/ca



Institut de Ciències Fotòniques

A l'avantguarda de la innovació i recerca en TQ a Catalunya

L'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO) és un actor clau en l'àmbit de les TQ a Catalunya. Participa en nombrosos projectes de recerca i desenvolupament, com QuantumCAT o la European Quantum Flagship, i és la matriu de diverses spin-offs catalanes del sector quàntic, com Luxquanta o Quside. L'ICFO coordina la Vall Mediterrània de la Ciència i les Tecnologies Quàntiques, i té un paper destacat en la formació superior a través del màster en Ciència i Tecnologies Quàntiques. El centre lidera el projecte Qollserola, una iniciativa pionera per establir comunicacions segures basades en TQ, amb un laboratori de recerca situat a la torre de Collserola, en col·laboració amb l'empresa Cellnex. Recentment, investigadors de l'ICFO han aconseguit una fita rellevant: la transmissió d'entrellaçament entre matèria i llum a través de desenes de quilòmetres de fibra òptica dins la ciutat de Barcelona. Actualment, l'ICFO compta amb 14 grups de recerca propis dedicats exclusivament a aquest camp emergent.

www.icfo.eu

Fonts: BSC i ICFO

Fem avui l'**empresa** del demà



Qilimanjaro

Referent de la computació quàntica a Catalunya

Qilimanjaro està especialitzada en computació quàntica analògica, oferint aplicacions de mercat amb avantatges quàntics reals gràcies al desenvolupament integrat de xips superconductors i algorismes, evitant les limitacions de la fragilitat dels qubits tradicionals.

Al 2025, obrirà la seva plataforma de computació quàntica al públic via núvol (QaaS). A més, ha instal·lat i dona accés al primer ordinador quàntic de l'Estat, en servei al BSC. També ha desenvolupat algorismes quantum-inspired fins a quatre vegades més ràpids que els convencionals, millorant l'eficiència i competitivitat dels seus clients. Fundada com a spin-off del BSC, l'IFAE i la UB, Qilimanjaro integra tot el procés: disseny, fabricació, programació de dispositius quàntics i implementació d'aplicacions personalitzades.

www.qilimanjaro.tech



Quside

Tecnologia quàntica per a la ciberseguretat

Quside és una empresa de tecnologia quàntica especialitzada en la generació, monitorització i processament d'aleatorietat, amb aplicacions en ciberseguretat i computació d'alt rendiment. Com a spin-off de l'ICFO, destaca per productes innovadors com el Ruby N1, el xip semiconductor d'aleatorietat quàntica més ràpid, la primera unitat de processament d'aleatorietat (RPU), o l'Entropy Core per a infraestructures TIC. Implicada en projectes europeus com Quarter i l'EIC Accelerator, Quside ha aconseguit aplicacions destacades com l'ús de l'Entropy Core en centres de dades d'Equinix, la integració en productes d'alta seguretat (HSM) amb empreses com Thales, o contractes de disseny de sistemes de comunicacions quàntiques en satèl·lits. Amb més de 15 M€ invertits, compta amb el suport d'inversors com Bullnet Capital, Trumpf Ventures, ICF, Avançsa o Demium.



www.quside.com

Fonts: Qilimanjaro i Quside

Fem avui l'**empresa** del demà



LuxQuanta

Solucions de ciberseguretat basades en criptografia quàntica

LuxQuanta és líder en ciberseguretat quàntica, especialitzada en el desenvolupament de sistemes de distribució de claus quàntiques (QKD) de darrera generació. Amb una tecnologia dissenyada i fabricada a Europa, i basada en la investigació duta a terme a l'Institut de Ciències Fotòniques (ICFO), LuxQuanta integra les seves solucions en infraestructures de fibra òptica ja existents.

LuxQuanta encapçala el projecte europeu QUARTER, amb l'objectiu d'implementar una xarxa de seguretat quàntica per a les comunicacions a Europa. QUARTER desenvolupa les tecnologies quàntiques necessàries per protegir tots els estats membres de la Unió Europea d'atacs quàntics, salvaguardant les dades més sensibles. LuxQuanta és el principal beneficiari de fons, amb un total de 3,2 M€.

Recentment ha tancat una ronda de sèrie A de 8 M€, liderada per Big Sur Ventures i A&G, que marca el seu pas de startup a scale-up. La inversió li permetrà accelerar la producció, impulsar la R+D de tecnologies integrades, ampliar els equips i reforçar la internacionalització.

www.luxquanta.com



Sener

Comunicacions quàntiques amb fons del PERTE Aeroespacial

El Centre per al Desenvolupament Tecnològic i la Innovació (CDTI) va adjudicar al l'empresa basca Sener, que té seu a Cerdanyola del Vallès, el contracte de la fase 2 per al desenvolupament d'un demostrador de distribució quàntica de claus per a òrbites LEO (òrbita baixa, d'uns 500-700 km d'alçària), en l'àmbit del PERTE Aeroespacial. Es tracta de la primera missió espanyola de distribució quàntica de claus (QKD), el desenvolupament de les quals és crític per al futur de la seguretat de les comunicacions. Amb aquesta adjudicació, Sener es posa al capdavant de la tecnologia de distribució quàntica a Espanya des de baixa òrbita, liderant un consorci d'empreses de primer nivell, pimes i Organismes Públics de Recerca. Amb pressupost procedent del PERTE Aeroespacial (18 M€), permetrà a Espanya reforçar el seu posicionament en tecnologia quàntica i els seus resultats podrien aplicar-se en la constel·lació europea de comunicacions segures per satèl·lit (IRIS2).

www.group.sener

Fonts: Luxquanta, Expansión i Sener

Fem avui l'**empresa** del demà



QUDICE

Desenvolupament de QKD i encriptació quàntica satel·lital

El projecte *Quantum Devices and Subsystems for Communications in Space* (QUDICE) està dirigit a la creació i desenvolupament de components i subsistemes per a la xarxa de comunicacions per satèl·lit QKD basada en l'espai. El projecte també pretén crear els bancs de proves per avaluar els components de la tecnologia de comunicacions quàntiques per satèl·lit, així com les eines necessàries per simular i monitoritzar xarxes d'informació quàntica espacial. L'objectiu a llarg termini de QUDICE és ajudar en la creació d'una xarxa de satèl·lit europea amb QKD com a servei principal. Els primers prototips estan prevists per final del 2024 i començar les proves al 2025. Aquest projecte està finançat pel programa de recerca i innovació Horizon 2020 de la Unió Europea.

El projecte compta amb els següents partners catalans:



www.qudice.eu



L'IMB-CNM

desenvolupament de xips quàntics i foment de les TQ

L'Institut de Microelectrònica de Barcelona (IMB-CNM) participa al projecte Qu-Pilot, en què diverses organitzacions europees col·laboren per accelerar la comercialització de la tecnologia quàntica a Europa. Aquesta iniciativa està finançada amb 19 M€ que afavorirà el desenvolupament de les empreses en processos de disseny, desenvolupament i validació i de maquinari quàntic. Millorarà les infraestructures de tecnologies quàntiques i respondrà a la demanda de les empreses que necessitin aquest coneixement. L'institut compta amb una sala blanca per a micro i nanofabricació integrada, reconeguda com Instal·lació Científicotècnica Singular (ICTS) pel Govern espanyol; allà s'hi desenvolupen xips quàntics i fotònics. També s'hi fabriquen qbits superconductors. Recentment l'IMB-CNM ha desenvolupat una plataforma de Nitru de Silici amb confinament moderat versàtil per a aplicacions integrades fotòniques.



www.imb-cnm.csic.es/ca

Fonts: Qudice i IMB-CNM

Fem avui l'**empresa** del demà

Anell Quàntic de Barcelona

Desplegament de la xarxa de ciberseguretat quàntica de Barcelona

ICFO, Cellnex, Luxquanta i Quside estan liderant el desplegament previst de la Xarxa de ciberseguretat quàntica per a l'àrea metropolitana de Barcelona per mantenir la privadesa de dades i informació sensibles. Aquest anell de comunicacions quàntiques s'establirà en estreta col·laboració i connexió amb altres iniciatives nacionals i internacionals, a la "Infraestructura de comunicació quàntica europea" (EuroQCI). Finalment, l'anella connectarà diferents entitats, empreses, universitats, hospitals i administracions públiques, obrint el camí per a futures connexions via terra o satèl·lit amb altres nodes metropolitans d'Espanya i la UE.



ICFO[®]



Quside



luxquanta

cellnex[®]

Anell Quàntic de Collserola

ACCIÓ
Catalonia
Trade & Investment



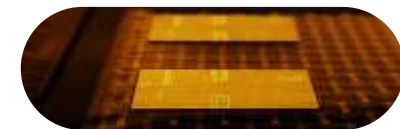
Generalitat
de Catalunya

PhotonChip

Escalabilitat de xips fotònics a la indústria

La infraestructura PhotonChip, ubicada a l'ICFO, té com a objectiu portar les tecnologies fotòniques, en particular la fotònica integrada (xips fotònics), per a, entre altres, tecnologies quàntiques, des de la fase en què es demostra la viabilitat fins a un dispositiu o prototip validat que pugui ser transferit a la indústria. Un cop operatiu, PhotonChip cobrirà una gran part de la cadena de valor del xip fotònic. PhotonChip encaixa en el context d'iniciatives insígnia europees on els xips fotònics són considerats una tecnologia estratègica per a la Unió, incloent-hi l'European Chips Act, que té com a objectiu crear tecnologia pròpia per salvaguardar la sobirania tecnològica europea, i el Chips Joint Undertaking, que està en procés de llançar una Línia Pilot en Fotònica paneuropea centrada en xips fotònics i fotònica integrada. En el context de les tecnologies quàntiques, permetrà el disseny i embalatge de xips fotònics per a criptografia quàntica; distribució de claus quàntiques; detecció quàntica, simulació quàntica; formació d'imatges quàntiques; i tecnologies quàntiques aptes per a l'espai. Ara per ara, l'UE ha seleccionat el consorci "PIXEurope" coordinat per l'ICFO per a liderar la Línia Pilot Europea sobre circuits fotònics integrats avançats a nivell continental.

ICFO[®]



Photon Chip – PIX Europe

Fonts: ICFO, the New Barcelona Post

Fem avui l'**empresa** del demà

Quíone

Màquina quàntica capaç de detectar àtoms individuals en estronci.

ICFO està construint ordinadors quàntics analògics de propòsit específic anomenats “Quíone-1” i “Quíone-2”, basats en diferents plataformes tecnològiques atòmiques, incloent àtoms ultrafreds subjectes a retícules òptiques i àtoms de Rydberg. Els ordinadors es basaran en les tecnologies desenvolupades els darrers anys amb finalitats científiques. L'esforç té objectius científics i reptes tecnològics, i té com a objectiu principal construir màquines que siguin programables i que puguin ser operades per diferents usuaris externs amb les disposicions adequades, amb l'esperit del futur EuroQCS (*European Quantum Computing & Simulation Infrastructure*).



Quíone

6GquCryptoLab

Escenari de proves de distribució de claus quàntiques (QKD)

La instal·lació 6GQuCryptoLab ubicada a I2CAT aporta capacitat per a realitzar escenaris de distribució de claus quàntiques punt a punt i amb l'estratègia de repetició basada en nodes de confiança. Inclou diversos equipaments de dispositius reals QKD, en diferents varietats de protocol (protocol de variable discreta (DV) i de variable contínua (CV)). L'equip esmentat permet construir diferents segments QKD complets. També inclou diversos nodes QKD simulats, sense la part òptica, bàsicament el post processament QKD i gestió de claus; aquesta versió d'equip permet escalar més fàcilment el nivell de xarxa per reproduir xarxes de nodes de confiança amb diversos nodes. Es complementa amb la seva integració amb el testbed NTN per realitzar simulacions de satèl·lit: emulació de canals de satèl·lit (per a RF, comunicacions clàssiques), connexió amb el sistema simulador de constel·lació de satèl·lit, capaç de controlar maquinari per a incorporar proves del tipus “HW in the loop”, com atenuadors variables, etc., per a reproduir escenaris de dinàmica de passis de satèl·lit i de canal òptic de tipus espai lliure (FSO). Permet la connexió amb aplicacions consumidores (encriptadors de nivell 2 o nivell 3) per a la realització d'escenaris de comunicacions segures extrem a extrem.



www.i2cat.net

Font: ICFO

Fem avui l'**empresa** del demà

Les tecnologies quàntiques a Catalunya

Agraïments

Entrevistes a empreses i institucions

127

Volem agrair sincerament a totes les empreses i institucions participants la seva generositat, tant pel temps dedicat com per compartir els seus valuosos coneixements



Fem avui l'**empresa** del demà

Gràcies

Passeig de Gràcia, 129
08008 Barcelona

accio.gencat.cat
catalonia.com



@accio_cat
@Catalonia_TI



linkedin.com/company/acciocat/
linkedin.com/company/invest-in-catalonia/

Més informació sobre el sector, notícies i oportunitats:

<https://www.accio.gencat.cat/ca/serveis/banc-coneixement/cercador/BancConeixement/eic-les-tecnologies-quantiques-a-catalunya>

