Omplir tots els detalls, i exposar-los d'una manera ordenada i completa fou un aprenentatge decisiu en aquell moment de la seva carrera [1].

En Xavier Cabré complementa els comentaris anteriors amb la idea que hom es troba amb problemes difícils que probablement només podrà resoldre col·laborant amb altres investigadors, i estima que aquesta consciència té efectes positius en la dinàmica investigadora.

## Elogi dels mèrits del professor Alessio Figalli

Xavier Cabré
Departament Matemàtiques UPC, ICREA

Benvolguts rector, membres del Consell de Direcció, directors i directores de centres de la UPC. Benvolgut professor Figalli.

Em complau moltíssim que, arran de la proposta del degà de la Facultat de Matemàtiques i Estadística, la meva universitat investeixi doctor *honoris causa* Alessio Figalli, no només per la gran rellevància de la figura de Figalli en les matemàtiques, sinó també per la meva relació científica amb ell i per la important tasca de tutor que duu a terme amb diversos exalumnes de la UPC. Avui tinc l'honor de presentar-vos-el i explicar-vos-en breument la trajectòria i les aportacions.

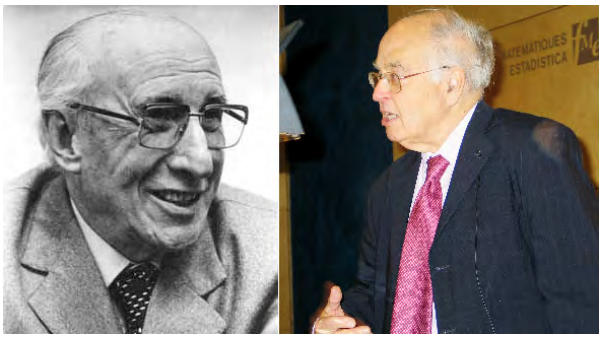
Alessio Figalli és un matemàtic italià de 35 anys. Va néixer a Roma el 1984. Entre el 2002 i el 2006 va estudiar matemàtiques a la Scuola Normale Superiore de Pisa, a Itàlia. Va obtenir el títol de doctor el 2007, amb 23 anys, sota la direcció de dos grans matemàtics: Luigi Ambrosio (Premi Fermat i Premi Balzan), de la Scuola Normale, i Cédric Villani (Medalla Fields), de l'École Normale Supérieure de Lió. La seva àrea de recerca en matemàtiques és l'anàlisi, més concretament les equacions en derivades parcials i el càlcul de variacions. Al final de l'elogi parlaré breument d'aquests temes.

Després del doctorat, Figalli va treballar dos anys a França, a la Universitat de Niça i a l'École Polytechnique. Des del 2009 fins al 2016 va ser professor a la Universitat de Texas, a Austin, que és on ha fet la major part de la seva carrera. Va començar com a professor titular i Harrington Faculty Fellow; més tard el van nomenar catedràtic i va passar a ocupar la càtedra R. L. Moore. Des del 2016 és catedràtic de l'ETH Zürich, a Suïssa.

Ha dirigit unes deu tesis doctorals i ha tutoritzat també uns deu postdocs. És editor de nou revistes de l'àmbit de les matemàtiques i ha publicat prop de 150 articles (una xifra molt elevada per a un matemàtic de la seva edat) amb uns 90 col·laboradors. Hi ha una particularitat de la seva producció científica que admiro molt: el ventall increïblement ampli de temes i àmbits sobre els quals és capaç de publicar al màxim nivell.

El 2012, Figalli va rebre un premi molt important: el Premi de la Societat Matemàtica Europea per a investigadors joves, de màxim 35 anys. El 2018, fa un any, va obtenir el reconeixement més gran del món de les matemàtiques: va guanyar la Medalla Fields, que li va ser lliurada en el marc del Congrés Internacional de Matemàtiques celebrat a Rio de Janeiro. Es tracta de la distinció més alta que pot rebre un matemàtic, juntament amb el Premi Abel, fundat més recentment. Els guanyadors de la Medalla Fields han de ser menors de 40 anys. Figalli la va aconseguir als 34 anys i es va convertir en el segon matemàtic italià d'obtenir-la; el primer va ser Enrico Bombieri el 1974.

Des del segle XV, Itàlia ha aportat diversos dels millors matemàtics del món, entre els quals hi ha Cavalieri, Tartaglia, Torricelli, Riccati, Ricci, Ruffini, Beltrami i Levi, un matemàtic els resultats del qual admiro molt. Com que era jueu, a principis de la dècada del 1930 Beppo Levi va haver d'emigrar i se'n va anar a la ciutat argentina de Rosario, on va entrar en un grup del qual també formava part Lluís Santaló, el matemàtic català més il·lustre de tots els temps. Gràcies a aquell grup, l'Argentina va aconseguir destacar en l'àmbit de les matemàtiques al segle XX. De fet, Santaló ja va rebre l'*honoris causa* per la UPC l'any 1977. Sumant-hi la investidura de Michael Atiyah el 2008, avui celebrem el tercer *honoris causa* de la nostra universitat a un matemàtic.



Lluís Santaló i Sors i Sir Michael Atiyah

Molts dels principals matemàtics italians d'avui dia, com Figalli, s'han format a la Scuola Normale Superiore de Pisa. Això demostra la gran importància de tenir institucions centrades en l'excel·lència i compromeses amb els estudiants destacats, un sistema molt arrelat en països com França o els Estats Units,

entre d'altres, però poc a Espanya. En aquest sentit, la Facultat de Matemàtiques i Estadística (FME) i el Centre de Formació Interdisciplinària Superior (CFIS) de la UPC poden afirmar amb orgull que han format alguns dels millors joves matemàtics de l'Estat de les darreres dècades. Tanmateix, penso que, si aquest país vol aconseguir una Medalla Fields algun dia, caldrà centrar-se bastant més en els estudiants destacats, començant des del grau.

En els darrers anys, diversos estudiants de la FME han guanyat el Premi José Luis Rubio de Francia de la Reial Societat Matemàtica Espanyola. Aquest premi es concedeix anualment a joves matemàtics que treballin a l'Estat; sens dubte, és un dels premis més importants en l'àmbit de les matemàtiques a Espanya. Entre els guardonats hi trobem Xavier Ros-Oton i Joaquim Serra, ambdós llicenciats i doctorats per la UPC. D'aquest èxit també n'és responsable Alessio Figalli, que ha tutoritzat Ros-Oton i Serra com a postdocs a Austin (Texas) i Zuric, cosa que ha tingut un gran impacte en el seu creixement com a matemàtics professionals. Tots tres (Figalli, Ros-Oton i Serra) ara viuen a Zuric i treballen plegats amb molta intensitat. A part de tot el que ja han produït en treballs conjunts, sé que aviat rebrem més grans novetats científiques per part seva.

Xavier Fernández-Real és un altre molt bon estudiant que es va graduar a la UPC. Es va traslladar a Austin per fer el doctorat sota la direcció de Figalli i ara l'està completant a Zuric. Fernández-Real ja té vuit articles de recerca publicats i hauria pogut acabar el doctorat, però no és fàcil renunciar a tot el que es pot aprendre sota la direcció d'Alessio Figalli. És un motiu de satisfacció que Fernández-Real passarà a ampliar la llista de grans matemàtics graduats a la UPC. Per tot plegat: gràcies, Alessio! Sens dubte, tot això tindrà un efecte considerable en el futur de les matemàtiques catalanes.

Permeteu-me ara que us expliqui el primer contacte que vaig tenir amb Figalli. Té relació amb Ennio de Giorgi (1928-1996), professor de la Scuola Normale i un dels matemàtics més importants del segle XX. Després de doctorar-me, vaig començar a treballar en una famosa conjectura de De Giorgi. Una conjectura és un enunciat que alguns matemàtics consideren que és veritat. Tanmateix, fins que no se'n troba una demostració matemàtica completa, l'enunciat podria ser fals. El 1995, mentre mirava de demostrar una conjectura de De Giorgi, vaig tenir l'oportunitat de passar tres mesos com a postdoc de la Unió Europea a la Scuola Normale i conèixer personalment De Giorgi. Aleshores jo només tenia 29 anys i vaig quedar impressionat. El fet de conèixer-lo va refermar la meva voluntat de resoldre la conjectura. Vaig començar a treballar-hi amb Luigi Ambrosio, antic alumne de De Giorgi i futur director de tesi de Figalli. Quatre anys després, el 1999, Ambrosio i jo vam poder resoldre una part de la conjectura. El nostre article es va convertir en un dels temes principals de la *tesi di laurea* de Figalli, el seu treball de fi de grau. Recordo haver rebut diversos correus electrònics d'un cert estudiant anomenat Alessio Figalli. Aquells correus demostraven molta maduresa. Em va impressionar quan va assenyalar que al nostre article hi havia una afirmació matemàtica que calia justificar més. Era un punt molt subtil, difícil de detectar per a un estudiant. Vam estar contents quan vam veure que l'afirmació es podia justificar de manera ràpida i precisa.

Ara us n'explicaré una altra de més recent, que a mi em sembla una història molt maca. Després d'aquells tres mesos a Pisa el 1995, me'n vaig anar a París a fer un altre postdoc. Vaig treballar amb un important matemàtic francès, Haïm Brezis, que, en aquella època, estava molt interessat en un problema que em va cridar l'atenció. El problema va resultar molt difícil de resoldre i es va convertir en una conjectura; podríem dir-ne la "conjectura de Brezis". Des de llavors hi he treballat i he publicat diverses respostes parcials. El 2013 vaig fer un avenç important, però encara no acabava de resoldre la conjectura completament. Fa tres anys vaig anar a Zuric i vaig explicar la conjectura i els meus progressos a Alessio Figalli. Va quedar captivat per la bellesa del problema i hi vam treballar junts de manera intensa durant una setmana. Tot i així, no vam aconseguir resoldre-la. Posteriorment, vaig discutir el problema amb diversos especialistes destacats en institucions de primera categoria, novament sense èxit. Fa un any vaig tornar a Zuric per assistir a un gran congrés que Alessio Figalli, Joaquim Serra i Xavier Ros-Oton organitzaven a l'ETH. Els vaig demanar que ens reuníssim a l'ETH, aquesta vegada tots quatre junts, per fer un nou intent de resoldre-la. Al cap de tres dies, vam aconseguir demostrar-la. Si no fos per ells, encara no estaria resolta. I per aquest motiu els vull donar les gràcies a tots. El juliol passat vam acabar d'escriure un article molt maco signat per tots quatre, que per a mi representa la culminació de 23 anys de treball en la resolució del problema.

Arran de tot plegat, he tingut el privilegi de fer matemàtiques amb l'Alessio Figalli intensament durant el darrer any i de conèixer-lo millor, matemàticament. Té totes les aptituds que necessita un matemàtic: curiositat, profunditat, sentit de la bellesa, habilitats tècniques, ambició, optimisme i constància. Diverses vegades m'ha sorprès com de lluny pot arribar, amb quina profunditat i amb quina velocitat, partint d'una bona idea. També té una altra virtut molt útil: la mesura justa de pragmatisme, d'eficiència. Això em recorda una cosa que vaig llegir (quan va guanyar la Medalla Fields)

de la seva infantesa: primer de tot feia tots els deures; així evitava renys parentals i, a més, podia disfrutar completament de jugar amb els altres nens. D'això se'n diu eficiència. Fer matemàtiques amb ell és un plaer: no pares d'aprendre i aprendre. Alhora, és una persona senzilla, agradable, amable i transparent. Fa que les coses siguin fàcils, sense complicacions.

El professor Figalli ja ens explicarà, d'aquí a una estona, alguns detalls del seu àmbit de recerca. Per tant, seré breu, però no volia deixar de dir-ne quatre paraules. En primer lloc, hauríem de tenir en compte que gairebé totes les qüestions científiques i tecnològiques de la vida moderna tenen una part de matemàtiques darrere seu. En segon lloc, molt sovint encara ara aquestes matemàtiques no són gens trivials o, simplement, encara no estan desenvolupades i pot ser que passin pel cap baix algunes dècades fins que no ho estiguin, fins que no les entenguem. Això vol la feina dels matemàtics per si mateixos, però també en col·laboració amb físics, enginyers, químics, etc. A més d'aquestes disciplines (tradicionalment més vinculades a les matemàtiques), d'altres com la biologia, la sociologia, la inversió financera, el *big data* i el web, entre d'altres, també demanen més matemàtiques noves. És a dir que tenim molta feina, i n'estem contents.

L'àmbit de recerca d'Alessio Figalli són les equacions en derivades parcials, que tradicionalment s'anomenen les "equacions de la física matemàtica". Les més famoses són: l'equació de la calor (penseu en un reactor o un glaçó que es fon a dins de l'aigua), l'equació d'ones (penseu en un auditori, una xarxa wifi o un estudi per saber mitjançant ones si hi ha petroli sota terra) i les equacions de fluids (penseu en els corrents oceànics o la predicció del temps). Normalment és impossible escriure la solució exacta d'aquestes equacions per a un cos o una situació concrets. Per tant, és vital conèixer les propietats essencials (qualitativament i quantitativament) de les solucions. En les equacions en derivades parcials, això demana l'ús de moltes eines matemàtiques sofisticades. Només una vegada enteses aquestes propietats essencials podrem calcular les solucions en situacions concretes mitjançant mètodes numèrics, amb l'ajuda d'ordinadors.

Penseu que sovint calen més de tres variables per descriure objectes tridimensionals. Per exemple, les equacions de Newton per descriure el moviment d'un planeta impliquen sis dimensions (tres posicions i tres velocitats) més el temps. La conjectura de Brezis que vam solucionar conjuntament l'any passat afirmava que, fins a nou dimensions, les solucions observables i estacionàries de certes equacions de la calor són sempre regulars, és a dir, no tenen singularitats i, per tant, són més fàcils de calcular. Des del 1975 sabíem que això no era cert en deu dimensions o més; d'això en fa 44 anys.

La citació pel Premi Fields del 2018 d'Alessio Figalli diu: "Per les contribucions a la teoria del transport òptim i les seves aplicacions en equacions en derivades parcials, geometria mètrica i probabilitat". I és que Figalli va descobrir que la teoria del transport òptim té moltíssimes aplicacions en fenòmens que suposadament no hi estan relacionats, com ara algunes equacions de la física matemàtica: per exemple, per modelar pantalles de cristall líquid. Ell mateix ens explicarà què és el transport òptim, o distribució òptima de recursos, tal com va formalitzar el matemàtic francès Gaspard Monge el 1781. Permeteu-me presentar el tema amb un exemple: posem que tinc, d'una banda, un clot enorme al jardí i, de l'altra, una pila de terra amb la quantitat exacta que necessitem per omplir el forat. Hauré de triar quines parts de terra hauré de moure a quines parts del clot, sabent que serà una tasca física esgotadora i que no vull acabar molt cansat després de tot el dia al jardí. Podria mirar d'estalviar energia al començament movent els trossos de terra de més a prop del clot a la part del clot de més a prop de la pila de terra. Però, si ho faig així, més tard em costarà molt més perquè em tocarà moure la terra de més lluny a les parts del clot més allunyades. El problema, per tant, és: quina és la manera més econòmica de transportar la terra, és a dir, quina part de terra s'ha de portar a quina part del clot per tal de minimitzar l'esforç total? Resulta que es tracta d'un problema matemàtic extremadament complex que va costar diversos segles d'entendre. Tot just fa uns quants anys que es va acabar d'entendre i resoldre completament.

Permeteu-me que esmenti tres de les contribucions més rellevants d'Alessio Figalli. La primera és sobre la regularitat dels mapes de transport. Figalli i Guido De Philippis (*Inventiones Mathematicae*, 2013) van obtenir un resultat formidable per a una qüestió que continuava oberta des de les contribucions fonamentals de Luis Caffarelli als anys noranta. El nou resultat estableix la regularitat per a l'equació de Monge-Ampère (que està al darrere de l'aplicació de transport òptim) quan el terme a la dreta de l'equació és només mesurable. Una segona contribució molt innovadora està relacionada amb la teoria dels problemes de fronteres lliures; en el cas del glaçó que es fon a dins de l'aigua, ens preguntem com n'és, de regular, la superfície de contacte entre el gel i l'aigua, que evoluciona amb el temps. En un article de Figalli, escrit en col·laboració amb Joaquim Serra (*Inventiones Mathematicae*, 2019), es fa un avanç formidable, que suposa una millora substancial dels resultats fonamentals de Caffarelli dels anys vuitanta. Un tercer àmbit en què les aportacions de Figalli són bàsiques, des del 2009, es refereix als problemes d'estabilitat en les desigualtats geomètriques. Des de l'antiga Grècia, sabem que de les regions del pla

amb el mateix perímetre el disc o cercle és el que té més superfície. Les versions quantitatves d'aquest fet són de gran interès. Podem voler esbrinar la semblança d'una regió respecte d'un disc, sabent que la relació entre el perímetre i la superfície és molt semblant a la relació òptima que es dona en els discos. En aquest tema tan fonamental, els resultats de Figalli són nombrosos i representen una autèntica revolució.

Permeteu-me encara afegir, entre d'altres, les seves contribucions a la teoria espectral de matrius aleatòries mitjançant tècniques de transport òptim, així com a la teoria KAM en sistemes hamiltonians, un tema que interessa al grup de Sistemes Dinàmics de la UPC.

Finalment, moltes gràcies al professor Figalli per haver acceptat el grau de doctor *honoris causa* de la UPC. És un honor per a la nostra universitat. Agraeixo la vostra atenció i espero que gaudiu d'aquesta cerimònia tant com jo.

Acte d'investidura: rector, Figalli i Cabré; Figalli en un instant de la seva lliçó doctoral

## Lliçó doctoral

Alessio Figalli
Investigador a l'ETH Zürich

Benvolguts rector i membres del Consell de Direcció, benvolguts membres del PDI, l'estudiantat i el PAS, senyores i senyors,

És un gran honor per a mi rebre el títol de doctor *honoris causa* de la Universitat Politècnica de Catalunya.

A més de l'honor que representa haver estat investit doctor *honoris causa* per una universitat tan prestigiosa com la UPC, diversos matemàtics d'aquesta universitat han tingut —i encara tenen— un paper molt important a la meva carrera, i això fa que aquesta distinció sigui encara més especial per a mi.

M'agradaria començar amb una petita història. El 2004, mentre encara estudiava a Pisa, em tocava escriure el treball de fi de grau i el vaig acabar fent sobre un problema que s'anomena "conjectura de De Giorgi". De Giorgi era un matemàtic italià molt famós, dels millors matemàtics del segle passat, i era especialment famós no només pels seus resultats matemàtics, sinó també per la seva gran intuïció, una intuïció que el va portar a postular moltes conjectures. Va conjecturar resultats matemàtics que considerava veritables i la comunitat ha passat anys i panys mirant de demostrar-los.

El 1978, De Giorgi va exposar una famosa conjectura relacionada amb dos temes molt importants de les matemàtiques. D'una banda, les superfícies mínimes, que són superfícies que minimitzen la seva àrea. Tenim l'exemple de la pel·lícula de sabó que queda emmarcada en l'estructura d'un filferro. És una superfície mínima, és a dir, una superfície que té l'àrea més petita possible entre totes les superfícies delimitades per una determinada corba. De l'altra, les equacions en derivades parcials (EDP). Les EDP són un camp molt important de les matemàtiques que apareix en física, química, biologia i d'altres. Pràcticament tots els fenòmens físics es descriuen amb EDP.

La conjectura de De Giorgi actualment encara continua oberta. Tanmateix, s'han trobat resultats fonamentals rellevants que han respost la conjectura de De Giorgi en una sèrie de casos importants.