

Lotfi A. Zadeh (1921), creador de la teoria dels conjunts difusos
(fuzzy set theory)

Lotfi Zadeh, iranià establert a Califòrnia, d'autèntic nom —sembla— Lotfi Fatollazadeh (que en persa vol dir “el fill amable de Fatol·là”), és un personatge de rostre hieràtic i somriure escadusser i tímid. Porta un vestit compost d'una americana i uns pantalons, peces que en Zadeh

són sempre espectaculars i llampanants de disseny. Magre de constitució, és més aviat alt i parla amb veu vacil·lant i esquerdada en un flux aparentment continu només trencat per èmfasis ocasionals. Home educadíssim, es desfà en amabilitats mentre es frega les mans

en un gest seu ben característic. Quan comencem l'entrevista s'estima més seure en un puf amb l'esquena contra la paret i adopta, potser involuntàriament, un posat litúrgic que recorda visiblement la imatge tòpica de l'home oriental en plena meditació (tot i que Zadeh,

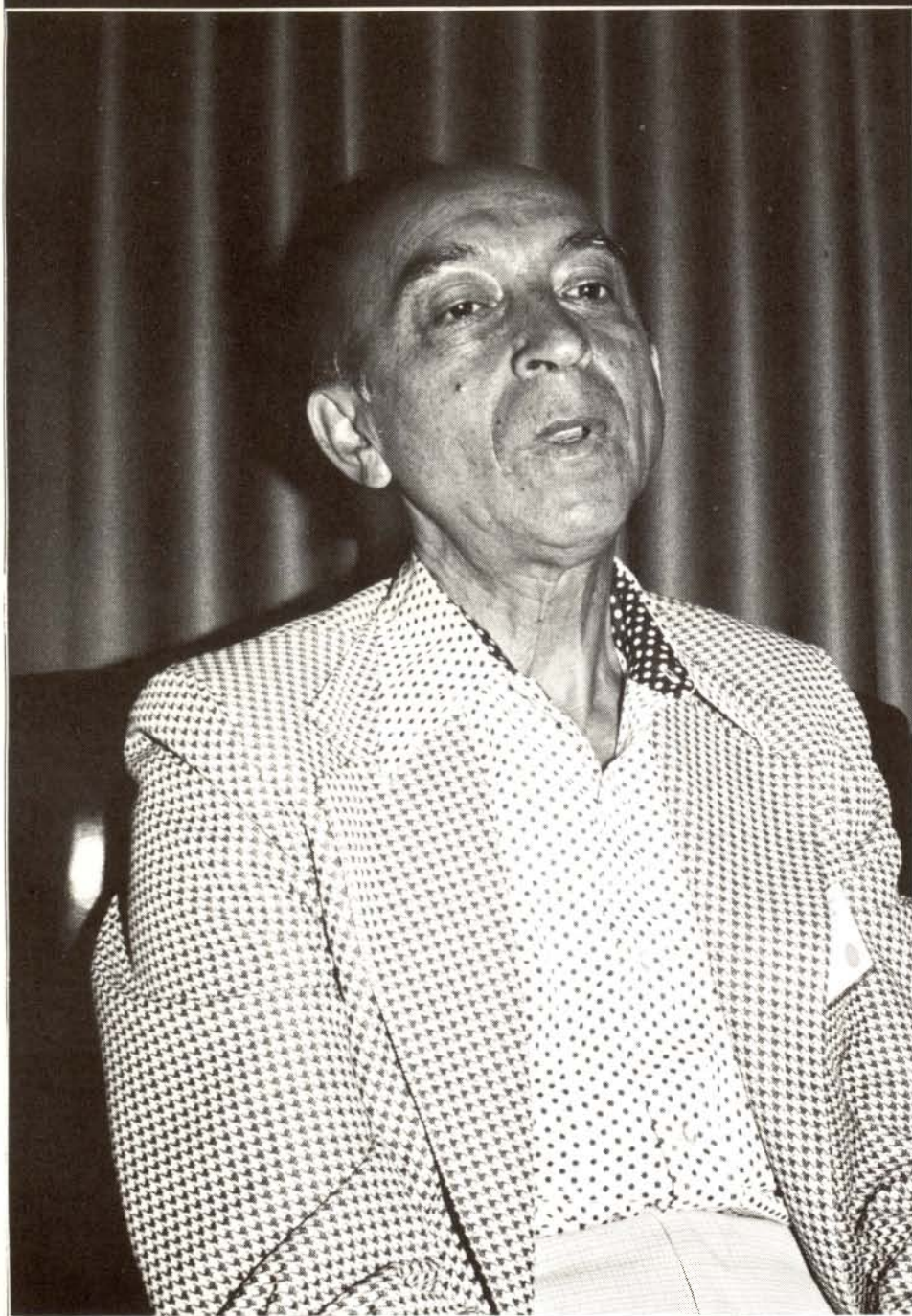
(ciència): —Parleu-nos dels orígens, d'on van estudiar, de com va començar tot.

L. Zadeh: —Vaig néixer a la Unió Soviètica l'any 1921. Jo soc iranià, però vaig néixer allí perquè el meu pare era corresponsal de premsa. Els meus primers set anys els vaig passar a l'URSS. Després vam tornar a l'Iran; hi vaig fer el batxillerat i, més tard, vaig entrar a la Universitat de Teheran, a l'Escola d'Enginyers. El 1942 em van donar el títol d'enginyer elèctric i vaig passar-me el primer any fent el que vaig poder, perquè això era durant la guerra i tot era molt complicat. La meua ambició, però, era d'anar als Estats Units i continuar-hi la meua educació. La meua família tenia una bona posició; no eren aristòcrates, però eren, diguem-ne, “gent bé”. Jo em sentia insatisfet, perquè en l'ambient en què estava no es podia fer, en realitat, cap mena de feina científica, que és precisament allò que a mi m'atreia. Tenia una fal·lera per la ciència, per l'enginyeria i per les matemàtiques que em venia d'haver estudiat en una escola de frares catòlics; també hi influïa que en aquella època la Universitat de Teheran era una imitació de les universitats franceses: els professors havien estudiat a l'École Polytechnique o en alguna altra, els textos eren francesos (recordo un “cours d'analyse” magnífic) i el sistema en conjunt, que copiava el model francès, era molt bo, molt rigorós. Doncs bé, com deia, me'n vaig anar als Estats Units i vaig entrar al MIT (el Massachusetts Institute of Technology). A mi m'agradaven les matemàtiques, les trobava precioses, però no em veia pas fent de matemàtic professional; per això vaig triar de continuar estudiant enginyeria elèctrica. Quan vaig treure el títol d'enginyer elèctric al MIT, el 1946, me'n vaig anar d'allí a Nova York, perquè mentrestant els meus pares hi havien anat a viure i jo volia estar-hi a prop. Em vaig

locar de professor d'enginyeria elèctrica a la Universitat Columbia; feia classes i continuava estudiant les meves coses, tot alhora. Com he dit, m'interessava l'electricitat, o més aviat l'electrònica, però també les matemàtiques: així que vaig tenir el meu títol, el 1946 mateix, me'n vaig anar a fer-me soci de l'American Mathematical Society (en sóc des d'aleshores). El 1949 vaig presentar la tesi doctoral a la Universitat Columbia; era sobre circuits i sistemes, que era el que en aquells moments m'interessava, i hi feia una anàlisi freqüencial de les xarxes que variaven amb el temps. Les classes que jo donava eren sobretot d'anàlisi de circuits i de teoria de la informació, que en aquell moment era un tema completament nou. El 1950 vaig fer un article sobre *Màquines que pensen: un nou camp de l'enginyeria elèctrica*; ja em voltava pel cap allò que després s'ha dit “intel·ligència artificial”. També em semblava que l'anàlisi de circuits s'havia d'ampliar i convertir en una anàlisi de sistemes, més general. Igualment m'interessava la predicció a partir de sèries temporals; el 1950 mateix vaig escriure un article que es deia *Una ampliació de la teoria wieniana de la predicció*. Ja veieu que en aquella època escrivia articles sobre circuits, xarxes i sistemes, i sobre la teoria de la predicció; en fi, sobre teoria de sistemes. Per cert, em sembla que jo vaig ser un dels primers a usar aquesta expressió, “teoria de sistemes”, que avui és completament normal; va ser el 1954 que va sortir un article meu en una revista dels estudiants que es deia precisament així: *Teoria de sistemes*. En aquella època gairebé tot els meus amics eren del departament de matemàtiques i estadística. Aquestes matèries eren molt engrescadores, aquells anys. Avui, que la teoria de la probabilitat i l'estadística han canviat tant, és difícil de fer-se'n càrrec, però aleshores parlàvem embadalits de la teoria de la decisió i la teoria

dels jocs i tot de coses noves, i ens hi entusiasmàvem. També em vaig començar a interessar pels sistemes amb un nombre finit d'estats (allò que ara es coneix per automats finits o màquines seqüencials), que vaig explicar en un curs. Ah, sí! També recordo que aquells anys dirigia tesis doctorals i que el 1957 me'n va caure a les mans una sobre circuits de commutació en sistemes digitals, plantejada des del punt de vista de la lògica multivalent i de la teoria orgànica, que havia creat Von Neumann el 1952 en un article sobre lògica probabilística.

Tot i estar a Columbia, vaig passar una temporada a l'Institut d'Estudis Avançats de Princeton, el IAS, on havia treballat Einstein fins a la seva mort. Jo era l'únic enginyer entremig d'una munió de matemàtics i físics teòrics. De lògics hi recordo Gödel, Kleene... Amb Kleene vam lligar força; és una persona excel·lent i molt interessant. Amb Gödel, gens ni mica, no es barrejava mai amb ningú. En aquella època anar al IAS de Princeton era un privilegi i, per un observador i “creient” de la matemàtica com era jo, era fantàstic. El 1959 vaig canviar d'universitat. Vaig passar de Columbia (a Nova York) a Berkeley (a Califòrnia, vora San Francisco), però les meves classes continuaven essent sobretot de teoria de la informació, de màquines d'estats finits i de sistemes lineals. De tot això, en va resultar un llibre, que es va publicar el 1963 i es deia *Teoria de sistemes lineals: l'enfocament dels espais d'estats*; hi havia un estudi a base de sèries temporals de les xarxes que variaven amb el temps, i s'hi feia servir la transformada z, que és una ampliació dels mètodes clàssics al cas de variables discretes. Per aquesta època (1961-1962) em vaig començar a adonar que la matemàtica clàssica tenia un límit a l'hora de formalitzar els fets. Jo estava convençut que amb matemàtiques es podia fer de



tot, que tot era qüestió de posar-s'hi, de treballar-hi fort, d'anar a les biblioteques, de llegir molt i d'acabar dominant les matemàtiques, fer-les servir amb naturalitat, com si res. Ara, quan volia matematitzar certs conceptes de la teoria de sistemes em trobava que algunes coses no tenien una definició precisa; per exemple, podem definir amb precisió "controlabilitat", "observabilitat", però: com definirem de manera precisa "sistema lineal" o "sistema adaptatiu"?, i què vol dir, "sistema descentralitzat"?, o també, si considerem un sistema com una família d'operadors, quin és el domini d'aquests operadors? Un matemàtic clàssic contestaria de seguida que tot és un problema de precisar exactament tots els estats possibles del sistema; i que si n'hi ha tants que això és inviable, aleshores es planteja la distribució de probabilitat de cada estat i es treballa amb probabilitats. Però tot això, a part la complicació que comporta, implica

saber moltes coses del sistema, i jo volia fer un plantejament prou més general. I a més, no pel fet de fer-ho més formal era tot més rigorós; ens podien preguntar per exemple: "quines són les funcions o els operadors que hi ha definits en el sistema?" i no saber-ho contestar. En altres paraules, la precisió formal tenia uns límits; la formalització dels sistemes lineals, per exemple, no podia anar més enllà d'un cert nivell de precisió i rigor que, si s'ultrapassava, feia poc significatives les conclusions. Tot això, ho vaig explicar en un article del 1961 que es deia *De la teoria de circuits a la teoria de sistemes*, i hi conclïa que ens cal una eina que ens permeti tractar aquestes situacions que jo deia "difuses". I aquí vaig fer servir per primer cop la paraula *fuzzy*, que no s'havia usat mai en matemàtiques abans; ara, jo encara no li donava el sentit concret que tindria més tard. Tots aquests anys vaig estar preocupat per aquest tema i concretament

completament occidentalitzat, probablement rebutjaria la nostra analogia). L'entrevista va ser feta per Ton Sales, el qual, amb Teresa Riera, va fer també una divulgació dels conjunts difusos, que els nostres lectors hauran pogut llegir al n.º 28.

juliol-agost 1983/Volum 3/433 41

pel problema de la classificació d'objectes segons certes categories poc definides i de les fronteres imprecises que tenien les classes resultants. La idea de conjunt difús em va venir al cap una setmana d'estiu que vaig passar a la companyia Rand, el 1964, per fer-hi un estudi com a assessor. La idea de classificar objectes formant classes amb fronteres poc definides, "difuses", era senzilla i atractiva. No es pot dir que em vingués de sobte, perquè hi havia anat al darrera força temps, però sí que es pot dir que va ser un afortunat accident afavorit per l'estiu, que és quan et descarregues de la feina acadèmica i tens més tranquil·litat per pensar les coses. Vaig exposar la idea a l'informe presentat a Rand i, més tard, en una conferència a Berkeley aquella tardor mateix. Francament, alguns dels assistents s'ho van prendre força malament; en general eren matemàtics i l'argument principal era que allò no calia, que la matemàtica tenia altres eines per resoldre el problema (com ara la probabilitat). Però com que jo sabia que tenia raó, vaig enviar el text a la revista "Information and Control". Allà la recepció tampoc no va ser gaire càlida, no. Em deien: "Home, potser sí que ho podríem publicar; però, vols dir?" Al final em van publicar l'article, que va sortir l'any 1965, i ara resulta que és un dels articles científics més citats del món, un dels pocs "citation classics". A l'hora de publicar-ho, però, hi va influir molt el fet que jo fos del consell de direcció de la revista; tot cal dir-ho! La veritat és que jo sabia que l'article faria forat, n'estava segur; veia que la idea central era aprofitable i que, tot i que potser encara li faltaven matisacions i millores, anava en la bona direcció. Ara, la feina de fer de cap de departament (del 1963 al 1968) m'absorbia completament; hi havia batalles polítiques, algunes força desagradables, perquè estava en qüestió l'existència del departament d'informà-



tica i hi havia gent que s'hi oposava violentament, i jo no tenia temps de fer res més, fora d'algun article escadusser de tant en tant.

En aquest punt, Zadeh interromp el flux de la seva biografia, que cap dels presents no ha gosat trencar, i fa tot un seguit de comentaris tècnics sobre fotografia pràctica, que intercanvia amb el nostre fotògraf en funcions, Llorenç Valverde. Nosaltres aprofitem el moment per intercalar-hi la primera pregunta:

(ciència): *—Voliem saber si la idea dels conjunts difusos, que tal com heu explicat us va venir de la constatació de les classes imprecises que apareixen en classificacions amb criteris poc definits, la va tenir com a enginyer, i en particular com a especialista de la teoria de sistemes, o bé deriva de preocupacions vostres més generals.*

L. Zadeh: —Home, jo en aquella època estava molt més decantat cap a la matemàtica que no pas ara. Vull dir que m'hi movia bé, els meus millors amics eren matemàtics, anava als actes de l'American Mathematical Society, llegia revistes matemàtiques i els meus treballs eren de matemàtica aplicada. Es pot dir que era un enginyer d'orientació matemàtica: aplicava matemàtiques a resoldre els meus problemes, de teoria de sistemes o de qualsevol altra matèria. Va ser pensant en la solució matemàtica a certs problemes de l'anàlisi de sistemes que em vaig adonar que la matemàtica, diguem-ne clàssica, fallava a l'hora de formalitzar certs conceptes importants. Això vol dir que havia arribat a un punt en què havia de deixar anar el meu objectiu de matematitzar els sistemes, perquè a partir d'allí la matemàtica ja no hi feia servei. Aquesta conclusió és el cos de l'article del 1965, que vaig publicar a

"Information and Control" i no en una revista matemàtica precisament perquè jo no sóc matemàtic; no ho volia explicar als matemàtics sinó a la gent com jo, gent amb mentalitat matemàtica que intentaven matematitzar les coses.

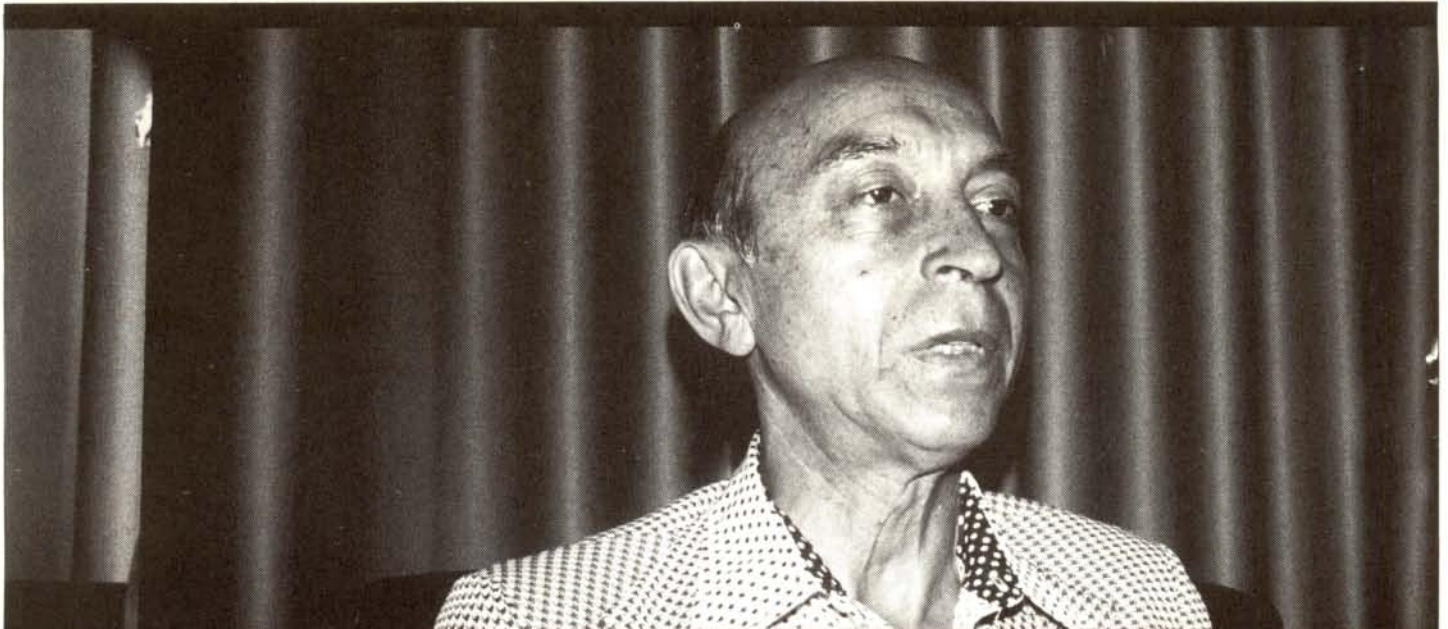
(ciència): *—Però la gent del voltant, la del vostre departament, no eren pas tots matemàtics ni tenien tirada matemàtica. Hi devia haver enginyers elèctrics "purs" també, per exemple. I bé havieu de treballar junts.*

L. Zadeh: —Sí, però en un departament d'informàtica això passa sempre. Tants caps tants barrets. Ara, tots ens enteniem la mar de bé. Un departament així és com una persona que té uns quants vestits o sap parlar més d'un idioma.

(ciència): *—Una pregunta que ve de seguida al cap és la següent: ¿com un home com vos va agafar aquest interès extraordinari per l'enginyeria, la matemàtica i la ciència a l'Iran?*

L. Zadeh: —Pel que jo recordo, sempre hi he estat interessat. Als tretze anys vaig construir un motor rotatiu i el vaig patentar. Va ser a l'Iran, això. Era més senzill que el Wankel. Es clar, en aquella època no hi havia ni el Wankel ni cap motor rotatiu... Mireu, va ser per això que me'n vaig anar de l'Iran. Si hi hagués continuat segur que hauria pogut ser ric, hauria tingut criats i de tot, però no era aquest el tipus de vida que m'atreia. Per això me'n vaig anar als Estats Units tan aviat com vaig poder per continuar-hi la meva educació. Jo sabia que, en certa manera, la meva formació a l'Iran era molt bona, molt francesa i molt rigorosa. Per cert, que al MIT em penso que era el primer iranià

que hi feia cap; quan vaig dir que era de Teheran ho van haver de mirar al mapa. Doncs bé, deia que la meva formació era molt bona, molt francesa, amb molt de rigor. De fet el MIT em va semblar fàcil, per comparació. Després de l'esforç que havia fet estudiant matemàtiques a Teheran, allò era relaxant. Ara, a l'Iran m'havia empassat moltes coses inútils o passades de moda: per exemple, m'havia tocat fer un curs de geometria general, dos anys de geometria descriptiva, un de seccions còniques, i així; i tot això en una escola d'enginyers. És clar, també hi havia els cursos de "mathématiques spéciales" i altres també molt bons, en la tradició francesa. O sigui, que l'educació era de molt bona qualitat però els continguts eren tradicionals, poc moderns. Per això, quan vaig arribar al MIT em vaig apuntar a cursos d'àlgebra moderna, d'anàlisi matricial, tensors, etc.; a base de cursos com aquests em vaig marcar la meua pròpia línia d'aprenentatge dintre la matemàtica moderna i la vaig seguir. El departament de matemàtiques d'aquella època era dirigit per Martin i Cameron i treballava en coses de Wiener (que era del departament), com ara la teoria de la predicció. Wiener era un home molt interessant, sí. S'ha de tenir en compte que aquells anys, a partir del 1945 i fins entrats ben bé els cinquanta, eren anys fantàstics. Jo els vaig viure a Columbia. Era quan van començar coses com la teoria de la informació, la cibernètica i els ordinadors; potser no era gran cosa, tot plegat, però l'entusiasme era enorme. Semblava que ho anàvem a canviar tot a base de matemàtiques i de ciència. No era cada cosa aïllada, no; era la conjunció de totes elles: era la teoria de la informació més la de la decisió més la cibernètica més la teoria de màquines finites més la de jocs més tot allò que feia Von Neumann, i així successivament. Era tot junt que ens entusiasmava. Avui potser és difícil



d'imaginar, perquè ens hem anat adonant de les limitacions que tenien tots aquells programes. Però aleshores, tot semblava possible. Howard Aiken, en l'acte de presentació d'un Mark, un de la sèrie d'ordinadors de Harvard, el 1948 deia, i són paraules textuais: "No hi ha cap problema de matemàtiques aplicades, cap ni un, que no pugui resoldre aquest calculador". Imagineu-vos, un calculador que no tenia gaire més potència de càlcul que una calculadora de butxaca de les actuals, i ho anava a resoldre tot! I Aiken no era pas un amateur, era el director del laboratori de càlcul de Harvard! Doncs sí, realment tot semblava possible en aquella època. Jo crec que els anys 1945-55 han estat un dels períodes més interessants de tota la història de la ciència. Només cal recordar que estàvem sota l'impacte de l'energia atòmica, de les màquines intel·ligents, del perceptró o del reconeixement de formes. Us en donaré un altre exemple, només perquè vegeu el clima intel·lectual que respiràvem. Cap allà el 1952 o 1953 la Burroughs, que fabricava calculadores i màquines d'escriure (encara no feia calculadors), va engegar un projecte a base d'agrupar uns quants enginyers perquè li construïssin una "màquina d'escriure fonètica". Avui això només li semblaria possible a un sonat, reunir gent i dir-los: "Apa, construïu una màquina que escrigui el que diem!" Però aleshores, no. Semblava només una qüestió de posar-s'hi, igual com es pensava realment que aviat es construirien "màquines traductores automàtiques" (del rus a l'anglès, per exemple). Això ajuda a explicar que Chomsky es posés a analitzar el 1956 els llenguatges naturals a partir de la teoria de les màquines d'estats finits: més endavant, però, ja ho van veure prou, ell i Bar-Hillel, que a base d'això no s'anava gaire lluny en llenguatges naturals. Era tot d'una ingenuïtat tremenda.

(ciència): —Tornant al 1965, que és on érem abans d'aquesta pregunta, us voldríem demanar: per què va triar el mot *fuzzy* per batejar els conjunts difusos? Què volíeu dir amb aquesta paraula?

L. Zadeh: —Ah, sí! Bé, de fet va ser el 1964 quan se'm va ocórrer la idea i quan vaig fer-ne un primer article (que, per cert, és pràcticament desconegut). Evidentment, havia de trobar un terme adequat, que fos matemàticament "respectable" i alhora que indiqués clarament el que volia dir. Jo sempre he estat partidari de fer servir paraules transparents, autoexplicatives. (Per exemple, no m'agrada gens dir "generalitzat", perquè: què vol dir "generalitzat"? Generalitzat, en quina direcció?) Vaig pensar en *soft* (tou), *elastic*, *imprecise* i potser alguna altra, i em vaig quedar amb *fuzzy* (difús). Potser *fuzzy* no és prou encertat, perquè sona a "flonjo" i a llenguatge infantil (els infants americans desqualifiquen una cosa com a rucada o fotesa dient: "It's fuzzy-wuzzy!"), però no se me'n va ocórrer d'altra, i això que vaig demanar suggeriments al departament de clàssiques, per si hi havia alguna paraula llatina o grega que pogués servir (i no n'hi deu haver cap, perquè ningú no me la va suggerir). Potser sí que *fuzzy* no és prou respectable, i reconec que té certs inconvenients, però expressa bé el concepte, i per mi això ja és prou. La prova és que la gent ho entén. El concepte que hi havia a sota, tothom el va captar bé. Hi va haver gent negativa, més aviat diria crítica, al començament; però també hi va haver gent com el filòsof anglès Max Black, a qui vaig enviar l'article i que em va contestar al cap d'un cert temps amb paraules de felicitació i encoratjament. No vaig tornar a escriure gaire sobre el tema fins el 1968, quan se'm va acabar el càrrec de director del departament i vaig aprofitar el permís sabàtic per anar-me'n al MIT i es-

criure-hi un article sobre probabilitats difuses. De tornada a Berkeley vaig canviar l'accent del meu estudi posant-lo en l'aplicació dels conjunts difusos a la teoria de sistemes, el meu antic camp de batalla de tants anys, i així vaig escriure un article sobre sistemes difusos i algorismes difusos (això últim el 1968). Aviat vaig tornar a canviar l'accent, perquè vaig veure l'interès que tenia el llenguatge en aquestes qüestions, i vaig escriure un article sobre això, sobre llenguatges difusos, el 1969. Com que tenia més temps i més tranquil·litat em vaig dedicar a pensar-hi amb calma i em vaig anar adonant, cada vegada més, que totes aquestes qüestions sorgides a propòsit dels conjunts difusos eren, al capdavall, problemes lingüístics, i així ho vaig explicar el 1970 en un congrés organitzat per l'Institut de la Vie, de París, en el qual vaig parlar sobre llenguatges difusos i la seva relació amb la intel·ligència humana i artificial.

(ciència): —En aquesta època ja teníeu molts seguidors de la teoria dels conjunts difusos i us havíeu convertit en una mena de font d'idees, en originador i suggeridor de línies de pensament que altres reprenien i desenvolupaven, una mica com el pare espiritual d'una família.

L. Zadeh: —Sí, però jo no m'he vist mai a mi mateix com a promotor de res, en el sentit que mai no he empès ningú a fer res ni li ho he suggerit. Senzillament, hi havia persones que s'interessaven en el tema i venien a treballar amb mi. Jo precisament en aquells anys escrivia molt pocs articles i no participava en la polèmica que jo mateix havia provocat. Hi havia matemàtics que, més que criticar la teoria, s'hi oposaven; deien que no calia i que tot allò es podia fer perfectament amb la probabilitat. Però jo anava

veient que el tema interessava més i més persones i pensava que mentre hi hagués gent que hi treballés no m'havia d'amoïnar gens pels comentaris. Entre els entusiastes recordo Moisil, el lògic romanès, que va començar a parlar pertot arreu de *logique floue* i d'*ensembles flous*; si hagués-sim de parlar de promotors de la teoria dels conjunts difusos, ell en seria un, molt clarament, i no pas jo. Jo continuava explorant la meua idea i n'anava traient conseqüències. Com més anava més hi veia un caient lingüístic; el 1972 vaig publicar el meu article sobre encercadors (*hedges*), en què posava en relació certs modificadors lingüístics (com ara els adverbis) amb funcions de transformació d'un conjunt difús en un altre, i aquell mateix any vaig començar a veure l'interès del concepte de variable lingüística. En realitat tot això ja em venia de lluny, perquè recordo que el 1966, en un congrés de matemàtics a Moscou, ja havia proposat d'analitzar matemàticament el llenguatge natural per mitjà de conjunts difusos i el 1971, en un article que es deia *Semàntica difusa quantitativa*, provava de fer-hi les primeres passes. Va ser aleshores quan George Lakoff, el lingüista, va passar una temporada a prop nostre i em va demanar com es podien analitzar els adverbis amb el formalisme de la meua teoria; a mi, francament, no m'havia passat pel cap de fer-ho, però ens vam posar a treballar i a discutir sobre el tema i, al final, cada un en va escriure un article recapitulatiu, en llocs diferents (el meu va sortir al "Journal of Cybernetics").

(ciència): —Pel que sembla, l'estímul immediat us va venir del contacte amb un professional d'un altre camp. A vós, que sempre us heu mogut en terrenys de col·laboració entre enginyers, matemàtics, lògics i lingüistes, us deu semblar que això de la interdisciplinarietat és sempre estimulants.

L. Zadeh: —Doncs sí, força. Si més no, en el sentit que si organitzes seminaris, taules rodones o el que sigui amb gent ben diversa és molt més probable que surti la idea innovadora o suggerent que necessitaves que no pas si només veus gent de la teua mena. Ara, aquesta interfecundació es fa sovint d'una manera informal; només cal veure la riquesa d'idees que, com explica Stanislav Ulam a la seva autobiografia, sorgia de les tertúlies de cafè que feien els lògics i matemàtics polonesos als anys vint, o dels passeigs que feien Ulam i Von Neumann amunt i avall. Tothom té coses interessants a oferir i el contacte sempre és enriquidor; és clar, hi ha excepcions, però a mi sempre m'ha anat bé treballar amb d'altres, potser perquè jo tendeixo per naturalesa a associar-me amb gent molt diversa.

(ciència): —Amb estudiants, també?

L. Zadeh: —No. Amb els estudiants, no. De vegades m'agradaria tenir-hi relacions més estretes, com fan altres professors, però a la pràctica em resulta molt més natural tenir contactes amb professionals i moure'm en l'ambient de les reunions i simposis; en trec més idees que no trauria, probablement, amb els estudiants. D'altra banda, a mi m'agrada escriure articles en col·laboració amb altres persones, i trobo que això no es pot fer amb estudiants. El que hi posa tota la feina sol ser l'estudiant, i signar l'article amb ell, un cop la feina enllestida, em sembla més aviat hipòcrita. Ara bé, com deia, l'important és treballar amb gent d'horitzons i camps diversos... Es clar, també és important poder estar tranquil per pensar i escriure, i això és difícil de conjuminar amb les classes i la feina burocràtica que toca de fer; per això no és pas casualitat que els meus millors articles estiguin fets en èpoques sabàti-

ques, com aquest que deia de les variables lingüístiques, del 1973, que vaig fer en una estada sabàtica al MIT.

(ciència): —Feu la impressió de ser un tascaolletes, de donar idees innovadores i de deixar que d'altres les tirin endavant.

L. Zadeh: —Sí, però això potser és perquè la meua capacitat de tirar-les endavant és més aviat limitada. Allò de què em veig força capaç, en canvi, és de tenir idees senzilles —que és com crec que són totes les bones idees— i d'explicar-les engrescadorament. Segurament m'hi ajuda el fet de no ser matemàtic professional i d'adreçar-me a un públic de gent com jo. També m'hi ajuda, és clar, la meua experiència fent classes. Penseu que jo he fet cursos de tots els colors. Ara els meus temes són els llenguatges formals i els sistemes experts de comprensió del llenguatge natural, però abans d'això m'he passat la vida explicant teoria de sistemes, que va ser el meu primer camp, i teoria de la infor-





(ciència 29

juliol-agost 1983/Volum 3/437) 45



mació, decisió, etc.; i més endavant, a partir del 1958, vaig engegar cursos de matemàtiques discretes en què entraven coses que anaven de l'àlgebra al lambda-càlcul de Church i al llenguatge LISP, tot fet amb la idea no pas d'explicar matemàtiques a enginyers sinó de donar una formació bàsica a futurs informàtics. Aquesta experiència m'ha donat una visió de conjunt molt bona i m'ha permès d'intentar algunes síntesis conceptuals.

(ciència): —Havíeu començat a parlar del concepte de variable lingüística...

L. Zadeh: —Sí. Això era el 1973. Em va semblar que la idea era interessant i la vaig voler explorar en diferents direccions. Fet i fet em vaig trobar amb el concepte de possibilitat sense adonar-me'n. Veia que quan en el llenguatge natural diem que una cosa és d'una certa manera, allò que diem en realitat és que hi ha certes restriccions al camp dels seus possibles estats o, dit altrament, que la possibilitat que la cosa sigui com diem

es pot representar com una certa corba. Jo, això, ho vaig explicar en un article del 1974 que es deia *Càlcul de restriccions difuses*. Allà on deia càlcul de restriccions ara diria teoria de la possibilitat; ve a ser la mateixa cosa. Més endavant, el 1977, vaig participar en un seminari que va fer la gent del departament de psicologia de Berkeley, i vaig veure clarament que molts conceptes que nosaltres tenim reben una etiqueta lingüística, d'una banda, i de l'altra es poden estudiar per mitjà de preguntes i respostes; doncs bé, quan fem explicar a algú com és el seu concepte d'alguna cosa i ens dona com a resposta el camp d'aplicació o les condicions que s'han de satisfer perquè es pugui dir que un objecte cau sota aquell concepte, a mi em sembla clar, i m'ho va semblar llavors, que aquestes condicions, expressades en forma de corba d'aplicabilitat, no són de cap manera una probabilitat, sinó a tot estirar allò que jo en dic una possibilitat.

(ciència): —La possibilitat, doncs, us va portar a la lingüística i a la psicologia.

L. Zadeh: —És que en realitat és un concepte que permet modelitzar els "significats" de la lingüística i els "conceptes" de la psicologia i establir-hi un lligam. Un cop formalitzada la idea de possibilitat, el llenguatge natural apareix de seguida. Jo vaig dissenyar un llenguatge formal, que vaig anomenar PRUF (per "Possibilistic, Relational, Universal, Fuzzy") i que, com el llenguatge natural, admet significats imprecisos o vagues. De fet el PRUF és un llenguatge de representació del significat. Jo n'estic molt content, perquè així he pogut lligar idees de procedències diverses. En canvi els lingüistes s'han resistit molt a acceptar el PRUF, i ho comprenc, perquè s'hi fan servir coses que poca gent coneix: els llenguatges de

comunicació home-ordinador i les estructures complexes d'informació, allò que els informàtics anomenen llenguatges d'interrogació i bases de dades, respectivament. Jo m'hi moc bé, perquè sempre ho he explicat a les meves classes, però els lingüistes no en saben res; no es mouen gens còmodament en el terreny de la informàtica o la matemàtica i, a tot estirar, n'hi ha alguns —no gaires— que saben lògica de predicats o coses similars, però res de com plantejar matemàticament relacions entre objectes, ni binàries ni difuses. Amb el temps alguns lingüistes han copsat la idea, i n'hi ha un que, fa poc, ha fet servir el formalisme del PRUF per estudiar d'una manera abstracta i sistemàtica el problema de la preservació del significat en el llenguatge natural.

(ciència): —I la gent que es dedica a la intel·ligència artificial?

L. Zadeh: —Sembla que havien d'haver estat molt receptius a la innovació, oi? Però la veritat és que no n'hi van ser gens, segurament perquè estaven acostumats a fer servir les xarxes semàntiques i la lògica de predicats per sobre de qualsevol altra cosa. Més tard, jo vaig enriquir la meua teoria de la representació del significat amb allò que jo en dic semàntica quantitativa o, en expressió gràfica, semàntica de puntuació de tests (*test-score semantics*). Aquí m'ha tornat a passar el que acabo de dir amb els lingüistes. A mi, per mentalitat o per la meua pràctica professional, m'és molt fàcil d'imaginar-me un significat com un conjunt d'instruccions —imprecises, si voleu— d'un programa: em resulta natural, perquè és així com cal veure el "significat" quan parlem de màquines en intel·ligència artificial. Però per a un lingüista, que per educació i per tradició pensa en significats lingüístics ordinaris,

tot això resulta difícil d'imaginar. I això mateix passa amb els psicòlegs, també. Una distribució de possibilitat es pot veure no sols com a model del significat d'una expressió imprecisa —“vaga”— del llenguatge sinó també com a model d'un concepte; però, és clar, aquesta representació conceptual és ben lluny de les habituals dels psicòlegs. Us en donaré un exemple. Quan era al MIT el 1968 em vaig posar en contacte amb un psicòleg d'allí, molt prestigiós, que a mi em resultava interessant perquè havia fet uns estudis fascinants sobre la gènesi dels conceptes; doncs bé, li vaig explicar els avantatges de la teoria de la possibilitat a l'hora d'analitzar els conceptes i vaig veure que no l'interessava gens ni mica: tota la seva anàlisi del tema, l'havia bastit sobre conceptes tradicionals, amanits com a màxim amb eines matemàtiques simples, com ara la teoria de conjunts o la lògica booleana, però res més. Jo m'hi he trobat tantes vegades, amb gent tancada en la seva especialitat que rebutja completament tot allò que li ve de fora, que no em deixa gens parat.

(ciència): —Però d'altra banda teníeu molts entusiastes...

L. Zadeh: —Sí. Com més anava més en tenia. Ara, jo no sóc cap mena de croat d'una causa. Jo personalment no em considero pas una persona brillant o especialment intel·ligent... (Riu) No, de debò, no ho dic per falsa modèstia. A mi em plau moltíssim, és clar, que hi hagi tanta gent en el camp dels conjunts difusos. El que m'agrada més, però, és l'adhesió de certes persones, o de cert tipus de persones, que jo admiro pel seu tarannà o amb les quals jo lligo bé per caràcter. Són aquests els que tiren endavant la teoria allà on jo la deixo i en fan coses interessants i rigoroses. S'ha de dir que també hi ha gent, que d'altra banda



em cau força bé, que, potser perquè no coneix prou la meua teoria, continua dient que les coses són clares i terminants: o caixa o faixa. Per mi, així només es pot arribar a conclusions poc matisades i poc interessants... primitives, diria. És obvi que la gent que pensa així, però que és mentalment oberta, necessita urgentment que li expliquin la meua teoria... (Riu). M'he acostumat a tota mena de reaccions, des d'aquell que diu que tot això és una rucada o que tot plegat no vol dir res fins a aquell que diu: "Home, potser no és una bestiesa tan grossa com sembla!". N'hi ha d'altres que m'han dit: "Sí, tot això està molt bé, però de resultats matemàtics, o matemàticament interessants, cap ni un", i cada vegada que ho he sentit m'ha fet l'efecte que el meu interlocutor n'havia tingut prou de fer un cop d'ull a la

teoria com un turista que visita una ciutat en un dia i, naturalment, es perd una pila de coses que se li escapen, encara que ell pensi que ho ha vist tot. Per jutjar una teoria, i més si és el camp on treballa molta gent, cal seguir-la i veure els articles que surten (que n'hi ha de tots, bons i dolents) i no conformar-se amb una impressió global de fora estant. A l'altre extrem, encara, m'he trobat amb gent que diu que la teoria dels conjunts difusos no els sembla interessant perquè hi han vist poques aplicacions! Aquí el judici té una altra procedència, però també es basa en una impressió superficial més que no en una anàlisi. De vegades et trobes gent que en parla sense haver-ne llegit ni un sol article; és clar que tothom té dret a tenir una opinió sobre qualsevol cosa, però entre poc i massa...

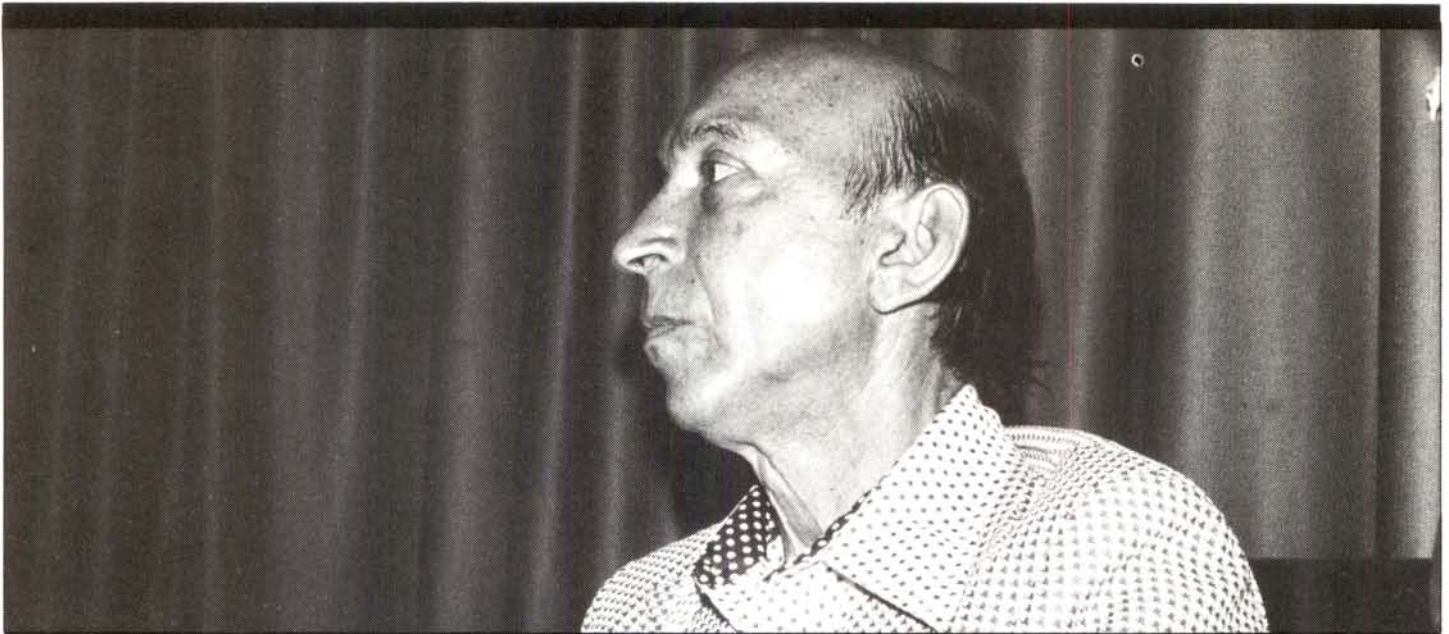


(ciència): *—També podria ser que els teòrics dels conjunts difusos parlessin de la imprecisió —i l'analitzessin— sense definir-la ni explicar on se la troba. En les coses? En els models matemàtics de les coses? En el llenguatge? En el llenguatge natural? I podria passar que els professionals de cada camp es posessin en guàrdia contra aquesta "imprecisió" sobre la imprecisió i volguessin expulsar-la del seu camp o sotmetre-la a regles pròpies, o més familiars. Per exemple, al simposi sobre Wittgenstein del 1981 vós vaig dir, potser una mica agosaradament tenint en compte que l'auditori era majoritàriament de filòsofs, que "les coses (i la veritat!) són una qüestió de grau" i jo, que hi era, vaig poder observar el gest de desaprovació general i immediat. És clar, una afirmació **tan seca i directa com aquesta,** i especialment el "són" de la frase, per força havia de somoure els filòsofs, acostumats com estan a*

considerar que són ells —junt amb potser també els científics experimentals, però de cap manera els matemàtics i els enginyers— els qui han de dir què són les coses. La frase va ser rebuda diria que com una intrusió en el seu camp d'acció professional.

L. Zadeh: —La frase que vaig dir potser va caure malament, però jo hi crec fermament. Estudiant el llenguatge natural es veu clar, això: en el llenguatge natural, si més no, totes les coses són realment una qüestió de grau. I no solament en el llenguatge. Jo m'he fet un tip de llegir, de pensar i de fer cursos sobre molts temes diferents, de la lògica a la lingüística passant per la intel·ligència artificial, i com més hi medito, com més paït ho tinc, més convençut estic que la meva posició és correcta i que és una simple qüestió de temps que els altres

l'acceptin: dos anys, quatre, el temps que calgui, però hi arribaran ells sols, no cal forçar-los-hi. El cas del llenguatge natural és evident: el significat —i el sentit— de les frases és clarament una qüestió de grau. Expressions com "molts" o "casa per vendre" admeten interpretacions matisades per molts factors, i es poden arribar a distòrcer de una manera progressiva fins a voler dir coses inhabituals o sobtades, com saben molt bé els poetes, els humoristes i els publicitaris. Un altre cas és el de la teoria de la complexitat, aquesta branca recent de la teoria d'algoritmes: quan parlem del rendiment d'un algoritme o programa és evident que tenim al cap un cert tipus de problema que volem resoldre-hi, és a dir, que hi ha una certa classe de problemes que ens serveix de referència. El que es fa aleshores és calcular el rendiment en el cas pitjor de tots, que és una hipòtesi massa pessimista (i, a més, normalment poc realista), o bé s'assigna una probabilitat a cada problema que se'ns pot presentar i llavors es calcula el rendiment mitjà o esperat. Ara bé, els qui fan això segurament no s'adonen que la classe de problemes és, en realitat, un conjunt difús —és a dir, que té fronteres imprecises— i no pas un conjunt tradicional. Si s'admet això últim, quin sentit té assignar a cada problema una probabilitat? La mateixa cosa passa amb la teoria de la decisió, per exemple; s'hi suposa normalment que la informació que tenim sobre alguna eventualitat no és completa, i aleshores diem que l'eventualitat presenta una distribució de probabilitat. Fóra molt més poc problemàtic admetre senzillament que hi ha eventualitats difuses, no precisables, que no pas interpretar-ho tot en termes de probabilitat o informació. Igualment, en un càlcul, els nombres usats poden no **correspondre exactament als que caldria** usar —altrament dit, operem amb nombres difusos—, i llavors el càlcul se'n res-



sent, perquè la imprecisió de les dades es propaga cap als resultats; això passa sovint, i cal poder calcular la precisió de l'algoritme (i més encara si aquest també és difús) independentment de consideracions probabilístiques. Els teòrics de la complexitat ja ho comencen a acceptar, però no fa pas gaire encara s'entestaven a parlar de probabilitat de les dades, algorismes probabilístics, etc., i no solament no en treien teoremes satisfactoris sinó que la interpretació probabilística els era com una bena als ulls.

(ciència): *—I per què, aquesta resistència a acceptar-ho?*

L. Zadeh: *—Perquè s'ha de reconèixer que els científics s'han acostumat a la precisió. Ningú no vol imprecisions. Tothom expulsa la imprecisió de casa seva com pot (i, si no pot, la converteix en probabilitat o informació incompleta). És clar, jo els dic que de vegades la imprecisió no sols cal suportar-la sinó tenir-la en compte dintre dels càlculs i dels models que ens fem de realitat. Encara que la imprecisió no tingui prestigi. No val a amagar el cap sota l'ala.*

(ciència): *—La teoria dels conjunts difusos no és l'única que mira de resoldre el problema de la imprecisió d'una manera no probabilística, però. Se'n podrien citar almenys dues altres, que ho intenten: la lògica multivalent i la teoria de la probabilitat subjectiva o epistèmica, que arrenquen totes dues del 1930 o d'abans. És curiós que en els articles sobre conjunts difusos es mencionen ben poc sovint aquests precedents. Com és, això?*

L. Zadeh: *—Quan vaig escriure el meu primer article sobre conjunts difusos, el 1965, ja tenia en compte que hi havia*

altres coses, i així ho deia en una nota a peu de pàgina. Però el que jo volia fer era diferent. La lògica s'interessa per problemes de consistència, completesa, tria d'axiomes, etc., i jo no anava en aquesta direcció. I al contrari: certs conceptes que jo feia servir difícilment podrien interessar un lògic ni considerar-se gaire lògics; digueu-me si no què té de lògica la noció de "conjunt difús convex" o de "separació d'un conjunt difús convex en nivells de precisió" o "relació difusa", que per mi eren molt útils perquè el meu tema era l'anàlisi de les classes i de les seves relacions, però que difícilment podien engrescar un lògic (almenys de moment; més endavant la síntesi entre totes dues coses ha resultat més natural). Pel que fa a la probabilitat subjectiva (o epistèmica, o no-additiva), crec que no hi té res a veure. Ho dic en el sentit que segueixen camins diferents. Michael Arbib, a la seva recensió del meu article del 1965, deia que també hi ha l'anàlisi d'interval que tracta els mateixos problemes. I sí, és veritat, però el que fa l'anàlisi d'interval és un cas particular del que jo faig. En realitat, l'únic que s'hi assembla, o que tracta els problemes d'una manera similar o complementària, és la lògica multivalent. I encara hi afegiria la teoria dels espais mètrics probabilístics, amb les seves t-normes i t-conormes, tot i que jo en aquella època no en sabia res.

(ciència): *—Potser caldria afegir-hi coses com ara l'AST, o teoria alternativa de conjunts, que han creat els txecs i que no fa gaire explicava Sochor a les Canàries*. Ho dic en el sentit que també ells consideren classes que no són conjunts, de l'estil de "els llibres interessants d'una biblioteca". Ells ho tracten formalment com a allò que en diuen semiconjunts propis, però la idea sembla paral·lela a la vostra de tractar aquestes*

classes com a conjunts difusos. Què en penseu?

L. Zadeh: *—Que és interessant, però limitat. Precisament a les Canàries en vam estar discutint amb Sochor. Jo li demanava com es podia representar, en la seva teoria, el conjunt (difús) dels enters grossos. És clar, tenen una teoria tan abstracta, tant d'alt nivell, que quan els fas preguntes com aquestes arran de terra no saben què dimonis contestar-te. Igual que li vaig dir els enters grossos, li podia haver parlat de quantificadors, o de qualsevol altra cosa.*

(ciència): *—I la lògica modal? Vós heu parlat algun cop de Montague, que justament provava de construir, a partir de la lògica, una semàntica del llenguatge natural.*

L. Zadeh: *—Sí, però la lògica subjacent és binària. La lògica modal tracta expressions que contenen "és possible que" o "serà el cas que" o "cal que", etc. I jo mai no les he fetes servir. En la meua semàntica sempre basteixo les frases en mode indicatiu.*

(ciència): *—Canviem de tema. En relació amb els conjunts difusos s'han anat creant molts grups de treball arreu del món. Per la part que ens toca hem de parlar, és clar, del "Catalan group", com se'l coneix pertot.*

L. Zadeh: *—A mi el que em resulta curiós no és pas que hi hagi tants grups, sinó per què estan tan irregularment repartits. El cas de Catalunya és evident: allà on hi ha gent interessada, que es planteja problemes interessants i que està al corrent d'allò que fan els altres, sorgeix un grup de persones que engega*



la feina i la fa molt activament i molt ben feta. Però també hi ha casos sorprenents. Per exemple, la Xina. En aquests moments, a la Xina hi ha més gent treballant en el tema que enlloc del món. A mi em venen a veure professors xinesos de matemàtica difusa i m'expliquen que fan classes d'això a milers d'alumnes! Posant-los-hi tots, hi deu haver uns vuit mil recercadors de conjunts difusos a la Xina. I fan feina ben feta, no us pensés-siu. La desgràcia és que la fan en xinès i no l'entén ningú de fora. Dedicada al tema també hi ha gent a la Unió Soviètica, que en fa congressos. I al Japó. I a l'Índia. És curiós, però els indis que hi treballen provenen del camp de la topologia; cada setmana m'arriba un article

diferent d'algun matemàtic indi sobre espais topològics difusos. En canvi, a Holanda els que hi treballen gairebé només en fan aplicacions de tipus més aviat tècnic, i poquíssima feina de caire matemàtic. I això mateix passa a Anglaterra, també. A Catalunya sembla que us n'interessa més el caient matemàtic i lògic. A Estats Units no hi ha una tendència clara... Fóra molt interessant d'anàlitzar aquestes diferències i veure si tenen una explicació raonable. D'una cosa estic segur, però. El camp continuarà creixent, i molt. No ho dic en el sentit de cobrir terrenys veïns, com ara la lingüística o la psicologia, on ja hi ha gent (però poca) que treballa amb els nostres conceptes, o els usa. Ho dic sobretot en

el sentit que matemàticament la nostra teoria és interessant perquè ho generalitza tot: conjunts, relacions, nombres, integrals, etc.; i a més permet conservar intacta tota la matemàtica anterior com un cas particular. I també la lògica. Això permet tractar els problemes de la imprecisió, que cada dia atreuen més gent, en un marc unificat que va del clàssic al difús en una progressió creixent. Per això em sembla que la teoria dels conjunts difusos té molt de futur, i que no passarà com una cosa fugissera. Almenys jo m'ho penso.

* Vegeu la crònica que (ciència) va fer del II Congrés Mundial de Matemàtiques al Servei de l'Home, al número 24 (febrer del 1983).

Cronologia de Lotfi Zadeh

- 1921: -Neix a l'Azerbaitjan soviètic, de família iraniana benestant.
- 1928: -Es trasllada a Teheran, on fa el batxillerat i la carrera d'enginyer elèctric (que acaba el 1942).
- 1946: -Un cop traslladat als Estats Units (d'on ja no es mourà), treu el títol d'enginyer elèctric al MIT (Massachusetts Institute of Technology) i comença a treballar a la Universitat Columbia de Nova York, on ensenya anàlisi de circuits.
- 1950: -Escriu l'article *Maquines que pensen* i evoluciona cap a l'anàlisi de sistemes.
- 1954: -Escriu l'article *Teoria de sistemes* i és un dels primers a usar aquesta expressió; s'interessa per la teoria de la decisió.
- 1957-59: -Dirigeix tesis doctorals (entre elles una que aplica la lògica multivalent al disseny de circuits digitals) i fa un sojorn al IAS (Institut d'Estudis Avançats) de Princeton, on aprèn lògica amb Kleene i conviu amb Morris Kline i Dana Scott.
- 1963: -Escriu el llibre *Linear Systems Theory: the State-Space Approach*; s'adona que és difícil o utòpic precisar certs conceptes relacionats amb sistemes ("adaptatiu", "descentralitzat", etc.); el nomenen cap de departament; s'interessa pel reconeixement de formes.
- 1964: -Passa una setmana a la Rand Corporation amb Richard Bellman

- resolent problemes de classificació en reconeixement de formes; la falta de precisió de les fronteres de les classes formades li suggereix la imatge de conjunts difusos; ho explica a Berkeley (amb mal acolliment) i decideix publicar-ho a "Information and Control" (on surt el 1965 i aviat esdevé un dels articles més citats de la història).
- 1968: -Un cop se li acaba el càrrec i la feina administrativa, reprèn, en vista de l'èxit del seu article del 1965, l'anàlisi dels conjunts difusos; escriu un article en què compara la nova teoria amb la de la probabilitat i hi emmarca les diferències d'enfocament.
- 1969: -Canvia l'orientació del seu estudi quan s'adona de la importància que té el llenguatge en la formulació precisa o no de les qüestions; parla en diversos congressos; a França el lògic romanès Moisil, que el sent, en surt entusiasmats; pertot arreu augmenten els cultivadors dels *fuzzy sets*, que apliquen la idea a qualsevol camp (de la matemàtica a la medicina).
- 1972: -Escriu sobre els adverbis del llenguatge (que formalitza en el si de la teoria com a encercladors = *hedges*); apareix el concepte de variable lingüística.
- 1974: -Escriu sobre les restriccions no-rígidament

- la validesa de les frases, amb la idea de construir tot un càlcul de restriccions (més endavant en dirà teoria de la possibilitat) que sigui un correlat molt més general de la teoria de la probabilitat.
- 1976: -Escriu (amb Bellman) sobre lògica difusa, que és la que s'obté considerant les restriccions no-rígidament com a proposicions lògiques amb valors de veritat lingüístics.
- 1977: -En un seminari sobre psicologia en què participa s'adona que la seva idea de la possibilitat és prou general i útil per tirar-la endavant. (Un dels congressos en què participa aquest any és el Primer Congrés de Matemàtiques al Servei de l'Home, fet a Barcelona el juny.)
- 1978: -En endavant (fins al 1982): Enriqueix la seva teoria lingüística amb idees aportades pels informàtics (llenguatges de comunicació home-màquina i accés a bases de dades), i elabora el PRUF, un llenguatge d'ordinador que permet fer càlculs lògics i lingüístics amb proposicions i frases de significat mal o poc definit; dona una fonamentació semàntica a la teoria per mitjà de la seva semàntica quantitativa (*test-score semantics*), que és l'àrea en què treballa actualment.