desenvolupaments d'una àrea activa en recerca en la qual el concursant hagi contribuït d'una manera important. La monografia ha de ser original, inèdita i no sotmesa prèviament a cap compromís d'edició. La dotació del premi és de quinze mil euros i la monografia guanyadora serà publicada en la sèrie «Progress in Mathematics» de l'editorial Birkhäuser. El termini d'admissió de candidatures es tancarà el 30 de novembre de 2018.

Altres premis, beques i reconeixements

- El divendres 11 de maig de 2018 es va resoldre la 15a edició del **premi Poincaré** en l'acte de lliurament de premis, celebrat a la sala d'actes de la Facultat de Matemàtiques de la UPC. Els treballs guanyadors van ser:
  - Primer premi: «La funció factorial: divisibilitat de coeficients binomials i convergència de sèries P-àdiques» de **Silvia Casacuberta Puig**, Aula Escola Europea, Barcelona.
  - Segon premi: «Anàlisi matemàtica del sistema dinàmic consistent a aplicar el mètode de Newton a la funció sinus» de **Mariona Sánchez Alcazar**, La Salle Montcada, Montcada i Reixac.
  - Tercer premi: «Sobre la resolució de les equacions algebraiques» de **David Arribas Viera**, INS Santa Eugènia, Girona.
- S'ha atorgat per primera vegada el premi Collectanea Mathematica Best Prize. Aquest premi es concedeix anualment al millor treball publicat en la revista *Collectanea Mathematica*. El guanyador d'aquesta primera edició ha estat el professor **K. Li** pel seu article «Two weight inequalities for bilinear forms». *Collect. Math.* 68 (2017), 129–144. El premi és de dos mil euros i una placa commemorativa. L'entrega del premi es farà el proper 3 d'octubre durant l'acte d'inauguració del curs de la UB. El comitè de selecció estava format per Loukas Grafakos, Craig Huneke, Rosa M. Miró-Roig, Jordi Pau i Josep Vives.

Contribucions

Catalunya i la lògica borrosa

Enric Trillas
Universitat d'Oviedo

L'anomenada *lògica borrosa* (*Fuzzy Logic* en anglès), va començar amb l'article «Fuzzy Sets» (Conjunts borrosos) que Lotfi A. Zadeh (1921–2017), catedràtic de la Universitat de Califòrnia a Berkeley, publicà el 1965. En aquest article, que és un dels més citats del segle XX, Zadeh va presentar la idea de dotar les paraules imprecises, molt abundants en el llenguatge ordinari, d'extensió a través de representar-les matemàticament per una funció que, si la paraula fos precisa, seria la funció característica del subconjunt que, segons l'axioma d'especificació de la teoria de conjunts «clàssics», la representa a l'univers del discurs. Zadeh, enginyer apassionat per la matemàtica i una de les ments creadores més rellevants del segle XX (abans introduí la transformada-z per analitzar senyals discrets), obrí la porta a representar més expressions lingüístiques que aquelles permeses per les àlgebres de Boole; quelcom necessari, fent servir les paraules de Zadeh, per poder arribar a construir «màquines que pensin com la gent». Un dels primers èxits de la lògica borrosa arribà l'any 1975 i de la mà d'Ebrahim (Abe) Mamdani (1942–2010), aleshores catedràtic al Queen's College i després a l'Imperial College de Londres, gràcies a l'anomenat *control borrós* de màquines el com-

portament de les quals és descrit mitjançant un sistema de regles imprecises; avui és una metodologia usual en el món industrial de, per exemple, trens i automòbils.

Convé explicar, encara que sigui breument, què és un «conjunt» borrós i què és una funció de pertinença a un d'ells. Una cosa que cal dir d'entrada és que un conjunt borrós no és, pròpiament, un ens matemàtic, sinó un ens lingüístic; el que és un ens matemàtic és una funció de pertinença. La teoria dels conjunts borrosos és una col·lecció de models matemàtics que intenten representar aquests «conjunts» i les operacions amb ells, de manera que continguin el cas particular en el qual la paraula que determina el conjunt borrós sigui precisa i, per tant, es tracti d'un veritable conjunt. Si un conjunt borrós especificat per una paraula imprecisa no és un conjunt, què és? Quan una paraula imprecisa com és *jove* s'aplica a un univers prou gran com és, per exemple, el conjunt de la gent empadronada a Nova York, ens permet parlar dels «joves novaiorquesos», un ens que no és un conjunt (com és fàcil de provar amb un argument de tipus «sorites»), però que conté subconjunts com ara el dels «novaiorquesos menors de 23 anys»; és un concepte que, ben arrelat al llenguatge, tothom fa servir sense dubtes; no és sinó, podríem dir, un col·lectiu lingüístic. Les paraules precises especifiquen conjunts i les imprecises col·lectius lingüístics, els quals degeneren a conjunts si la paraula és precisa. El col·lectiu lingüístic especificat per una paraula és un «ens nuvolós», que també s'anomena *conjunt borrós*, i la descripció de la qual prové del significat de la paraula en l'univers del discurs al qual s'aplica; *jove*, per exemple, pot especificar un conjunt si s'aplica a un univers amb només quatre membres. Els conjunts borrosos, per tant, són entitats empíriques que s'estudien matemàticament gràcies a una «teoria» que parteix de mesurar el significat de la paraula que els genera i que s'acostuma a anomenar l'etiqueta lingüística del conjunt borrós. El significat d'una paraula P a un univers del discurs X, es pot representar matemàticament? És quelcom que, necessàriament, cal fer amb els enunciats elementals «x és P» amb $x \in X$, que permeten veure com varia al llarg de X allò que significa P i la qual cosa no passa pròpiament amb les paraules precises; per exemple, 7 i 17 són igualment primers, però si l'edat de John és 7 anys i la de Mary és 17, aleshores John és més jove que Mary. Els enunciats elementals permeten observar la relació «menys P que» i la seva inversa «més P que»; amb el símbol $<_p$ (John $<$ jove Mary) apareix el graf $(X, <_p)$ que representa el significat qualitatiu de P a X i que, usualment i en el llenguatge, es coneix empíricament. Noteu que en l'exemple dels nombres primers és $7 <_{primer} 17$, però també $17 <_{primer} 7$, o sigui, és $7 =_{primer} 17$, la relació $=_p$ («igual P que») és la intersecció de les relacions $<_p$ i $<_{p-1}$, l'una inversa de l'altra. Si P és precisa el seu significat qualitatiu és el graf minimal $(X, =_p)$. El concepte que anomena una paraula P és «metafísic» a X si és $<_p = \emptyset$; en cas contrari és «mesurable» ja que aleshores és possible mesurar el significat qualitatiu, saber fins on cada x verifica la propietat anomenada per P, fins a on x és P, donar extensionalitat a P. Per exemple, amb $P =$ gran a $X = [0, 10]$, òbviament és $<_{gran} = \leq$ l'ordre lineal de la recta real, que és un ordre total; en general, però, $<_p$ només gaudeix de la propietat reflexiva i hi ha parells d'elements x, y de X que no són comparables amb $<_p$, no és ni $x < P$ y, ni és $y < P\,x$. El que poden existir són elements maximals (z tals que no hi ha cap $<_{p-1} z$), o minimals (z tals que no hi ha cap $x <_p z$); així a l'exemple de «gran» només hi ha un maximal, el màxim 10, i un minimal, el mínim 0. Els maximals són prototípics de P i els minimals són anti-prototípics.

Aleshores, una mesura és una aplicació $m_p \colon X \to [0, 1]$ verificant les tres propietats: 1) $x < y \Rightarrow m_p(x) \leq m_p(y)$; 2) Si z és maximal, $m_p(z) = 1$; 3) Si z és minimal, $m_p(z) = 0$. Cal notar que, en general, aquestes tres propietats no individuen una mesura única sinó famílies d'elles; per exemple, en el cas de «gran» les mesures són totes les funcions creixents tals que $m_{gran}(0) = 0$ i $m_{gran}(10) = 1$, que només individuen una única mesura si s'afegeix la condició que sigui lineal. En general, cal conèixer més condicions que o bé vinguin facilitades pel context en el qual s'usa P a X, o per hipòtesis raonables sobre aquest ús; cal dissenyar la mesura. Cada tripleta $(X, <_p, m_p)$ és un «estat» del significat de P a X, i les mesures m_p són les «funcions de pertinença» en el conjunt borrós especificat pel significat qualitatiu.

Està clar que el significat és alhora depenent del context i del propòsit d'ús de P a X i cal notar que si, com és usual a la pràctica, P només es coneix per una mesura, la relació $<_p$ no coincideix, en general, amb la relació d'ordre parcial definida per la mesura mitjançant la definició $x <_m Py \Leftrightarrow m_p(x) \leq m_p(y)$, que és més ample que $<_p$, en virtut de la propietat 1 de m_p. La mesura pot fer semblar que augmenta el significat qualitatiu de la paraula; podríem dir que mesurar allarga el significat. D'altra banda, com que $x =_p y \Rightarrow m_p(x) \leq m_p(y) \& m_p(y) \leq m_p(x)$, és $m_p(x) = m_p(y)$, amb la qual cosa i si P és precisa, la mesura només pot prendre els valors 0 i 1, és a dir, és la funció característica del subconjunt clàssic de X especificat per P.

Els conjunts borrosos a Catalunya

A Catalunya la lògica borrosa va entrar-hi casualment a l'estiu del 1975, un temps en el qual per saber què passava calia llegir diaris estrangers. Un diari francès publicà una entrevista amb el professor Arnold Kaufmann arran de l'aparició del seu llibre *Ensembles flous*; m'ho va ensenyar l'aleshores jove estudiant de matemàtiques Jordi Casabó i, en llegir-lo, la meva curiositat va despertar-se ja que, estudiós de l'obra del gran matemàtic Karl Menger, coneixia un seu article de 1951 titulat «Ensembles flous et fonctions aléatoires», publicat en els *Comptes Rendus* de l'Acadèmia de Ciències de Paris. Un «ensemble flou» de Menger («hazy set» en anglès) és el núvol de punts amb probabilitat positiva de pertànyer a un conjunt clàssic donat. El llibre de Kaufmann no em va satisfer, però el concepte «ensemble flou» de què parlava, va intrigar-me i, sobretot, pel fet que no coincidia amb el de Menger. Vaig buscar el treball original de Zadeh, i el vaig demanar a la British Library, i la seva lectura em va fer adonar que el nou concepte no era probabilístic i tenia a veure amb el llenguatge i el raonament ordinaris; em va semblar un camp nou en el qual encara hi treballava poca gent. Vaig adonar-me que hi ha coses incertes que no són aleatòries. Era una oportunitat d'encetar un tema que els lògics matemàtics havien deixat de banda; la imprecisió no era considerada i la incertesa només era vista a través de la probabilitat, però sota la capa del cel hi havia més coses per a les quals i, per exemple, la llei additiva no era formulable de manera òbvia. Ben aviat s'hi van acostar joves investigadors, com aleshores foren Claudi Alsina, Teresa Riera, Xavier Domingo, Antonio Millán, Llorenç Valverde i, gràcies a uns cursets d'iniciació a la recerca que fèiem a la Universitat Politècnica de Barcelona, també s'hi va presentar Miguel Delgado de la Universitat de Granada. El nucli de Barcelona i el que sorgí a Granada al voltant de Miguel Delgado van ser essencials perquè la recerca en lògica borrosa s'escampés per tot Espanya i, sobretot, a partir dels congressos catalans de lògica organitzats a Barcelona els darrers anys setanta i primers vuitanta del segle passat.

A més, va haver-hi un fet que va permetre que aquestes investigacions es poguessin fer lligades, des del començament, amb gent de tot el món. Fou la primera conferència mundial de «Matemàtiques al servei de l'home» que, juntament amb Antoni Ballester i David Cardús, vaig organitzar a Barcelona el juliol del 1977 i a la qual, a més de participar-hi gent de molts països, vam poder convidar alguns investigadors importants d'aleshores, com ara Lotfi Zadeh, Lluís Santaló, Joseph Kampé de Fériet, Heinz Skala, Settimo Termini, etc. L'any següent, Lluís Santaló va rebre el doctorat *honoris causa* de la Universitat Politècnica de Catalunya, pel qual vaig tenir l'honor d'apadrinar-lo i que va ser el primer que a Barcelona es va fer íntegrament en català amb la interpretació de *Els segadors* i de l'himne argentí. Aquell congrés fou una gran oportunitat que va fer néixer, a Itàlia, el nom d'escola de Barcelona pel grup de gent que a la seva Universitat Politècnica treballàvem en la lògica borrosa. En particular, s'inicià una amistat entre Zadeh i jo que es va mantenir constantment i fidel fins la seva mort als 96 anys, el 6 de setembre de 2017. Zadeh va viatjar a Espanya un gran nombre de vegades i la comunitat espanyola de lògica borrosa li deu molt; el seu darrer viatge fou el 2014 quan, amb més de 93 anys i ja força malalt, va anar a Madrid a rebre un dels premis Fronteras del Conocimiento de la Fundació BBVA, al jurat del qual hi havia Ramon López de Mántaras mentre jo era entre els qui vam proposar el candidat. Entremig fou investit doctor *honoris causa* per les universitats d'Oviedo, Granada i Politècnica de Madrid. Guardonat amb multitud de premis internacionals i trenta tres doctorats *honoris*

causa, Zadeh figura en el Hall of Fame del Silicon Valley.

El nucli català inicial, al qual ben aviat es van afegir Francesc Esteva, Ramon López de Mántaras, Pere Garcia i Lluís Godó, ha estat essencial perquè Espanya hagi arribat a ocupar un lloc important a tot el món (que ha variat entre el tercer i el cinquè) en publicacions internacionals de lògica borrosa. Fins i tot, l'European Society for Fuzzy Logic and Technologies, de la qual Francesc Esteva fou el primer president, es va crear substituint a l'antiga Sociedad Española de Lógica y Tecnología Borrosa».

Uns dels primers «sistemes experts» amb tècniques borroses van ser els basats en el «nucli inferencial» anomenat per l'acrònim *Milord* (motor d'inferència lògica de raonament difús) que, útil per tal de raonar computacionalment amb sistemes de regles imprecises, fou desenvolupat per un equip d'investigadors catalans dirigit per López de Mántaras i que s'ha aplicat a problemes diversos com és, per exemple, el diagnòstic de la pneumònia. Llàstima que, com en tants altres aspectes, les nostres indústries no hagin aprofitat l'empenta teòrica com ha passat a altres països.

D'altra banda, els intents de relligar la recerca universitària amb la indústria, com si la universitat pogués anar de la teoria a la producció i als mercats, amb una indústria sense grans unitats de recerca i innovació, és una estratègia que decanta la recerca universitària cap a objectius massa fugissers i limita fortament la contractació de doctors en la indústria. La universitat ha de treballar, en paraules de Jean Dieudonné, per l'honor de l'esperit humà i prou. Crec que, bàsicament, és allò que els catalans que hem treballat en el camp de la lògica borrosa hem intentat fer.

Avui dia, els investigadors espanyols de la lògica borrosa i del *soft computing*, una hibridació de metodologies computacionals que ha permès abordar problemes tecnològics complexos en els quals la imprecisió i la incertesa són crucials i que uneix les tècniques borroses amb els algorismes genètics, les xarxes neuronals artificials i els mètodes probabilístics, treballen juntament amb investigadors d'arreu del món. Entre ells, la feina dels que ho fan a Catalunya és important i, si cal destacar l'investigador teòric català amb més fama internacional, citaria Lluís Godó de l'Institut d'Investigació en Intel·ligència Artificial del CSIC, al campus universitari de Bellaterra que ara dirigeix Ramon López de Mántaras i que, durant molts anys, va dirigir Francesc Esteva qui, ja emèrit, ha treballat i ho segueix fent juntament amb Lluís Godó. Si cal destacar-ne un de més aplicat que no purament teòric, tornaria a Ramon López de Mántaras i, per exemple, pels seus fructífers intents d'afegir expressivitat a la música sintetitzada per ordinador.

Personalment, crec que puc estar content per haver ajudat a despertar l'interès per la lògica borrosa primer a Catalunya i després a Espanya. Haver treballat, abans de fer-ho en la lògica borrosa, en el camp dels espais mètrics probabilístics de Menger i Schweizer, em va permetre introduir en el camp *fuzzy* les t-normes i les t-conormes amb les quals, en més de setanta articles publicats juntament amb Claudi Alsina , la majoria dels quals en congressos i revistes internacionals, vam poder estudiar una notable quantitat de propietats lògiques que els conjunts borrosos verifiquen en àlgebres que vam trobar gràcies a haver après, també estudiant aquells espais, a resoldre equacions funcionals i alguna de les quals fou d'un tipus nou. Uns treballs dels quals primer es va derivar l'estudi de la idea d'indistingibilitat i, molt després, el del conjectural raonament ordinari o de sentit comú; més endavant, em van obrir la porta cap a l'anàlisi formal del «fenomen natural» de la creativitat.

Tot i els reconeguts èxits internacionals dels seus investigadors, la lògica i les tècniques borroses no han estat mai línies prioritàries de recerca a cap lloc d'Espanya llevat, potser, d'Euskadi; en particular, diguem-ho així, «l'escola catalana», no s'ha beneficiat mai d'un suport especial per part dels governs de Catalunya. Encara que mai hagi faltat un finançament ordinari i fins i tot s'hagi comptat amb diners dels programes marc de la UE, ha estat una llàstima; sobretot perquè la transversalitat de les tecnologies borroses i el *soft computing* permeten llur aplicació a camps molt diferents.