



Sopar-Col·loqui amb Josep Maria Martorell "Supercomputadors i salut"

Explicar el que fem amb els diners públics que rebem també és part de la nostra feina llavors, més enllà dels aspectes centrals d'aquesta conferència, altrament m'agradaria posar èmfasis a la qüestió pressupostaria.

D'entrada, dir que venen una sèrie de revolucions en el món de la computació amb variables geopolítiques no trivials i, en aquest sentit, jo parlaré molt d'Europa i el seu paper en tot el que està passant i succeirà en el futur.

També tractaré el rol particular que pot jugar Barcelona en tot plegat, això ens ho podem plantejar perquè (de fet) la ciutat ja està tenint un paper en aquest univers i focalitzaré especialment en aquells àmbits on s'està fent una bona feina (amb uns resultats força interessants) i aquells altres on hi existeix una gran potencialitat però s'hi hauria de fer alguna cosa més.

D'entrada, em proposo exposar com ha evolucionat el poder de computació que tenim i la intel·ligència artificial així com perquè està havent-hi tot aquest *boom* i quines son les implicacions d'això per Europa (de d'un punt de vista molt geopolític) la recerca, la indústria, l'àmbit de la salut i el medi ambient. El següent punt a considerar quin serà la posició de Barcelona.

La tecnologia de computació ha evolucionat enormement, no només en els darrers anys sinó en les darreres dècades i l'últim segle. Es tracta de l'única tecnologia humana que ha crescut exponencialment de manera ininterrompuda durant set dècades. El poder computacional d'una màquina actual és de 100.000.000.000.000.000 vegades el poder computacional d'una de fa 70 anys, la diferència és tant abismal que costa, humanament fer-se'n a la idea. De fet, aquesta dificultat és un del motius pels quals no som conscients del gran progrés que s'ha produït en les últimes dècades, com això ha afectat al nostre entorn i la quantitat de coses que podem fer gràcies a elles.

La potència dels supercomputadors més potents del món, és la conseqüència del *companding*, és a dir, del fet de tenir una tecnologia que et permet multiplicar per dos el seu poder cada 2 anys. Així, la majoria de telèfons intel·ligents de l'actualitat s'haguessin situat entre els 500 computadors més potents fa 25 anys. És a dir, que si la tendència es manté, d'aquí 25 anys podrem tenir *smartphones* amb la capacitat d'un supercomputador actual.



Arribats a aquest punt ens hem de plantejar fins quan és pot mantenir aquest ritme de desenvolupament. L'habilitat d'augmentar aquesta capacitat té a veure amb el fet d'encapsular, fer transistors cada cop més petits i aquí existeix una frontera física perquè si un transistor és un conjunt d'àtoms de cilici que quan els hi introdueixes energia s'exciten o no i n'extreus un llenguatge binari (0 o 1), si el nombre d'àtoms amb els que treballes comenci a ser molt petit podries perdre la fiabilitat del resultat. Dit això, la meua opinió és que en tecnologia humana sempre succeeix el mateix: quan hi ha demanda la tecnologia avança el suficient per donar oferta. Per tant, malgrat les limitacions físiques (*the Mur's wall*, el mur de Mur) probablement encara quedi com a mínim una dècada més de creixement a aquest ritme, ja sigui a través de les arquitectures innovadores que s'estan dissenyant, els nous materials que s'investiguen o la quàntica.

Relacionat amb això, els ordinadors s'avaluen cada 6 mesos amb proves d'inversió de matrius per fer-ne un *ranking*. El de Barcelona es situa en el número 25 de món (que no està malament), però les primeres posicions les ocupen computadors dels Estats Units, la Xina i el Japó. El primer computador de la Unió Europea és el 8é del món i el segon el 15é. Consegüentment, en el panorama mundial d'aquest camp Europa té un pes relatiu amb només algunes màquines importants fruit de l'aposta individual d'alguns Estats membres (en particular de França, Alemanya, Itàlia i Espanya).

En relació amb la intel·ligència artificial, us volia donar un parell d'idees. Primerament, això no és res nou: fa 30 o 40 anys que se'n programa. En segon lloc, cal esmentar que és una cosa molt complexa, és com un paraigües que engloba un munt de tecnologies que intenten reproduir uns certs comportaments. I finalment, també cal destacar dos factors causals de que en aquests últims anys que s'hagi viscut aquesta explosió: hi ha hagut aquest increment brutal de capacitat de computació del que parlàvem i la revolució de les dades perquè tot i tots estem completament censuritzats (i com un sistema d'aquest tipus es pot entrenar amb regles conegudes o a base de dades que mostrin comportaments, podem tenir material per entrenar a tots aquests nous sistemes d'intel·ligència artificial). Perquè us feu una idea de fins a quin punt aquesta revolució ha estat profunda; fa 25 anys IBM va ser capaç de construir un sistema que va guanyar una sèrie de 5 partides al campió mundial d'escacs, impressionant a tothom de l'època. Això es va aconseguir entrenant-lo amb partides que ja s'havien produït. Avui en dia, la gent de *Google* ha desenvolupat l'*Alpha 0* que ha reventat tots els *softwares* d'escacs existents fins ara (que ja eren infinitament millor que qualsevol campió mundial en aquesta matèria), i ho ha fet a base d'entrenar-lo jugant contra si mateix durant 4 hores. És a dir, és un sistema que ja no aprèn a partir de copiar experiències passades sinó que aprèn sol després d'introduir-li les regles del joc.



Quant a la influència de tot plegat en la recerca científica i la indústria. S'han d'atacar dos problemes: d'un en diem de model conegut, és a dir com al dissenyar un cotxe ets capaç d'escriure les equacions que governen aquell sistema físic, en el progrés de supercomputació que tenim per davant no. Un segon problema és que tenim moltes dades, molta informació, molts resultats d'haver interactuat amb la realitat però en molts casos no som capaços de baixar fins al constituent essencial de la matèria, conseqüència del problema exposat anteriorment. De manera que el model de recerca científica està canviant.

En els darrers segles, el mètode científic s'ha basat en dues coses: la teoria i l'experimentació (es veu en la natura quelcom que no té un model explicatiu, s'elabora una teoria sobre això i es torna a la natura a comprovar-ho a partir de l'experimentació). El que es proposa que succeeixi ara és aprofitar la simulació numèrica i l'anàlisi de dades per construir un tercer pilar en el mètode científic. Per exemple, per simular la realitat en comptes d'experimentar amb ella quan això impliqui problemes ètics o de complexitat.

Aquesta nova visió aplica a tots els camps de la ciència, també els socials, per això els nostres dos governs i les nostres universitats van tenir la idea de crear aquest consorci que és el BCC (*Barcelona Computing Center*) i ens van donar tres missions: esdevenir una infraestructura útil a nivell científicotècnica arreu d'Europa, fer recerca i donar com a retorn a la societat una transferència en ciència i tecnologia, divulgació i formació.

Es tracta d'una institució amb un pressupost anual de més de 30 milions d'euros (provinents de la Comissió Europea, els nostres governs i companyies privades) formada per unes 600 persones (amb una mitja d'edat de 34 anys, un 40% de membres internacionals i un enorme nivell de rotació de personal, d'un 100 persones l'any).

Sobre la primera missió, donem servei a través del Marenostrum 4 (operatiu des de l'1 de juliol de 2017), que reuneix 4 supercomputadors (un de propòsit general que serveix per a qualsevol tipus d'operació que obrim als investigadors europeus i 3 petits supercomputadors, dos dels quals no han arribat perquè d'acord amb el pacte amb el que vam arribar amb les companyies que van guanyar el concurs públic les tecnologies noves s'instal·len com a prototips en aquest centre). Això està al servei de forma gratuïta per a qualsevol que vulgui fer ciència oberta (independentment si es treballa per una institució pública o privada), després d'haver estat seleccionat en un concurs (*opencall*) conjunt que es fa des de tots els supercomputadors europeus (dos cops cada any).



Aquesta és una de les grans virtuts de la política científica europea: posar d'acord a tots els Estats per donar accés gratuït a supercomputadores als millors científics europeus i fer que puguin competir en igualtat de condicions amb els seus homòlegs xinesos, japonesos i americans.

En l'àmbit de la segona missió, fer recerca, sobretot en ciències de la computació que és preguntar-se com es construirà el programari dels ordinadors del futur. Per exemple, sobre el projecte del cervell humà europeu (sobre el que s'ha decidit posar-hi 1.000 milions d'euros) es necessiten unes estructures computacional molt complexes i nosaltres les podem proveir. D'altra banda amb el satèl·lit Gaia, que es dedica a cartografiar la nostra galàxia, que genera una enorme quantitat de dades i nosaltres fem recerca sobre com emmagatzemar-les (fins ara ocupen 3 milions de GB) i fer-les accessibles.

A més, també fem la part bioinformàtica dels projectes de recerca de ciències de la vida (en col·laboració amb altres institucions i grups). Per exemple, s'intenten simular òrgans humans: un cor no és més que un sistema de fluids, un sistema dinàmic en el que hi ha diverses variables interactuant que es poden escriure en forma d'equacions matemàtiques. Ara ja comencem a tenir mètodes matemàtics i capacitat computacional per resoldre la complexitat equacional d'un cor per obtenir un simulador d'un cor humà. Això permet provar en el nostre supercomputador els resultats de recerca cardíaca, com a alternativa (sense eliminar-la) a experimentació animal i permet escalar la investigació (accelerant-la i abaratint-la). Un altre exemple és el projecte de la leucèmia limfàtica que tenim amb el Clínic, sobre el que som guardadors de dades i en fem computació (com la creació d'algoritmes que cerquin gens mutats molt més ràpidament que qualsevol altre sistema clàssic).

En l'àmbit de les ciències de la terra, que és un clàssic de la supercomputació (perquè el planeta no es pot experimentar en un laboratori però el medi ambient, les tempestes de sorra o la qualitat de l'aire son simulaves). Per exemple es pot calcular la probabilitat de que hi hagi un pic d'elements contaminants en una zona a partir d'ela simulació de ciutats senceres i models numèrics. Això ho utilitza l'ajuntament de Mèxic DF (que va arribar a tancar les escoles de la ciutat durant diversos dies davant la probabilitat de presència d'elements contaminants perillosos a l'aire) i altres administracions per poder prendre decisions basant-se en dades. També permet calcular quin és el factor contaminant més importat d'una ciutat determinada, que a Barcelona son els creuers.

Al BCC tenim simulat el port de Barcelona i això ens permet predir com evolucionarà la contaminació producte del transit de creuers a la ciutat.



Un altre cas que s'entén molt bé, és un projecte eòlic que tenim a Navarra, que simula exactament en quin punt s'han de posar els molins per obtenir el màxim d'energia possible amb el mínim impacte. Així com també es pot simular on li interessa punxar a una petrolera com Repsol (que costa al voltant de 50 milions de dòlars) que es fa amb ecografies la probabilitat d'èxit de les quals augmenta molt si s'enriqueixen amb simulacions. Gràcies a aquests mètodes Repsol ha pogut passar èpoques molt difícils per la companyia (conseqüència de la caiguda del preu) ja que la seva *performance* encertant on havien de punxar era molt millor que la de la seva competència.

Finalment, un altre exemple que m'agradaria destacar és el d'Aigües de Barcelona; que tenia una enorme despesa en reparació de la seva quilomètrica xarxa d'aigües i es veia incapaç de predir on es produiria la següent averia. Però en canvi, compta amb una xarxa completament censoritzada que produeix un gran volum de dades (pressió de l'aigua, cabdal, contaminants...) amb les quals s'ha dissenyat un sistema d'intel·ligència artificial (entrenat en el Marenostrom) que permet fer manteniment predictiu (sabent on serà més probable que es produeixi una averia).

La competitivitat del BCC és tant gran que som la institució catalana que més inversió en projectes de recerca aconseguim captar de la Comissió Europea. Però vull puntualitzar sobre un projecte que tenim sobre la qüestió del gènere per augmentar les vocacions femenines (que és un drama que vivim en el món de la tecnologia). El projecte, que va destinat a les nenes de les escoles de la ciutat per fer que entenguin que la tecnologia també va amb elles. Un estudi recent de *Everis*, intentava esbrinar en quin moment les nenes decidien que el món de les tecnologies no és per a elles i va resoldre que aquest punt es troba a finals de primària. No es tracta que s'apartin de les matemàtiques o física per una preferència cap a altres àmbits (com la psicologia), sinó que molt dels biaixos que té la societat en gènere les exclou.

A nivell europeu, sobre supercomputació (HPC), nosaltres ens vam crear l'any 2004, el 2006 la xarxa espanyola, el 2009 la xarxa europea i E-HPC.

A nivell mundial, tothom està intentant arribar a la X escala, és a dir, a fer 10^{18} operacions per segon (la nostra màquina en fa com a molt 10^{16} , per tant caldria augmentar per 100 la nostra capacitat). Es tracta d'un objectiu molt simplista però que s'ha marcat perquè es creu que quan hi arribem podrem solucionar certs problemes que avui en dia no podem resoldre.

Els Estats Units, la Xina i el Japó saben quan hi arribaran, amb quin pressupost hi arribaran i amb quina tecnologia hi arribaran. En canvi, Europa fins ara no ho tenia.



A més, existia un altre problema encara més estratègic: si un intenta muntar un supercomputador veurà que és com un puzzle (té varies peces: un processador, un accelerador, la refrigeració...). De totes i cadascuna de les peces es pot trobar un proveïdor europeu competent, excepte de processadors i acceleradors (no hi ha cap companyia amb una IP europea que pugui produir aquests productes amb un grau de competitivitat mundial). I això és un problema evident, perquè si es produeix un veto nord-americà (o xinès o japonès) sobre les exportacions de tecnologia d'última generació a Europa, el vell continent no podrà respondre amb la rapidesa que ha demostrat la Xina.

Un dels reptes que es presenten aquí és que no hi tinguem més un interrogant en aquest sentit i que puguem pintar amb la bandera europea les dues primeres caselles del *ranking* de les supercomputadores més potents del món. Per aconseguir-ho s'ha posat d'acord la Comissió Europea i 25 dels Estats Membres (tots menys el Regne Unit, per raons evidents, Xipre i Malta, perquè la seva mida ho fa inviable), més 3 Estats associats al Espai Europeu d'Investigació (Noruega, Suïssa i Turquia). Això darrer és especialment interessant des d'un punt de vista geopolític perquè Turquia tecnològicament podria mirar cap aquí o cap allà.

Aquest acord, compta amb un pressupost d'aquí a 2021 d'uns 3.000 milions d'euros amb l'objectiu de marcar la carrera fins la X escala i fer possible que hi hagin processadors i acceleradors europeus competitiu. 2021 és una mica més tard que els competidors, però significa que llavors els nostres investigadors i les nostres indústries tindran accés a tecnologia al mateix nivell que a altres països cosa que es importantíssima a nivell de competitivitat científica i industrial és importantíssima.

La guerra, en relació a Barcelona, gira entorn de que ara s'està decidint on s'instal·laran aquestes maquinetes d'aquí al 2021. La nostra candidatura és bastant forta perquè no només té el suport dels nostres patrons (que tenint en compte com està la situació entendreu que no és trivial) sinó que també es té el suport explícit d'altres Estats adherits a la iniciativa (com Portugal, Irlanda, Croàcia i Turquia). El projecte, que té un pressupost global de 225 milions d'euros, compta amb enormes implicacions a nivell d'inversions, atracció de talent, etc...

Sobre el repte de pintar amb la bandera europea les dues primeres caselles del *ranking* de les supercomputadores més potents del món, en el qual també hi som, s'hi afegeix que dins d'aquestes supercomputadores hi hagi (en paraules de la mateixa Comissió) *as much of European technology as it's possible*, fet que beneficia a les nostres indústries.

La conclusió sobre l'àmbit de supercomputació és que Europa ha fet d'Europa, el que la majoria considerava que havia de fer Europa: davant de grans reptes mundials que cap dels Estats Membres



és capaç d'abordar individualment (ni tant sols Alemanya), Europa ha fet una estratègia que ha posat tots els Estats al voltant hi atacar dos reptes que son brutals (construir tecnologia europea pròpia i instal·lar computadors de primer nivell mundial). Jo crec que és una cosa de la que, com a europeus ens en hem de sentir orgullosos. A més, en aquest gran context europeu Barcelona hi juga un rol molt important.

Pel que fa a intel·ligència artificial, la situació és força diferent. Malgrat Europa intenta reunir esforços, els Estats Membres encara cauen en velles temptacions, ho intenten fer sols i no té un paper rellevant. La meua visió no és europeament optimista, tot i que hi ha certes potencialitats que cal explotar.

Finalment, sobre computació quàntica (que és impossible entendre-ho, ni que t'hi dediquis); el principi fonamental és que permet paral·lelitzar, fet molt important perquè en el fons un supercomputador son diversos ordinadors treballant paral·lelament. És com fer un sopar, tu el pots fer en sèrie o en paral·lel. En sèrie seria fer el primer plat, apartar-lo, fer un segon plat i després fer els postres. En canvi, fer-lo en paral·lel seria fer una cosa en cada fogó, però a la vegada. Aquesta segona opció és molt més eficient, i és el que és la supercomputació quàntica.

Això de la quàntica és molt vell i ens ho trobem, per exemple, quan ens anem a fer una ressonància magnètica. El que si que és nou és la computació quàntica, que ha sorgit ara perquè el fet de que experimentalment siguem capaços de fer coses com controlar àtoms individualment ens permet començar a pensar com seria un computador quàntic. A gràcia d'un computador quàntic és que ataca problemes que no son resolubles per un computador clàssic.

Per exemple, en el problema del viatjant (una empresa que té un viatjant que ha de transportar un producte per diferents ciutats passant només un cop per cada ciutat), que normalment resolem calculant tot el numero possible de rutes que hi ha, calculant el temps que s'hi triga en cadascuna, ordenant-ho de menor a major i seleccionant la primera opció; però si hi ha moltes opcions això presenta un problema en la complexitat dels càlculs i en diem NP (no polinomial, no resoluble per un computador clàssic). Per resoldre-ho es podria utilitzar un computador quàntic, que escala aquesta problemes linealment (a conseqüència de components que no venen al cas) a diferencia d'un computador clàssic que els aborda exponencialment.

Per tant, la computació quàntica es basa en la física quàntica, cosa que no significa necessàriament tenir maquines més potents, però si que seran computadors capaços de resoldre problemes que ara amb les computadores clàssiques no podem solucionar.



Això passarà demà, passat demà o d'aquí vint anys, avui en dia ja hi ha companyies que comencen a treballar amb coses reals en aquest sentit. Per exemple *volkswagen* ha iniciat un projecte per intentar esbrinar com un computador quàntic li podria permetre resoldre problemes en el càlcul de rutes en els seus cotxes. Imagineu-vos el gir tecnològic que podria suposar, en relació a la seva competència, que una companyia automobilística comences a utilitzar tecnologia quàntica.

Avui en dia ja hi ha computadors quàntics, n'hi ha que només són una mica quàntics i n'hi ha de quàntics de veritat. Una companyia canadenca ven computadors *quantum inspired*, en té dos un a Zurich i un a Nova York, que realment no tenen bits quàntics entrelaçats però que sí que permet resoldre molts problemes gràcies a que està basat en elements quàntics. O sigui que això no resol problemes reals però ens permet jugar, aprendre a programar una màquina quàntica. No tenim ni sistema operatiu encara, estem creant una nova informàtica per la qual caldrà un sistema operatiu, un nou llenguatge de programació... És tot un món absolutament nou.

En conjunt, això es podria aconseguir en entorn d'alguna dècada. Tanmateix, sembla bastant clar que a casa no tindrem un computador quàntic; perquè el que segurament no passarà en molts anys és que puguem fer servir això a temperatura ambient. Un computador quàntic és un dispositiu que ha de viure a temperatures ultra fredes, a $0,1^{\circ}\text{K}$ (és a dir, dos ordres de magnitud menys que el buit còsmic) que és una temperatura experimentalment molt difícil d'aconseguir. Aquesta és la gran dificultat experimental d'això, però com que se les saben totes, les grans companyies ja comencen a veure que no vendran computadores quàntiques, vendran claus quàntics. És a dir, que tu des del teu laboratori puguis programar un ordinador que evidentment no està on estàs tu sinó en una instal·lació extremadament exòtica, des de la qual et donarà servei. De manera que ull, perquè les següents generacions de supercomputadors les tindrem concentrades en molts pocs llocs del planeta (ja que per tenir-los s'haurà de disposar de refrigeradors que els mantingui a $0,1^{\circ}\text{K}$).

Al Centre de Nova Tecnologia de la Universitat Autònoma, tenim un refrigerador així i estem fent una màquina quàntica. El grup d'en Sergio Valenzuela té un refrigerador que funciona molt bé, l'Institut de Física d'Altes Energies (IFAE) en comprarà un altre amb el que investigarem com fer cúbits que puguin viure a 10mK . Amb el que tenim, són capaços de baixar a 10mK i tenim competència per produir un cúbit (és a dir, un àtom aïllat que en certes condicions ambientals funcional com quelcom que pot ser 0 i 1 a la vegada). Ara el repte tecnològic (al que encara no hi hem arribat, ni nosaltres ni ningú) és tenir dotzenes de cúbits entrelaçats quànticament.



En l'àmbit d'Europa i Barcelona en relació a aquesta qüestió torna a entrar en joc la geopolítica. Torna a ser un tema de tecnologia prioritària, com s'observa en el fet que IBM, hagi decidit (a proposta de l'administració Trump) tancar tota la recerca sobre *hardware* de computació quàntica a Europa doncs aquest en el futur serà un element estratègic. Per això, la carrera per arribar a tenir un computador quàntic a Europa és tant rellevant i, en aquest sentit, tenim moltes potencialitats però encara no hi ha una visió paneuropea per abordar aquesta qüestió. Cal dir, que si algun dia aquesta visió hi és, des de Barcelona podem jugar un paper molt important; som dels poquíssims llocs d'Europa que tenim capacitat no només per fabricar cúbits sinó també de tenir la gent que pugui dissenyar algorismes que els faci funcionar.

De fet, tenim fins i tot empreses locals (com bancs, companyies energètiques, d'assegurances...) que comença a fer recerca amb nosaltres en aquest tipus de camps.

D'una forma breu, el que volia haver tractat avui és entendre com està evolucionant el món de la computació, quin n'és l'impacte per la nostra ciència i per la nostra indústria, pensar quin paper està tenint Europa en les noves revolucions tecnològiques (que, al nostre entendre, està sent molt bo i millor en supercomputació que no pas en el cas de la intel·ligència artificial i la computació quàntica), el paper molt rellevant que juga la nostra ciutat (entenent-la més enllà dels límits municipals) en supercomputació i que pot jugar en intel·ligència artificial i computació quàntica.