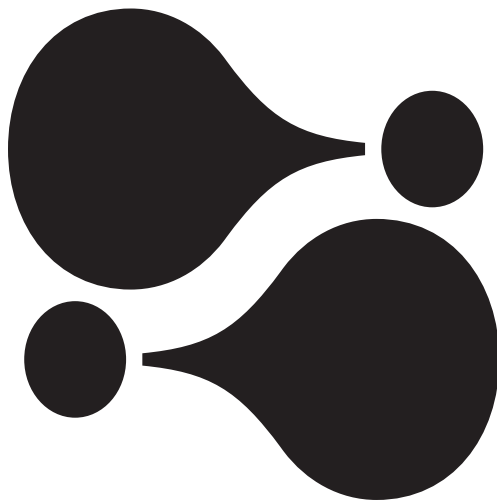


Ordinadors quàntics: la revolució que vindrà

Un matí amb Ignacio Cirac

Propostes per treballar a l'aula





Índex

| | |
|---|----|
| Sobre Ignacio Cirac | 3 |
| Activitat 1 Transformant la ciència-ficció en realitat | 5 |
| Activitat 2 Tecnologies quàntiques | 8 |
| Activitat 3 Ètica quàntica | 11 |
| Bibliografia | 15 |

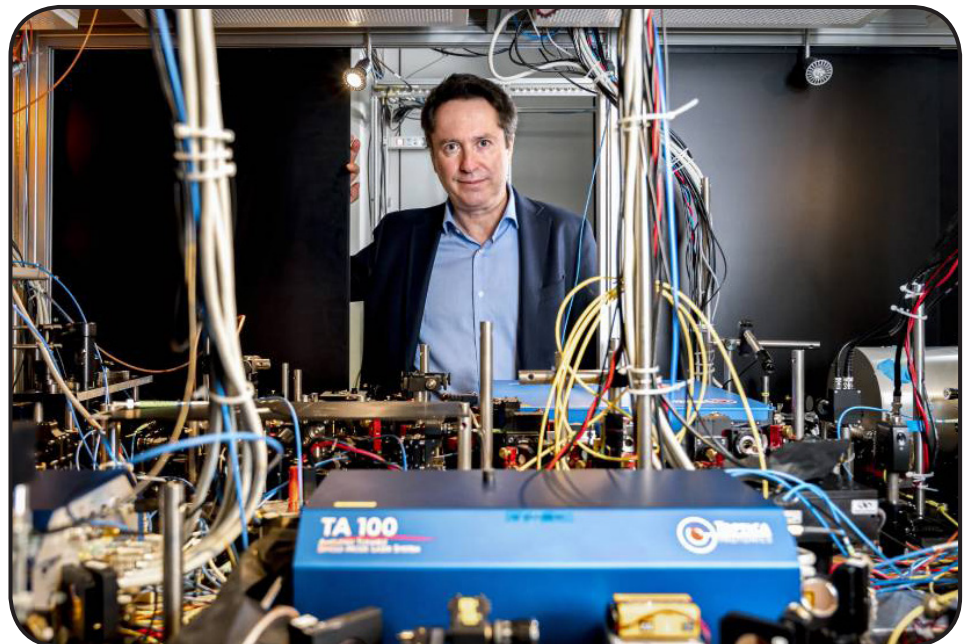


Sobre Ignacio Cirac

Ignacio Cirac és una de les màximes autoritats mundials en teoria quàntica de la informació i un dels pares de la segona revolució quàntica. A la dècada de 1990 va idear, juntament amb Peter Zoller, la manera de construir un ordinador quàntic. S'inaugurava, així, el camp de la computació quàntica i una nova era en les tecnologies de la informació i les comunicacions.

Va estudiar Física a la Universidad Complutense de Madrid i després va ser professor titular a la Universidad de Castilla-La Mancha. Durant aquell període va fer una llarga i fructífera estada a la University of Colorado amb Zoller, que el duria a ser catedràtic de física teòrica a la University of Innsbruck. El 2001 es va incorporar al Max Planck Institute for Quantum Optics (Garching, Alemanya) per dirigir-ne la divisió teòrica. Des del 2002 és professor honorari de la Universitat Tècnica de Múnic.

Ignacio Cirac





Ordinadors quàntics: la revolució que vindrà

Els seus treballs teòrics han obert noves vies de recerca experimental en àrees tan diverses com la ciència de materials, la física d'altres energies, la química quàntica o la criptografia. Arran del gran impacte de la seva recerca, ha rebut nombrosos premis de prestigi internacional, entre els quals destaquen el Premi Wolf, el Príncep d'Astúries i la Medalla Max Planck. És membre de les societats científiques més importants, doctor *honoris causa* de diverses universitats d'arreu del món i un dels autors més citats en el seu camp. A més, al llarg de la seva carrera sempre ha contribuït a divulgar la física al gran públic.



Activitat 1

Transformant la ciència-ficció en realitat

Llegeix aquesta entrevista a Ignacio Cirac, realitzada per Joseba Elola per a *El País* (2014), i contesta les preguntes que trobaràs a continuació.

—

Quan es va adonar que volia ser físic? Ja de petit era un nen curiós que es feia moltes preguntes?

Era un nen normal interessat per la ciència-ficció, però res més. Fins als vint anys no em vaig prendre seriosament això de ser científic.

Què és el que el va atraure de la física quàntica?

És una teoria molt original, que sorprèn molt al principi. Requereix saber més matemàtiques del normal i, moltes vegades, frega la filosofia. Té coses estranyes, molt sorprenents, com que una partícula pot passar per dos llocs alhora o travessar parets, desaparèixer d'un lloc i aparèixer en un altre...

Això és el que el va seduir.

Això és el que més em va seduir, juntament amb el fet que té moltes aplicacions. Els ordinadors, les centrals elèctriques, pràcticament tot el que té a veure amb l'electrònica, l'energia... Tot això s'hi basa. La revolució científica de la física quàntica ha donat lloc a la revolució informàtica i tecnològica del segle xx.

És una teoria que descriu un món microscòpic governat per lleis extraordinàries. És com una realitat paral·lela del món de l'infinitament petit.

Sí, descriu el món microscòpic de l'infinitament petit, de les partícules. Quan comencem a desglossar, apareixen les molècules, els àtoms, els electrons, els nuclis, i quan arribem a aquest nivell, a allò tan, tan, tan petit, comença un altre món diferent en què les lleis de la física es modifiquen. Passa el mateix quan ens dirigim a l'altre extrem, a les coses grans, a les galàxies.



Està treballant en l'ordinador del futur, un ordinador inusualment potent, capaç de fer càlculs fins ara inimaginables.

La idea fonamental és poder utilitzar aquests aspectes extraordinaris de la física quàntica per a alguna cosa relacionada amb la informació: processar-la, comunicar-la, extreure-la, fer mesures de precisió, veure més bé les coses. L'ordinador quàntic busca construir una computadora que faci tasques impossibles per als ordinadors convencionals. Hi ha càlculs complicats que les persones no necessiten en la seva vida quotidiana, però que utilitzem per generar nous fàrmacs, per dissenyar nous materials, per a la biologia. És aquí on aquests ordinadors poden tenir un gran impacte.

La creació d'aquesta computadora és una revolució, diu vostè. Per què?

Perquè ens permetrà fer càlculs que no seria possible fer d'una altra manera. Quan vols dissenyar un compost químic per curar una malaltia, has d'estudiar com es produeix la reacció química. Aquests ordinadors ens permetran predir-la, estudiar si aquest producte és útil.

Es diu que poden arribar a ser un canvi comparable al que van desencadenar els primers ordinadors dels anys quaranta. Quina mena de revolució pot originar aquest superordinador?

Quan es van descobrir les ones electromagnètiques, fa 200 anys, es preguntaven per a què servirien. Alguna cosa que emetia una ona i que es rebia a cinc centímetres semblava una revolució. Però ningú va imaginar que seria la base de la televisió, dels senyals que ens envien, del telèfon mòbil. Què va suposar, allò? Un nou descobriment que ens va permetre creuar una altra frontera. Sempre que en travessem una, tenim a les mans noves lleis, noves possibilitats; sorgeixen noves aplicacions en què ningú havia pensat abans i que desencadenen les més grans revolucions de la ciència i la tecnologia.



—

Preguntes:

1. Ignacio Cirac menciona que de petit estava interessat en la ciència-ficció. Busca una definició de ciència-ficció i compara-la amb el concepte de física quàntica. Quines semblances i diferències hi trobes? Reflexiona sobre com la ciència-ficció pot inspirar el desenvolupament científic i a la inversa.
2. Cirac destaca que una partícula pot desaparèixer d'un lloc i aparèixer en un altre. Busca la definició de teleportació quàntica. Relaciona-ho amb exemples de la ciència-ficció, com el teletransportador de Star Trek.
 - a) Quines semblances i diferències hi ha amb el que es coneix avui científicament?
 - b) Quina és la màxima unitat que s'ha aconseguit teleportar científicament fins ara?
3. L'entrevistat parla de tres mons físics, depenent de la dimensió dels elements que s'investiguen, en els quals les lleis de la física canvien. Pots identificar aquests tres mons?
4. La computació quàntica pot desencadenar una revolució científica. Amb quina altra revolució la compara Ignacio Cirac? Explica'n els paral·lelismes.



Activitat 2

Tecnologies quàntiques

La física quàntica és la branca de la física que estudia el comportament de les partícules a escales microscòpiques. Aquesta disciplina ha permès desenvolupaments tecnològics fonamentals com el làser, els transistors i la computació quàntica. Ignacio Cirac i Antonio Acín, en l'article «[Física quàntica i informació: noves tecnologies per al segle XXI](#)», resumeixen aquests desenvolupaments tecnològics i el seu impacte en les nostres vides actuals i futures. Llegeix els fragments seleccionats, elabora un glossari de conceptes i contesta les preguntes que trobaràs a continuació.

—

1. Introducció a la física quàntica i la informació

«La informació és un concepte clau en la nostra societat, que té un impacte molt directe en el nostre dia a dia: des que ens llevem fins que ens fem al llit, s'intercanvien milers de missatges per internet o les xarxes de dades mòbils, i també s'executen milers d'operacions, de més o menys complexitat, en els diferents dispositius processadors d'informació, des de supercomputadors fins als nostres mòbils.»

2. Impacte de la física quàntica en la tecnologia moderna:

«Aplicacions com el làser, amb usos que van des de llegir el codi de barres al supermercat fins a complexes operacions quirúrgiques, o el transistor, que és fonamental per al funcionament de qualsevol ordinador, van ser només possibles gràcies a la comprensió del món microscòpic que va proporcionar la física quàntica.»

3. Bit quàntic i superposició quàntica:

«El primer postulat de la física quàntica diu que si una partícula quàntica pot estar en dos estats, també pot trobar-se en un estat



que és la superposició dels dos estats. El concepte de superposició és difícil d'assimilar, ja que les superposicions tenen lloc en el món microscòpic, dels àtoms i les molècules, que no veiem amb els ulls, ni sentim, ni podem tocar; en el món en el qual vivim, que sí que percebem, desapareixen. No existeix, per tant, una analogia que puguem utilitzar per explicar la superposició: és un tret molt especial d'aquest món del més petit. [...] De la seva aplicació s'entén que el bit quàntic, també conegut com a qbit, és diferent del bit utilitzat fins ara, el bit clàssic, ja que pot estar en els dos valors habituals de 0 i 1, però també en qualsevol superposició d'aquests valors. Per tant, la unitat bàsica d'informació quàntica, el qbit, és més rica que la seva anàloga clàssica.»

4. Ordinadors quàntics i avantatges potencials:

«L'ordinador quàntic pot utilitzar més operacions, té a la seva disposició més eines per resoldre problemes complexos i, en conseqüència, pot arribar a proporcionar solucions a aquests problemes de manera més eficient que els ordinadors clàssics.»

5. Criptografia quàntica i seguretat de la informació:

«En aquest cas, els bits quàntics tornen a obrir noves possibilitats per a l'encryptació d'informació i permeten dissenyar els anomenats protocols de criptografia quàntica, que proporcionen un nou tipus de seguretat basada en les lleis de la física quàntica.»

—

Elaboració d'un glossari:

1. Identifica els conceptes clau que esmenta l'article: bit, bit quàntic (o qbit), superposició, criptografia quàntica.
2. Escriu una definició per a cadascun d'aquests termes, utilitzant les explicacions de l'article. Pots fer servir les teves paraules i exemples per aclarir els conceptes.



—

Preguntes:

1. Menciona almenys dues aplicacions tecnològiques que han estat possibles gràcies a la física quàntica.
2. Què és un ordinador quàntic i en què es diferencia d'un ordinador clàssic?
3. Quins avantatges potencials ofereix la computació quàntica en la resolució de problemes complexos?
4. Visiona aquest [vídeo](#) (minut 1:15-2:03), en què Ignacio Cirac explica el fenomen de la teleportació quàntica. Com pot la física quàntica millorar la seguretat en les comunicacions?



Activitat 3

Ètica quàntica

Ignacio Cirac insisteix en com la computació i la tecnologia quàntica estan posicionades per transformar la societat. No obstant això, si no hi ha un compromís proactiu, els beneficis del món quàntic no seran accessibles per a tothom. Altres tecnologies de computació avançada, com la intel·ligència artificial (IA), han demostrat que l'accés desigual i la manca d'inclusió en el desenvolupament d'una tecnologia pot portar a l'exclusió i perjudicar certes comunitats.

1

Una introducció a l'ètica quàntica la podeu trobar en anglès al canal de YouTube del projecte https://www.youtube.com/watch?v=AV_iGgRajHY&list=PL4x2fEhVRQ8EfpbC7cpCM9EQMWdmQL-K

2

Podeu escoltar i llegir l'entrevista completa en anglès en línia <https://www.quera.com/podcasts/anna-knorr-and-rodriigo-bravo-co-founders-of-the-quantum-ethics-project>

En aquest sentit, et convidem a descobrir projectes com el Quantum Ethics Project (Projecte d'Ètica Quàntica)¹, fundat el 2021 per Joan Arrow. Llegeix aquests fragments d'una entrevista² feta per Yuval Boger a dos dels cofundadors del projecte, Anna Knörr i Rodrigo Bravo, i contesta les preguntes que trobaràs a continuació.

1. Origen i objectius del Quantum Ethics Project:

«El Quantum Ethics Project va començar el 2021 perquè tots nosaltres, en els nostres programes acadèmics, vam notar que faltava debatre què significa portar el fet quàntic al món: a qui pertany?, quina finalitat té i en benefici de qui? L'objectiu és proporcionar un espai per atendre les qüestions socials, polítiques, ètiques i econòmiques de les tecnologies, sigui mitjançant la investigació tècnica, les ciències socials o l'educació i el compromís.»

2. Diferències amb altres tecnologies

«Quan penso en l'ètica quàntica, algunes de les preguntes que em sorgeixen són similars a les relacionades amb altres noves tecnologies. Per exemple, pel que fa a la IA es diu que hi haurà un grup de nacions que tindran accés a aquesta tecnologia i d'altres que no. És just, això? Es podria dir el mateix pel que fa al



desenvolupament de vacunes: hi ha un grup de persones que tenen accés a la vacuna abans que d'altres perquè potser viuen en països més desenvolupats o tenen una empresa farmacèutica al territori.

En certa manera, la quàntica és un exemple de com aquestes preguntes s'han de plantejar davant de qualsevol tecnologia emergent. I la quàntica ofereix algunes oportunitats úniques en aquest sentit, perquè s'està desenvolupant una mica més lentament. Això ens permet iniciar el debat molt aviat i començar a donar forma a la tecnologia de manera diferent de com ho hem fet amb la IA o els semiconductors. També hi ha diferències, és clar. No crec que hàgim tingut una altra tecnologia que pugui trencar els sistemes de xifrat molt de temps. I en aquest sentit, això és únic. Ara mateix hauríem de tenir els ulls ben oberts davant d'aquestes diferències, però també aprofitar-ne les similituds i utilitzar el coneixement que ens ofereixen altres camps ja explorats.»

3. Usos duals de la computació quàntica i la seva regulació:

«En la quàntica, hi ha casos d'ús dual evidents. Podem utilitzar un ordinador per a finalitats criptogràfiques, que poden ser defensives o ofensives. Així que hi ha d'haver controls constants sobre qui està utilitzant la tecnologia i amb quina finalitat. Aquest és un debat que hem de començar a tenir en l'àmbit industrial.»

—

Preguntes:

1. Quin és l'objectiu principal del Quantum Ethics Project? Per què és important plantejar aquestes preguntes ètiques en el desenvolupament de noves tecnologies?
2. Per què la computació quàntica permet anticipar-se als dilemes ètics més que altres tecnologies com la IA? Com podríem aprofitar aquest avantatge perquè tingui un desenvolupament més inclusiu?



3. Què són els usos duals d'una tecnologia? Pots donar exemples de com s'apliquen aquests usos a la intel·ligència artificial o altres tecnologies avançades?
4. Per què és fonamental establir controls sobre l'ús de la computació quàntica? Qui hauria de tenir la responsabilitat d'aplicar aquests controls?
Exemple: Si una empresa desenvolupa sistemes quàntics per a aplicacions militars sense supervisió, això podria desencadenar una carrera armamentista tecnològica. Qui hauria de supervisar aquests desenvolupaments: la comunitat científica, organismes internacionals, o una combinació d'ambdós?

—

Diàleg col·lectiu

En grups, investigueu i contesteu les següents preguntes. Després, discutiu-les amb la resta de la classe per compartir idees i arribar a conclusions conjuntes.

1. Anticipació ètica:

Quines preguntes hauríem de fer-nos ara sobre la computació quàntica abans que sigui àmpliament utilitzada?

Exemples: Com podem garantir que els avenços en fàrmacs gràcies a la computació quàntica siguin accessibles per a països en desenvolupament? Com protegirem la informació confidencial (ciberseguretat) si els ordinadors quàntics fan obsolet el xifratge actual?

2. Regulació i desigualtat

Qui hauria de decidir els usos acceptables de la computació quàntica? (Els governs, amb regulacions internacionals? Les empreses, sota codis ètics propis? La societat, mitjançant referèndums?)



3. Comparació amb la IA

Dels errors comesos amb la IA en podem treure aprenentatges que es podrien aplicar a la computació quàntica? Exemples d'errors:

- i. La IA sovint s'ha desenvolupat sense transparència ni supervisió, amb conseqüències com biaixos racials en els algoritmes.
- ii. Els avenços en IA han beneficiat sobretot grans empreses tecnològiques, exclouent grups més petits o vulnerables.

Com podem evitar repetir errors similars amb aquesta nova tecnologia?

Exemple: Implementar des del principi codis ètics estrictes per als investigadors i empreses, juntament amb una regulació clara.



Bibliografia

Fonts del dossier:

- Cirac, Ignacio, i Acín, Antonio (12/02/2024). «Física quàntica i informació: noves tecnologies per al segle XXI». IDEES, núm. 61, Quantum: una revolució que canviarà el món? Disponible a <<https://revistaidees.cat/fisica-quantica-i-informacio-noves-tecnologies-per-al-segle-xxi/>>.
- Boger, Yuval (20/11/2023). «Anna Knörr and Rodrigo Bravo, co-founders of the Quantum Ethics Project». The Superposition Guy's Podcast. Disponible a <<https://www.quera.com/podcasts/anna-knorr-and-rodrigo-bravo-co-founders-of-the-quantum-ethics-project>>.
- Elola, Joseba (7/12/2014). «Yo era un niño normal al que le gustaba la ciencia-ficción». El País. Disponible a <https://elpais.com/elpais/2014/12/05/eps/1417792857_886488.html>.
- El cazador de cerebros (22/04/2020). Entrevista a Ignacio Cirac. Físico cuántico. La 2. Disponible a <<https://www.youtube.com/watch?v=zV09OFyAew8>>.

Altres recursos multimèdia:

- «Una introducció a la filosofia i la física quàntica», amb Ignacio Cirac i Albert Solé, a partir del minut 14:08. Presentació del monogràfic Quantum: una revolució que canviarà el món?, de la revista IDEES, a La Pedrera de Barcelona, 12 de febrer de 2024. Canal de YouTube del Departament d'Unió Europea i Acció Exterior de la Generalitat de Catalunya. Disponible a <<https://www.youtube.com/watch?v=9YguKGYHPoM&t=849s>>.
- «Computación cuántica, errores y redes de tensores» amb Ignacio Cirac, que respon preguntes sobre la computació quàntica. Canal de YouTube de l'Institut de Física Teòrica (UAM-CSIC), 24 de desembre de 2023. Disponible a <<https://www.youtube.com/watch?v=VeHR1pX6kes>>.

