

Amics del País 1822-2022

Societat Econòmica Barcelonense
d'Amics del País

L'IMPACTE DE LA SUPERCOMPUTACIÓ A LA CIÈNCIA I LA SOCIETAT

Josep M. Martorell

Conferència pronunciada en l'acte solemne
del lliurament dels Premis Anuals d'Amics del País
celebrat al Saló de Cent de l'Ajuntament de Barcelona

16 de març de 2023

Els textos d'Amics del País

SOCIETAT ECONÒMICA BARCELONESA
D'AMICS DEL PAÍS

L'impacte de la supercomputació a la ciència i la societat

Josep M. Martorell

Director associat del Barcelona Supercomputing Center

Conferència pronunciada en l'acte solemne
del lliurament dels Premis Anuals d'Amics del País
celebrat al Saló de Cent de l'Ajuntament de Barcelona

16 de març de 2023

Moltes gràcies senyor Miquel Roca, president d'Amics del País, primer tinent d'alcalde, membres de la junta de la SEBAP. És un gran honor tenir l'oportunitat de ser aquí avui, i no només pel meravellós escenari, aquesta sala del Consell de Cent, sinó també per poder compartir amb vosaltres algunes reflexions que el senyor Miquel Roca ja ha esbossat.

Quan un ha de parlar públicament, com em passa a mi de tant en tant a causa de la meva feina, pot ser difícil fer-ho davant d'un públic tan divers, compost per persones amb trajectòries professionals impressionants, pares i mares orgullosos dels seus fills i filles i joves amb un talent excepcional. Per tant, no és senzill ajustar el to del discurs. Tenint en compte que abans d'entrar he saludat uns quants catedràtics i professors amb grans trajectòries, experts a nivell científic en aquesta matèria, em dirigiré sobretot als més joves, que em donarà la llibertat de ser, potser no del tot precís tècnicament, però sí, divulgatiu. Espero que els experts presents em disculpin.

Voldria començar aprofundint una mica més en la idea fonamental que el senyor Miquel Roca ja ha presentat sobre el rol de la nostra ciutat al món. No és que Barcelona pugui ser (en condicional) una capital mundial a nivell científic-tecnològic, sinó que vull parlar-vos d'un àmbit on Barcelona ja ho és, de capital, com a mínim a nivell europeu. M'agradaria presentar-vos la realitat d'aquesta ciutat en l'àmbit de les tecnologies computacionals i digitals profundes, i ho faré a través d'aquestes quatre idees que us avanço per començar.

En primer lloc, m'agradaria explicar-vos per què passa tot això que passa ara mateix en l'àmbit de la IA i les tecnologies digitals, en general. Aquests dies, quan obrim Twitter o qualsevol diari digital, veiem notícies sobre el chatGPT contínuament. Voldria ex-

plicar-vos, tecnològicament, per què passa això, exactament ara, i per què és fruit d'una convergència de tecnologies. En segon lloc, m'agradaria transmetre-us una mica l'impacte que això té, no només, en la societat, l'economia o els debats ètics, que n'hi ha molts, sinó en l'activitat científica i com els científics treballen d'una manera diferent a causa d'aquesta convergència digital. En tercer lloc, m'agradaria explicar-vos que això no només afecta la ciència, sinó també la indústria i moltes empreses. I, evidentment, un tema que és important per a la ciència i la indústria té un impacte geopolític molt clar. Per tant, m'agradaria parlar-vos del paper que creiem que pot jugar Europa, i en particular Barcelona, en aquesta carrera entre els grans països del món per al control de la tecnologia digital. I, finalment, voldria discutir sobre el futur, on anem i quines tecnologies arribaran posteriorment (o complementàriament) al domini del silici.

La convergència de les tecnologies digitals

Permeteu-me començar insistint que seré tècnicament poc precís, així que em disculpo amb aquells que en saben més que jo, alguns presents en aquesta sala. Dit això, començo amb dos exemples amb els quals vull mostrar fins a quin punt la tecnologia de computació ha avançat en les últimes dècades. Una és l'ENIAC, un dels primers ordinadors instal·lats als Estats Units a finals dels anys quaranta i fins a mitjans dels cinquanta del segle passat, a Pennsylvania. L'altra és el Frontier, actualment el supercomputador reconegut com el més potent del món d'acord amb el rànquing del Top500, instal·lat pels nostres col·legues d'Oak Ridge als Estats Units, en un centre dependent del Departament d'Energia del Govern nord-americà.

El Frontier és el primer ordinador conegut que ha trencat la barrera de l'exascale, és a dir, la capacitat de fer un milió de milions

de milions (un trilió europeu) d'operacions matemàtiques per segon. L'important és que, en les set dècades que separen aquests dos exemples, hi ha una diferència d'aproximadament setze ordres de magnitud. I setze ordres de magnitud equivalen a un "1" seguit de setze zeros. I un "1" seguit de setze zeros és una cosa que, no sé vostès, però, jo no comprenc amb profunditat. Un "1" seguit de setze zeros són deu mil milions de milions. Algú pot imaginar què significa que una cosa sigui deu mil milions de milions més gran que una altra? Entrem en una zona on un zero més o un zero menys ja et fa perdre una mica la capacitat d'entendre les coses. El Frontier, doncs, tal i com he mencionat abans, adequadament programada, és capaç d'arribar a l'anomenat exaflop, que vol dir que fa deu a la divuit, és a dir, un milió de milions de milions d'operacions matemàtiques per segon.

Jo no soc capaç de comprendre què vol dir que una màquina realitzi un milió de milions de milions d'operacions matemàtiques cada segon, però sí que puc provar d'entendre què provoca aquesta immensa capacitat de càlcul. La tecnologia digital és probablement l'única tecnologia humana que ha avançat exponencialment sense aturar-se durant dècades. Això vol dir, per exemple, que l'ordinador portàtil que porteu a la motxilla o potser el mòbil que porteu a la butxaca hauria estat segurament l'ordinador més potent del món fa menys de trenta anys. És a dir, que vosaltres sou capaços de fer a casa el que l'ordinador més potent del món podia fer fa tres dècades. Per tant, si seguim amb aquesta tendència, ¿què podrem fer a casa nostra amb el dispositiu que portem a la butxaca d'aquí a dues o tres dècades? Tot això suposant, és clar, que siguem capaços de continuar amb el mateix ritme de creixement els propers anys.

I aquesta és la primera pregunta que voldria respondre: en serem capaços? Una mala notícia, no per als investigadors perquè sig-

nifica repte, és que cada vegada ens costa més fer el següent salt. Habitualment parlem de salts de mil en mil: tera, peta, exa, etc., amb aquests prefixos. Abans saltàvem mil vegades cada vuit o deu anys, després cada dotze, després cada catorze. Ara, si volem arribar al següent nivell, que és el que anomenem zettaescala, deu elevat a vint-i-una operacions matemàtiques per segon, no sabem quant trigarem perquè el desafiament tecnològic és d'una magnitud com mai abans s'havia vist. Aviat ja no podrem fer transistors més petits. Ara hi ha fàbriques capaces de fer transistors de tres mil·límetres, potser en veurem de dos mil·límetres, potser algun dia d'un mil·límetre..., però prou, són massa pocs àtoms de silici disposats allà dins. Per tant, no és gens evident que a mig termini siguem capaços de seguir evolucionant com fins ara amb les nostres capacitats computacionals.

Ara bé, algú podria preguntar: "D'acord, però esperi un moment, milers de milions de milions d'operacions matemàtiques per segon... Sí, però, ¿realment són necessàries? ¿Per què volem ordinadors encara més potents que els que esteu instal·lant i que després ens mostrareu? ¿Hi ha algun problema matemàtic, físic o d'enginyeria que requereixi tanta capacitat tecnològica?". Ho il·lustro amb l'exemple del processament del llenguatge natural, aquests models de llenguatge massius que ocupen les notícies durant tot el dia. Les xarxes neuronals que hi ha sota aquests models de llengua tenen milers de milions de paràmetres per entrenar sobre enormes volums de dades, i això requereix unes capacitats computacionals enormes.

Fins fa deu anys, la necessitat computacional es duplicava cada divuit o vint-i-quatre mesos, que, essencialment, és el que som capaços de fer posant més transistors dins d'un xip (seguint la llei de Moore). Actualment, la quantitat de capacitat computacional necessària comença a duplicar-se cada tres o quatre mesos. I qual-

sevol cosa que es duplica cada tres o quatre mesos es multiplica per deu en un any, per cent en dos anys, i així successivament. No podem continuar a aquest ritme. No hi ha tecnologia humana avui que sigui capaç de seguir aquest ritme, malgrat que hi ha molta demanda de problemes científics, i no només científics, que necessiten increments de capacitat computacional com aquests. Deixo per al final la resposta a la pregunta de com ho farem, però d'entrada sí, existeixen problemes reals que seguiran requerint de més capacitat de càlcul.

L'impacte d'aquesta convergència en la ciència i en la indústria

Així doncs, la primera idea és posar en relleu aquesta explosió de capacitat computacional. A partir d'aquí, la qüestió és: com afecta la ciència tot això?

Voldria començar compartint una idea molt conceptual, però que per a mi és tremendament important. Des de fa segles, la ciència avança seguint el mètode científic. Això vol dir, entre d'altres coses, l'existència d'un diàleg continu i fructífer entre la teoria i l'experimentació. Existeix un marc teòric, unes fórmules o unes equacions que ens descriuen un cert fenomen natural. Després, experimento a la realitat i verifico si el que observo és coherent amb el que prediu la teoria. Si la teoria és vàlida, l'experimentació coincideix amb el que prediu aquesta. Aleshores, cada cop que apareix un telescopi, un microscopi, un seqüenciador, un accelerador de partícules, que em permet mirar més lluny, més endins, més a prop, arribar a llocs on no havia arribat mai, tot això em permet fer una experimentació diferent. I allà, segurament, descobriré alguna cosa que no concorda amb la teoria en vigor i, per tant, podré fer un pas endavant com a científic, descobrint nous

fenòmens que no encaixen amb la teoria fins aleshores considerada vàlida. Tot seguit, torno al marc teòric, el rectifico, l'amplio, el modifico i la ciència avança. La ciència avança en aquest continu diàleg entre el marc teòric i el marc experimental.

El meu missatge, per tant, és que la ciència porta segles progressant gràcies al mètode científic, que es basa en part en l'experimentació natural i en disposar d'instruments o aparells que em permeten observar allò que no podia observar abans de la creació d'aquests dispositius. I quina relació té això amb la capacitat computacional? Doncs que ara disposem de nous dispositius anomenats supercomputadors, que són, ni més ni menys, eines per fer avançar el coneixement científic. Eines que permeten, en comptes d'experimentar amb la realitat, simular-la. Hi haurà casos en què experimentar amb la realitat serà el millor, sens dubte. Hi haurà casos, en canvi, en què simular la realitat serà l'única possibilitat. Perquè si investigues el canvi climàtic i vols predir l'evolució del clima, la simulació computacional probablement sigui l'única manera de fer-ho. I si treballes amb plegaments de proteïnes, la intel·ligència artificial serà una gran aliada per donar-te marcs teòrics que expliquen o prediuen el comportament d'una determinada proteïna.

El consens de la comunitat científica diu avui que combinar l'experimentació amb la simulació és una bona manera de fer avançar la ciència. Per tant, la segona idea que exposo aquí és que, en gairebé totes les àrees de coneixement científic (podem parlar de l'enginyeria, la química, la física, el clima, l'aerodinàmica, els materials, etc.), cada vegada més, la computació massiva i l'experiència es combinen per fer avançar la ciència més eficaçment. I això és perquè hem arribat al que anomenem la convergència entre la supercomputació, aquesta capacitat massiva de calcular, i el que anomenem la intel·ligència artificial, la capacitat de desen-

volupar algoritmes profunds que, gràcies a la supercomputació, s'entrenen en quantitats massives de dades.

Aquesta reflexió, que és molt conceptual, es pot exemplificar amb diversos casos d'interaccions on l'ús d'aquests "instruments" que anomenem supercomputadors és del tot imprescindible. I, tenint en compte aquestes idees, podria proporcionar-vos algun exemple de coses que la ciència és capaç de fer gràcies a aquests instruments anomenats supercomputadors. Us n'ofereixo alguns, començant per un exemple del camp de l'astronomia. Al BSC desenvolupem un projecte, juntament amb l'Agència Espacial Europea, que té per objectiu observar tot el que hi ha a la Via Làctia i obtenir informació de cada objecte: la posició, la velocitat relativa, la lluminositat, l'espectrografia, etc., a partir de les dades d'una sonda anomenada Gaia que orbita i cartografia la Via Làctia. Cal tenir en compte, d'entrada, que la Via Làctia conté entre cent mil i dos-cents mil milions d'estrelles, la qual cosa implica un repte científic i tecnològic de primer ordre. Per tant, podríem començar centrant-nos en el nostre sistema solar, on hi ha uns cent cinquanta mil asteroides orbitant al voltant del Sol.

Aquest és un cas del qual coneixem a la perfecció les lleis que governen el problema, en aquest cas, les lleis que regeixen el moviment dels objectes en el sistema solar. Òbviament, és mecànica clàssica, són lleis conegudes des de fa molt de temps. Però conèixer les lleis és una cosa i ser capaç de resoldre-les en un cas com aquest, amb tants objectes involucrats, és un altre del tot diferent. El poder de les tècniques computacionals complementen (no substitueixen) la tasca científica experimental. Tractar cent cinquanta mil objectes simultàniament només és possible mitjançant la simulació computacional i la gestió de grans bases de dades.

Si baixem cap al nostre planeta, ens trobem amb nous casos d'ús científic de la supercomputació. Què en sabem avui del nostre planeta? Com canvia el clima, com evolucionarà el clima en els propers anys i les properes dècades? Ho sabem a nivell planetari gràcies a l'ús dels supercomputadors i, cada vegada més, ens podem apropar i conèixer-ho a nivell continental, regional, urbà. Podem treballar amb un ajuntament per simular la realitat d'una ciutat per tal de predir què passarà en funció de com actuem, de la mateixa manera que sabem què li passarà al Mediterrani d'aquí a unes quantes dècades. Tot això, que està basat en la ciència experimental i en les equacions matemàtiques que governen el clima, no seria possible sense el suport de les tècniques computacionals.

Deixeu-me proporcionar encara un altre exemple relacionat amb la salut humana, la medicina, la biologia, el disseny de fàrmacs, la simulació de nous enzims. En tots aquests àmbits experimentalment es poden fer moltes coses i, en els nostres laboratoris, hi hem avançat enormement. No obstant això, cada vegada més, allà on no arriba un aparell experimental, hi arriba la simulació computacional. Per exemple, amb ambdues tècniques, es pot simular l'evolució de les cèl·lules en un tumor en funció de la intensitat del fàrmac que s'administra i comprovar si això, experimentalment, es produeix exactament igual. Cada cop més, la recerca en salut avança gràcies a la combinació dels models teòrics, la recerca experimental i clínica i les eines computacionals. La combinació de tot plegat està obrint portes fins ara inimaginables.

Deixeu-me oferir un altre exemple extremadament impressionant. Tots estem entusiasmats, darrerament, amb el ChatGPT i els models massius de llenguatge. Però, en la mateixa línia dels grans models d'intel·ligència artificial, per a nosaltres, segurament, el més espectacular és el que ha realitzat l'empresa DeepMind amb el programa AlphaFold. Es tracta d'un algoritme que, d'una sola

vegada -i disculpeu si simplifico-, resol un problema biològic que estava sent investigat per tota la comunitat científica des de feia quaranta anys: el problema del plegament de les proteïnes. En una primera aproximació, l'objectiu és ser capaços de saber com una proteïna es plega sobre si mateixa (el que en anglès s'anomena *protein folding*). És extremadament revolucionari el que ha aconseguit DeepMind amb aquesta IA, sobretot perquè ha assolit un percentatge d'èxit en la predicció del plegament de les proteïnes que mai ningú havia aconseguit. Això també deixa entreveure un gran repte: l'explicabilitat de l'algoritme no és òbvia. Sabem que ho fa bé, però no comprenem amb profunditat per què ho fa bé. I aquest és un dels motius pels quals DeepMind, immediatament, ha obert el seu algoritme perquè tota la comunitat científica internacional pugui interactuar-hi, treballar-hi i pugui ajudar, amb innovació oberta, a entendre com funciona això.

Per tant, des de la cosmologia fins al clima, passant per la medicina o la biologia, diverses àrees científiques estan avançant enormement també gràcies a la computació. La següent pregunta que ens podríem fer és si aquest impacte es limita només a la ciència o bé té repercussió en les empreses i en el món industrial. Per respondre a aquesta pregunta fixem-nos, en primer lloc, en l'ordinador que està instal·lant Meta, la matriu de Facebook. No sabem exactament què estan instal·lant, però afirmen que serà el més potent del món. Ho sigui o no, és probable que sigui una màquina extremadament potent i molt útil per als seus plans de futur amb el metavers i altres projectes.

Però això no només concerneix a les grans empreses tecnològiques, que un ja s'imagina que estan fent grans inversions en aquest camp. Avui en dia, això afecta gairebé tot el que està relacionat amb el món industrial de l'enginyeria: la combustió, l'aerodinàmica, el sector aeroespacial, els bessons digitals de la

indústria, simular com canvia l'aerodinàmica d'un cotxe en diverses circumstàncies, simular com crema un nou combustible que hem dissenyat al laboratori. Cada vegada més, aquestes tècniques són crucials perquè les empreses millorin la seva competitivitat davant els reptes d'aquesta naturalesa. O, dit d'una altra manera, l'ús d'aquestes tecnologies dona, a qui les fa servir, un avantatge competitiu molt important.

També podem parlar un altre cop de la medicina i analitzar l'exemple d'una companyia de dispositius mèdics com Medtronic, que prova una nova geometria o un nou material en un *stent* cardíac. Això només es podria fer mitjançant experimentació animal, però fer-ho al laboratori és extremadament complicat per diverses raons: d'una banda, no escala, és a dir, no és possible fer centenars de proves diferents en una escala de temps raonable; d'altra banda, l'experimentació animal necessària presenta problemes ètics no menors. No obstant, aquest procés de buscar noves configuracions d'un dispositiu mèdic sí que es pot fer computacionalment. Si els mètodes que es desenvolupen i els superordinadors disponibles ho permeten, es poden simular les diferents opcions superant els límits del mètode experimental. De fet, podem dir que, cada vegada més, l'assaig de nous dispositius mèdics incorporarà aquestes tecnologies digitals, complementant l'enfocament experimental. No trigarem en veure assajos clínics que incorporin de manera massiva aquestes tecnologies i permetin fer algunes fases *in silico* en comptes de *in vitro* o *in vivo*.

M'agradaria exposar també altres àmbits on la simulació numèrica que permeten aquests supercomputadors és útil a nivell industrial. He parlat de grans companyies tecnològiques, d'empreses biomèdiques, de casos d'ús industrials, etc. Em permeto acabar els exemples amb una imatge que potser sabran identificar fàcilment: es tracta del Camp Nou, més concretament, d'una simulació

numèrica sobre com les persones es poden moure per una instal·lació com aquesta, depenent de les intervencions que s'hi facin. Per tant, som capaços de simular des d'asteroides movent-se al voltant d'una estrella fins a moviments d'un gran nombre de persones entorn d'una instal·lació esportiva.

L'impacte geopolític de la supercomputació

Queda clar que aquesta tecnologia és d'una importància crucial tant per a la ciència com per a la indústria. I és fàcil de concloure que quelcom important per a la ciència i la indústria ho és també des del punt de vista de la geoestratègia. Així doncs, preguntem-nos a continuació com es posicionen en aquesta tecnologia els Estats Units, la Xina, Europa i, més concretament, on ens trobem nosaltres com a ciutat i com a país?

Hem vist la quantitat de coses que són possibles gràcies a ordinadors com el que tenim instal·lat al campus nord de la Politècnica (sempre que el menciono no puc evitar convidar-los a visitar-nos si no ho han fet ja: vint mil persones ho fan cada any i més de dues-centes mil persones han visitat les nostres instal·lacions des del primer MareNostrum). Fins ara, el nostre MareNostrum formava part d'una xarxa europea (Prace), on cada país gran hi tenia un o dos grans superordinadors per atendre les necessitats dels seus científics i, de manera coordinada, tots aquests ordinadors donaven servei a la comunitat científica. Aquest sistema ha funcionat prou bé la darrera dècada, però ja fa uns anys que ens vam adonar de la dificultat de seguir l'enorme ritme d'inversions que les grans potències mundials estaven fent en aquest camp. Dient-ho de manera planera, si seguíem actuant país per país a Europa, mai podríem competir del tot amb el volum d'inversions necessàries com les que estan fent els Estats Units, la Xina o el Japó.

Això va portar a les autoritats europees a subratllar la magnitud del repte que teníem per davant. El primer fou l'antic president de la Comissió Europea, Jean Claude Juncker, que a la tardor del 2015 ja va dir que hauríem de consensuar els esforços i posar tots els recursos en favor del mateix projecte comú. D'aquesta manera podríem decidir, com a europeus i de manera consensuada, on instal·lar les grans màquines de computació al nostre continent. Si no ho fèiem, resultava evident que les grans potències ens superarien. I per què era tan important això? Perquè cada cop tenim més clar que necessitem garantir als nostres científics l'accés a grans màquines de computació, per seguir sent competitius en la seva recerca i seguir col·laborant i competint amb els seus col·legues d'arreu del món. Recentment, l'actual presidenta de la Comissió, Ursula Von der Leyen, ha subratllat que és molt important que tinguem grans màquines de computació i que cal que ens preocupem per incorporar-hi tanta tecnologia europea com sigui possible. És a dir, que la sobirania tecnològica europea en el camp dels semiconductors i els xips és tan estratègica com proveir dels recursos computacionals necessaris als nostres científics.

Què s'ha fet fins ara? Aquestes declaracions han anat acompanyades d'accions en la mateixa direcció o simplement han estat declaracions benintencionades sense major concreció? La bona notícia és que la Comissió Europea ha sigut capaç de consensuar amb els Estats Membres de la Unió i alguns països associats un treball conjunt en aquest àmbit, fet que ha provocat la creació de l'empresa comuna Joint Undertaking, coneguda com a EuroHPC JU. A través d'aquest instrument, s'ha pres una primera decisió molt important: quines són les institucions europees que acolliran, durant aquesta dècada, les grans màquines de càlcul científic al nostre continent.

L'anàlisi del mapa acordat permet veure com hi haurà algunes màquines més petites aquí i allà, perquè és important mantenir un cert teixit d'instal·lacions importants arreu del continent. Però destaquen clarament les tres grans màquines aprovades, totes elles operant en el que anomenem la pre-exascale: Lumi, al nord de Finlàndia, que està operatiu des del passat mes de juny i és avui la tercera màquina més potent del món; Leonardo, que està instal·lada al nord d'Itàlia pels nostres companys de Bolonya i que està operativa des del passat mes de desembre, essent la número 4 del món; i el nostre MareNostrum5.

I és que la tercera màquina que completa aquest trio és precisament el MareNostrum 5, que si ens visiteu d'ara fins a l'estiu d'aquest 2023 el veureu en procés d'instal·lació. Només mirant les imatges de l'espai que l'acollirà hom ja s'adona que no podem abordar aquesta qüestió país per país, sinó que hem de decidir conjuntament on instal·lar les grans màquines i realitzar inversions conjuntes significatives. Aquesta visió conjunta i ambiciosa a nivell europeu ens ha permès arribar al MareNostrum 5, propietat de la EuroHPC Joint Undertaking i que posiciona Barcelona com un dels grans llocs d'Europa on succeeixen coses rellevants en aquest àmbit.

De fet, podria haver començat dient que Barcelona és molt important en aquest camp, però segurament m'hagués costat convèncer l'auditori sense aportar-hi dades. És per això que, primerament, he volgut explicar per què aquesta tecnologia és tan crucial i com, sense ella, gran part de la ciència i la indústria no poden ser competitives a nivell mundial. I, a partir d'aquí, és fàcil entendre per què tenir instal·lacions com aquestes a casa nostra situa la nostra ciutat en una posició tan favorable en aquest marc competitiu de la ciència.

No em vull oblidar, però, del segon gran objectiu que tenim com a europeus, i que la presidenta Von der Leyen ha posat sobre la taula: hem d'integrar tanta tecnologia europea com puguem en aquests projectes. Actualment, a risc de simplificar una mica, podem dir que Europa ocupa una posició raonable en el *software*, però que és gairebé irrellevant en el *hardware*. I aquest repte de fer-se un lloc en el *hardware* d'alt rendiment és molt més complex que el primer (donar accés a la nostra comunitat científica a grans màquines de càlcul). El primer desafiament, posar d'acord vint-i-set estats membres i la Comissió Europea en aquestes inversions, ja ha sigut prou complicat. Però aquest segon repte és encara més difícil, ja que no es tracta només d'un acord polític, sinó d'un esforç tecnològic i científic extremadament complex. Tanmateix, estem avançant i ho estem fent bé. Estem progressant en col·laboració amb les administracions i amb alguns socis com Cisco, Intel i altres grans empreses que comencen a adonar-se que, a Barcelona, hi passen coses rellevants en el disseny de xips.

Creiem que, probablement, el nostre entorn no se centrarà en la manufactura ni la fabricació. Pot ser que això passi en altres llocs d'Europa, amb un major ecosistema industrial en l'àmbit de la microelectrònica. No ho hem de descartar, però tampoc obsessionar-nos-hi. No obstant això, estem convençuts que podem convertir Barcelona en un dels llocs més importants del món en el disseny de xips amb tecnologia europea per a les grans màquines del futur. Si ens visiteu, veureu una màquina gran i espectacular instal·lada, encara, amb tecnologia majoritàriament americana. Però, si veniu d'aquí a cinc o sis anys, és possible que comenceu a veure el futur MareNostrum6 amb una part de tecnologia europea. Estem convençuts que com a ciutat tenim els ingredients necessaris per posicionar-nos com la vall europea del disseny de xips.

El futur de la computació

Voldria acabar amb una mirada al futur, pel que fa a les noves arquitectures computacionals. Hem conclòs anteriorment que la demanda per a més capacitat computacional existeix (l'exemple dels models massius de llenguatge ho il·lustra), però també ens topem amb les limitacions de la tecnologia actual de semiconductors basada en silici. És conegut en el nostre camp que la capacitat de miniaturitzar més els transistors té un límit i, per tant, cal explorar noves aproximacions que permetin seguir incrementant la capacitat computacional al servei de la ciència. Quines són les principals tendències de futur en aquest camp? I quin paper jugarà Barcelona en tot això? Ens dirigim cap a un futur on les grans màquines incorporaran tecnologia criogènica, xips neuromòrfics, xips fotònics o xips quàntics? A hores d'ara, hem de confessar que no ho sabem amb certesa.

Totes aquestes tecnologies són emergents i molt prometedores, però ningú pot predir quina serà la tecnologia dominant o si coexistiran diverses tecnologies. Probablement ens dirigim cap a un futur en què les màquines seran cada vegada més complexes i la tecnologia clàssica del silici anirà incorporant altres tecnologies, com ara la computació quàntica. De fet, si ens visiteu d'aquí a uns mesos, veureu que no només tindrem instal·lat el MareNostrum 5, sinó que també estarem posant en marxa els nostres primers ordinadors quàntics.

Per què és tan important, ara, entrar en la computació quàntica si no sabem amb seguretat quines tecnologies dominaran el futur? És crucial perquè, tot i que no estem segurs de quina serà exactament la tecnologia que acabarà revolucionant la computació en el futur, ni quines conviuran, la nostra responsabilitat és estar sempre a l'avantguarda del coneixement. Per tant, no només dispo-

sem de grans màquines per permetre als científics investigar en la frontera del coneixement, que també; no només tenim l'objectiu de dissenyar la tecnologia europea que es trobarà dins d'aquestes màquines, que també; sinó que fins i tot aspirem a estar a l'avantguarda en el disseny de la tecnologia del futur, encara que actualment no puguem determinar amb certesa quina serà.

Tal com assenyalava el Sr. Miguel Roca anteriorment, cada encert sol venir precedit per diversos errors i la ciència proposa sempre avançar a través de l'assaig, l'experiment, la prova, la integració de noves tecnologies i la permanència en la frontera del coneixement. És doncs tan important invertir en les grans màquines ja operatives, com fer recerca en les opcions de futur que, encara incertes, ens poden permetre seguir liderant aquest àmbit a nivell europeu.

Conclusió

Per resumir i concloure, les idees exposades han estat senzilles, però he intentat que reflectissin un missatge fonamental: Barcelona es troba en una posició privilegiada, almenys en el nostre camp de coneixement. Ens trobem en un moment en què l'evolució de la supercomputació i la seva convergència amb la intel·ligència artificial fa aflorar innovacions revolucionàries, que, alhora, impulsa avenços significatius en la ciència i, cada vegada més, en la indústria. I és evident que allò que afecta la ciència i la indústria també afecta la geopolítica.

La bona notícia és que Europa s'ha despertat, s'està posicionant en aquest àmbit i ha comprès la necessitat d'assolir autonomia estratègica per competir en aquest món complex. I, dins d'Europa, de forma modesta però decidida, Barcelona exerceix un paper molt

important en aquest procés. No caiguem en la complaença, però sentim-nos orgullosos del lideratge que mantenim i fem que això ens esperoni a seguir fent créixer el talent i la creativitat d'aquesta ciutat.

Moltes gràcies.

