

Matemàtiques i indústria: una perspectiva interdisciplinària

«(...) la intensa i desapassionada bellesa d'una gran màquina.»
Rupert Brooke

En un món en el qual la qualitat, i potser fins i tot el futur, de la vida en el planeta dependrà cada vegada més de la tecnologia, les oportunitats perquè els matemàtics afectin el nostre entorn són il·limitades. El món ens ve a demanar consell, i la nostra actitud a donar consell influirà en la cultura de la nostra disciplina, en les recompenses del nostre treball, i en la posició de la nostra professió. Els matemàtics d'arreu el món estan tastant el potencial de les connexions industrials. Aquest breu *survey* pretén donar un xic del flaire d'algunes d'aquestes activitats, tot i fent esment que les iniciatives actuals es distribueixen àmpliament i que un resum no els pot fer justícia. Junt amb les oportunitats tenim riscos, així com una necessitat de lideratge. Aquest assaig s'hauria d'interpretar com a pretext per a premiar justament l'esforç i avaluar els resultats, així com donar alguna pista als nostres col·legues més joves que s'enfronten a noves oportunitats. Les seccions següents copsen la natura de la recerca en el món industrial, les diferents cultures presents en els ambients acadèmics i industrials, algunes comparacions entre països, i els desafiaments a les tradicions acadèmiques actuals.

La naturalesa de la recerca industrial

En un interessant capítol sobre recerca industrial, aparegut en un informe recent del National Academy of Sciences, titulat «Facilitating Interdisciplinary Research» [5], es fa notar que els objectius dels professors, els laboratoris governamentals i els esforços de la recerca industrial difereixen en quant que els primers estan subjectes a la professionalitat acadèmica, els següents a les necessitats nacionals i la tercera a les necessitats del mercat, respectivament. Així doncs, les cultures de recerca queden reflectides, en l'acadèmia, en una conducta individual, manada per la curiositat, i per tant des de baix cap a dalt, mentre que en els laboratoris governamentals i en els industrials la recerca està comandada i dirigida des de

dalt cap a baix. L'experiència dels matemàtics a la indústria no està familiaritzada amb la dels matemàtics acadèmics. Els matemàtics que treballen a la indústria troben que la recerca acadèmica és intimidadora a causa del seu enfocament a l'excel·lència individual i la seva estructura competitiva de reconeixement, mentre que els matemàtics acadèmics troben la cultura a la indústria intimidadora així mateix. Cal reconèixer que les nostres percepcions queden afectades per la nostra cultura.

L'expressió de *matemàtics a la indústria* normalment significa una entre dues coses: el treball de recerca feta pels matemàtics contractats per la indústria o alternativament els esforços de matemàtics acadèmics per participar en projectes provinents de la indústria. Al SIAM Report on Mathematics in Industry [7], fan notar els esforços que els empresaris industrials estan esmerçant en la formació matemàtica dels seus empleats. Els empresaris estan reconeixent les habilitats dels matemàtics a fer abstraccions, analitzar i saber buscar les eines apropiades per resoldre un problema donat. Més i més, els empresaris potencials observen que una educació matemàtica és més que un conjunt de tècniques, i que la satisfacció de trobar solucions a problemes atreu molts estudiants cap a les matemàtiques. Això pot ser un potent motor de millora de la productivitat en el sector industrial.

En el mateix informe del SIAM i també en moltes converses informals, es manifesta l'èmfasi en la importància que, per a un matemàtic que aspiri a una carrera reeixida en la indústria, o per a un acadèmic que aspiri a interaccions industrials reeixides, té el fet de desenvolupar habilitats en la comunicació, i a entendre el valor del treball en equip. El camp de la recerca pròpia sembla menys important que l'habilitat per explicar-ho a una persona no especialista en aquest tema. Els empresaris industrials també cerquen un valor addicional en el coneixement de base o en l'interès a guanyar aquest. No tota la recerca interdisciplinària és

industrial, però tota la recerca industrial és interdisciplinària, i moltes de les consideracions que porten a desenvolupar connexions interdisciplinàries també són aplicables per a aquells que desitgen el contacte amb la indústria, o que animen els seus estudiants en aquesta direcció. L'estudi NAS [5], tot i que no està centrat en els matemàtics, emfatitza alguns dels desafiaments de proporcionar una millor experiència interdisciplinària als estudiants, i adverteix sobre alguns dels riscos que es corren en allargar el període d'estudi de llicenciatura o en retardar la iniciació a la recerca als estudiants.

Encara que hi ha acord general sobre els beneficis de millorar l'habilitat per comunicar-se, els tutors no sempre tenen clar com aconsellar els estudiants respecte de l'amplitud i la profunditat dels coneixements a adquirir. Per als matemàtics empleats a la indústria, als beneficis d'una bona amplitud de coneixements —una varietat més àmplia de problemes i experiències— es contraposa el desavantatge d'una certa pèrdua d'identitat com a matemàtic. Fins i tot, associacions com SIAM i ICIAM, que intenten representar les matemàtiques industrials i aplicades, troben que desproporcionadament pocs matemàtics contractats a la indústria veuen beneficis en l'afiliació en un grup que té com a funció principal produir revistes i conferències d'estil acadèmic. Mentre que es nota que el benefici principal de la comunicació entre acadèmics i professionals del sector industrial se'n va cap al costat acadèmic o industrial, el fet és que aquesta manca de comunicació és un desavantatge global, i més ara quan a la societat se li plantegen els enormes desafiaments tecnològics de què sentim parlar diàriament. Últimament, SIAM ha estat experimentant amb petites conferències deliberadament organitzades de manera que dominin les presentacions pels matemàtics contractats a la indústria; els registres que s'han obtingut de la primera conferència amb aquesta cerca proporcionen una mostra interessant de problemes i perspectives industrials [3].

El Consorci Europeu per a Matemàtics a la Indústria (ECMI) té un paper important en el disseny dels programes de llicenciatura en matemàtiques per a la indústria, implementats cooperativament per tot Europa [2]. El lloc web d'ECMI conté un registre de programes, caracteritzats per la combinació d'anàlisi ma-

temàtica, expertesa computacional incloent-hi l'ús d'eines de programari, i experiència com a becari a la indústria, que pugui servir com a model per a un nou tipus d'educació de llicenciats.



FOTOGRAFIA 1: La recerca en temes de seguretat a General Motors involucra el modelat matemàtic a més a més de la recerca experimental. Les eines de geometria i mecànica són importants aquí. Unes altres parts de l'anàlisi involucren simulació, optimització i visualització. S'espera que un investigador que participi en un projecte com aquest tingui domini en molts dels temes de les matemàtiques clàssiques i aplicades. Cortesia de General Motors Corporation.

Educar estudiants que treballaran a la indústria és fa encara més difícil per la gran varietat de tipus de carrera i camins a la indústria, pel fet que pocs científics industrials es contractin com a «matemàtics» (o fins i tot com a investigadors), i pels canvis en la recerca i el desenvolupament industrials. Als EUA, els laboratoris de recerca industrial com AT&T, Boeing o IBM, que eren la imatge dels matemàtics a la indústria durant més d'una generació, han reduït en gran manera els seus esforços en la recerca bàsica. Naturalment han entrat en el joc algunes empreses noves, com Microsoft. No obstant això, és difícil d'imaginar que una gran universitat tanqui la seva presència de recerca tan ràpidament. Els canvis en la recerca industrial poden reflectir la natura canviant de la indústria: la globalització de fabricació i de les indústries químiques; la consolidació i concentració de la propietat; i l'emergència de campus industrials i mercats nous a l'Europa de l'Est i a l'Àsia. Com a mínim als EUA i el Canadà, no hi ha cap indicació que la indústria estigui responent a la quantificació de la tecnologia con-

tractant un nombre més gran de doctors en matemàtiques que fa cinc o deu anys. El grau de doctor sí que és necessari si un vol anomenar-se *matemàtic* dins la universitat. Potser és que les indústries no senten que aquest grau de recerca sigui desitjable en una educació matemàtica?

La torre de vori i el món real

Hi pot haver una gran distància entre les contribucions més valuoses, fetes fins i tot pels millors matemàtics implicats en recerca industrial i les coses que de fet importen a l'alta direcció de companyies o empreses grans. Seria fatu afirmar que les matemàtiques poden resoldre els problemes de la indústria. Tanmateix, hi ha ara una entesa general en el que molts aspectes de la recerca i el desenvolupament industrials requereixen les matemàtiques en una mesura més o menys gran. La fotografia 1 prové d'un arxiu de General Motors, i mostra una aproximació computacional orientada a la seguretat del conductor. L'editorial de *Business Week* en l'edició del 23 de gener de 2006 es titula «Perquè les matemàtiques sacsejaren el teu món» [1]. Una nova generació d'àrees comercials, com la criptografia, les matemàtiques financeres i la mineria de dades, utilitza camps de les matemàtiques —teoria dels nombres, combinatòria, teoria de probabilitat— no tradicionalment considerades com a part de les matemàtiques aplicades. Aquest fet ha estimulat un respecte nou per les matemàtiques aplicades com a disciplina, i també una estimulació excitant sobre els usos industrials de les matemàtiques en tot l'espectre d'àrees de recerca dins de matemàtiques. James R. Schatz, cap del grup de recerca de matemàtiques a l'Agència de Seguretat Nacional, diu que, «Mai no hi ha hagut un temps millor de ser un matemàtic». A *Unleashing Mathematics* [6] se citen altres exemples d'èxit econòmic atribuït a les matemàtiques: National Grid Transco (Regne Unit) calcula el valor del modelat i la simulació en 400 M€ anuals, mentre que Arjo Wiggins, un fabricant internacional de paper de seguretat, obtenia 15 M€ explotant seqüències de Brujijn en matemàtiques discretes. Però ens preguntem si els matemàtics serveixen el món del comerç i la indústria de manera semblant a com ho fan els administratius i els servidors de missatges en l'entrada de dades. Què necessiten

saber els científics que treballen a la indústria sobre negocis per tal de ser profitosos a l'empresa, i com ho aprendran?

Noves connexions amb la indústria

A molts països s'està popularitzant una manera alternativa d'entrar en contacte amb els problemes industrials. En el passat els científics han perseguit acords de consultoria individuals amb les empreses, però aquests contractes no han tingut gaire impacte a fora de l'experiència immediata del grup participant, perquè els acords de confidencialitat i les prohibicions en publicació normalment formen part de l'acord. Tanmateix, recentment els grups de matemàtics estan reeixint a fer més contactes oberts, a través de grups d'estudi o tallers de problemes industrials. Els noms poden variar, així com els detalls. Un departament o institut de matemàtiques pot endegar un seminari en què investigadors de la indústria, sovint no matemàtics, presenten problemes, i els membres acadèmics de l'audiència seleccionen aspectes d'aquests problemes per treballar, normalment en grup, incloent-hi estudiants, sovint en col·laboració amb el presentador industrial. El concepte de grup d'estudi va començar a Oxford, i s'ha desenvolupat àmpliament a Europa, i va ser seguit als EUA en el Rensselaer Polytechnic Institut, i expandit en un cert nombre de formats diferents per l'Institut per a Matemàtiques i les seves Aplicacions, i per molts altres llocs. Hi ha ara massa exemples per citar-los en aquesta nota curta. S'ha pres l'acord que els treballs es facin oberts, sense confidencialitat, i a qualsevol que contribueixi significativament a la solució se li permet publicar de manera similar com en la recerca acadèmica. S'ha fet popular la preparació de tallers dedicats, d'una setmana de duració, en què l'esforç es concentra al voltant d'un problema particular; els organitzadors de grups d'estudi poden reunir mitja dotzena de problemes i els ofereixen a un grup d'unes trenta a seixanta persones. L'objectiu és produir una solució al final de la setmana. Com passa sovint a la indústria, el resultat no és un producte final, sinó que és el millor que els investigadors poden obtenir amb el condicionant d'un termini fixat.

Aquests exercicis, poden oferir una prova conceptual als directors i enginyers d'indústria

escèptics. A condició que estiguin disposats a usar uns quants dies del seu temps (o del temps del seu personal), poden acabar de copsar de quina manera una anàlisi matemàtica pot col·laborar a resoldre els problemes. La inversió és relativament petita per part de la indústria, i si els resultats són bons, pot portar a col·laboracions contínues, acords d'assessoria, beques per als estudiants, o fins i tot una feina permanent per a un llicenciat en matemàtiques. L'organització d'aquests tallers s'aprèn a base de l'exemple, i alguns departaments de matemàtiques ara els fan habitualment. Si el taller és reeixit, aquestes iniciatives serveixen als grups acadèmics i industrials per obtenir el valuós objectiu de facilitar la proximitat, d'aprendre els uns dels altres els seus mètodes i cultures i per desenvolupar un estil que els permet treballar junts. Aquest tipus d'experiment encara està en fase de desenvolupament, i apareixen qüestions punyents: De quina manera avaluar l'èxit dels tallers o dels grups d'estudi? On és apropiat publicar els resultats? Quin és l'impacte en els estudiants? Quines classes de departaments haurien d'intentar aquests tallers, i cada quan? Alguns departaments troben dificultats a avaluar els esforços dels acadèmics (preocupats per les seves reputacions acadèmiques) mentre que no hi ha un acord general en com atorgar crèdit a la participació en seminaris i tallers. No obstant això, el nombre i la varietat d'aquests tallers continua augmentant, com testifica la llista mantinguda per Oxford [4]. De moment, no hi ha cap norma d'actuació i rendiment que siguin acceptats per tota la comunitat. Així, l'estatus dels tallers industrials s'emmirallen en els seminaris d'ensenyament universitari en departaments intensius en recerca. Encara que aquests tallers poden ser importants, interessants, fins i tot excitants, no són la ruta a un reconeixement nacional o internacional, excepte per a unes quantes «estrelles».

Al Canadà, la xarxa de MITACS té un paper interessant avançant en la causa de les connexions industrials. MITACS (Matemàtiques de les Tecnologies de la Informació i les Estructures Complexes) és una xarxa federal finançada de Centres d'Excel·lència (NCE), amb un pressupost gran i una garantia de finançament de catorze anys sota la subvenció de NCE. Originàriament MITACS es va iniciar amb la missió de fer més empresarials els de-

partaments de matemàtiques, ara opera un xic com un grup d'estudi a escala més gran: les subvencions es donen als equips i grups d'investigadors acadèmics i estudiants, normalment de més d'un departament, que treballen en projectes, o amb socis industrials o amb el propòsit de comercialitzar els resultats d'un projecte de recerca específic. MITACS patrocina un conjunt divers d'activitats, algunes més comercials que altres, de manera similar a com ho fan alguns grups d'estudi o algunes organitzacions de recerca europees, com Fraunhofer-Gesellschaft (que aborda tot tipus d'àrea científica i d'enginyeria, no només les àrees matemàtiques) a Alemanya o l'Institut Smith al Regne Unit. Una innovació de l'enfocament de MITACS és que els projectes són usualment iniciats per investigadors acadèmics. Qualsevol amb una idea sobre com la seva recerca podria tenir ús comercial és convidat a sol·licitar l'ajut. El Canadà, a diferència dels EUA i la majoria dels països europeus occidentals, no té un gran teixit de recerca industrial, i han obtingut una resposta entusiasta després de motivar la recerca acadèmica com a estímul de la recerca industrial. Les reunions d'intercanvi a MITACS, com la il·lustrada en la fotografia 2, típicament atreuen un centenar de pòsters.



FOTOGRAFIA 2: Els participants en una reunió recent d'intercanvi de MITACS es reuneixen al voltant dels pòsters dels estudiants. La part substancial de l'èmfasi en els projectes de MITACS és en la formació dels estudiants perquè entenguin les prioritats dels directors a la indústria quan tenen plantejats problemes desafians. Els estudiants treballen al costat dels acadèmics i els enginyers de la indústria; també participen en tallers que desenvolupen habilitats i tècniques de comunicació i presentació. Cortesia de MITACS.

Comparacions globals

A escala mundial, les relacions entre matemàtiques i indústria són tan diverses com ho són els camps de les matemàtiques i l'abast de les pròpies indústries. El grup regional ECMI [2] està seguint a Europa aquestes relacions. En alguns països la recerca en certs àmbits és realitzada majoritàriament pel sector públic, al contrari del que passa als EUA, que són realitzades per la indústria (p. e. la producció d'electricitat). Més amunt s'ha indicat que l'informe de la National Academy [5], feia distinció entre les indústries, que operaven seguint les pressions del mercat, i els laboratoris governamentals, centrats en necessitats nacionals i socials.

Als diferents països, les tensions entre les forces de mercat i les regulacions governamentals del mercat, que cerquen interessos i objectius socials més amplis, es desenvolupen diferenciadament, com passa per exemple amb les demandes de propietat intel·lectual. En alguns països, les universitats no cal que justifiquin que les seves despeses de recerca tinguin una rellevància social o industrial, mentre que en altres països la recerca bàsica és anecdòtica.

Tanmateix, els departaments acadèmics no han d'oblidar, dins el brogit de la cerca de fer millors connexions amb la indústria, que la seva feina primordial és l'educació d'estudiants en els coneixements fonamentals i en la formació en la recerca bàsica. Mike Lazaridis, president de Research in Motion, creador de BlackBerry, parla vehementment a favor d'impulsar i mantenir les universitats amb un fort component en la recerca fonamental. Adverteix que la valoració de la recerca universitària amb criteris comercials, com el nombre de patents generats, pot ser negativa. En les seves pròpies paraules diu que «El sistema actual funciona». [8].

Conclusions

S'està fomentant les interaccions entre els matemàtics i la indústria en un cert nombre de maneres: preparant estudiants per carreres a la indústria (aquest article no té prou espai per analitzar el nombre creixent de programes màsters professionals en matemàtiques, que és un exemple d'aquesta tendència); atenant les prioritats dels matemàtics que actualment treballen a la indústria; i en desenvolupar vies per a la interacció entre matemàtics

acadèmics i els tècnics (sovint no matemàtics) de la indústria. Els esforços actuals sorgeixen espontàniament de centres d'interès entre individus i grups petits en els departaments de matemàtiques i instituts. Aquests esforços són benvinguts. Mostren el desig dels matemàtics —la gent jove en particular— de participar en la construcció del món en el qual viuen. Aquest entusiasme a fer activitats pràctiques i a comunicar-se amb gent de fora dels departaments acadèmics de matemàtiques pot ajudar a fer canviar el signe actual, de disminució gradual de l'interès en les matemàtiques dels estudiants de grau mitjà, que, als països industrialitzats i a escala mundial, s'estan decantant pels estudis d'empresarials, la medicina i el dret. Tenim bones raons per aplaudir aquestes iniciatives com una bona cosa.

El següent pas, tanmateix, és respondre les preocupacions que es generen davant aquestes noves aventures. Cal sospesar l'encoratjament de la novetat enfront del fet de donar suport continuat per a la missió bàsica dels departaments acadèmics: la recerca fonamental i l'educació de la propera generació d'investigadors matemàtics. Els departaments de matemàtiques, les agències de finançament de la recerca i les indústries han de desenvolupar procediments de mesura de la qualitat de les interaccions entre indústria i universitat, han de determinar-ne el valor i han de compensar els participants. Els incentius financers són sempre atractius, però el prestigi i un sentit compartit d'excel·lència també són necessaris. No ens ha de sorprendre que les diferents cultures universitàries i industrials han fet sorgir diferents maneres d'avaluar i reconèixer els mèrits. Després de tot, aquestes diferències són una de les raons que han portat que la mateixa recerca matemàtica s'hagi desenvolupat diferentment a les universitats i a la indústria. Si es desenvolupa un paradigma nou que reclama que el benefici pugui ser tant per al professor com per a l'empresa industrial, llavors els participants hauran trobat una manera comuna de mostrar la seva vàlua. Serà interessant mirar com tot això es desenvolupa.

Agraïments

Voldria agrair a Chandler Davis, Universitat de Toronto, el fet de suggerir-me escriure aquest article; a James Crowley, director executiu de

SIAM, a Camp de David, de General Motors i a Arvind Gupta, director científic de MITACS, les valuoses discussions que hem mantingut i haver-me proporcionat fotografies i referències.

Referències

- [1] *Business Week*, 23 de gener de 2006.
- [2] *ECMI – European Consortium for Mathematics in Industry*. <http://www.ecmi-indmath.org/>.
- [3] David R. Ferguson; Thomas J. Peters [Ed]. Filadèlfia: SIAM, 2005.
- [4] *Mathematics in Industry Information Service*. <http://www.maths-in-industry.org/past/>. Web mantingut per Oxford Centre for Industrial and Applied Mathematics (OCIAM).
- [5] *Facilitating Interdisciplinary Research*. Washington: National Academies Press, 2005.
- [6] *Unleashing Mathematics*. Informe de la NETIAM project, accessible al web del Smith Institute <http://www.smithinst.ac.uk/Projects/NETIAM>.
- [7] *The SIAM Report on Mathematics in Industry*. Filadèlfia: SIAM, 1998.
- [8] SMITH, M. *Commercialization: the system works*. [Canada: University Affairs] (febrer de 2005).



Barbara Lee Keyfitz és directora del Fields Institute for Mathematical Sciences. També és professora de matemàtiques John i Rebecca Moore a la Universitat de Houston.

Traducció de J. M. Fuertes (UPC) de l'article «Mathematics and industry: an interdisciplinary perspective», publicat a la revista *Madrid Intelligencer* de Springer, 2006. Agraïm a l'autora i a Springer l'autorització per fer aquesta traducció per a la *SCM/Notícies*.

Els matemàtics conquereixen el mercat laboral

L'11 de setembre de 2007, la revista *Expansión* publicava un article sobre les expectatives professionals dels llicenciats en matemàtiques. El reproduïm tot seguit per tal d'animar els nostres estudiants de matemàtiques, presents i futurs (podeu trobar l'original a l'adreça http://www.expansionyempleo.com/edicion/expansionyempleo/empleo/mercado_laboral/es/desarrollo/1034152.html).

Diuen els universitaris que la de matemàtiques és una carrera de fons, amb poques garanties laborals més enllà de la docència. No obstant això, un estudi recent revela que els llicenciats en matemàtiques són uns dels professionals més buscats per les empreses financeres, informàtiques, tecnològiques i científiques. El seu salari pot superar els 50.000 euros anuals.

Vocació, dedicació i constància són tres dels requisits més importants per a superar la carrera de matemàtiques, una titulació que, malgrat la seva alta taxa d'ocupació, compta cada vegada amb menys alumnes en les seves facultats. Només entre els anys 2000 i 2005, el nombre de matriculats en aquests estudis es va reduir en un 43 %.

Entre les noves generacions, la carrera de matemàtiques té fama de ser difícil, llarga i amb una sortida laboral enfocada exclusivament a la docència, la qual cosa obstaculitza la recuperació d'un dels títols que desenvolupen amb més solidesa la capacitat analítica i la lògica del professional.

Molt al contrari de l'opinió generalitzada en les aules, el 95 % dels llicenciats en matemàtiques disposa d'una ocupació dos anys després d'abandonar la universitat i, als cinc anys, l'ocupació laboral d'aquest col·lectiu és gairebé plena. Segons l'informe *Salidas profesionales de los estudios de matemáticas*, elaborat per la Real Sociedad Matemática Española (RSME), el