

Un renovador de l'ensenyament

Santaló va escriure molt sobre l'ensenyament de les matemàtiques, tant per al camp universitari com respecte als ensenyaments primari i secundari. Tal com explica el seu deixeble Carlos Segovia Fernández, hi ha hagut molta gent que ha parlat sobre l'ensenyament de les matemàtiques i ho ha fet sota diferents enfocaments, «però Santaló, més que prendre aquests tipus de posicions, el que ha fet és escriure... perquè les paraules se les duu el vent, igual que les bones intencions». Santaló ha tingut sempre aquesta idea: cal escriure, perquè les coses quedin. I val a dir que Santaló ha sabut parar i escriure amb claredat i elegància.

Moltes de les seves propostes, que es troben en diversos llibres, estan resumides a *L'educació matemàtica, avui*, una obra que Editorial Teide va publicar el 1975 a la seva col·lecció «Què cal saber». Allà Santaló hi fa diverses consideracions sobre les matemàtiques, el seu paper, la seva importància social, la forma d'ensenyar-les. En el cas de l'ensenyament superior, Santaló destacava que la situació havia canviat des que ell estudiava, perquè els alumnes actuals —del 1975, però també d'ara— «es conformen a adquirir unes certes tècniques o proveir-se d'un conjunt de coneixements que els siguin útils per a defensar-se en la lluita per la vida». Per això es declara partidari d'un ensenyament terciari, que es diferenciaria de l'universitari en què aquest darrer seria la culminació dels estudis, mentre l'altre serviria per als professionals que es conformen amb els coneixements aplicables o per als investigadors que es dedicaran a una altra ciència.

Però en tot cas cal establir uns coneixements i una forma d'ensenyar a la Universitat, tant per als que fan matemàtiques com per als qui estudien altres carreres però necessiten unes bases matemàtiques. En el cas dels primers, Santaló manifesta que calia fer coe-

xistir matemàtica pura i matemàtica aplicada, com a l'escola. Criticava la tendència que havia anat constituint uns primers cursos molt purs, amb la qual cosa es feia «més matemàtica per a l'esperit que per a la vida. S'ha considerat la matemàtica com la ciència del raonament pur i lògic. Hom no n'ensenyava les aplicacions, deixant que l'alumne hi lluités en acabar els estudis si la vida li ho exigia». Però això, diu, va fer perdre bons matemàtics que tenien una orientació més aplicada i afavoria que a les facultats sorgís un cert «anticientificisme», un malestar que apareixia per l'eliminació d'una part de la matemàtica.

Per això, Santaló proposava que en l'ensenyament superior hi hagués una part bàsica, de dos o tres anys de durada, en la qual s'estudiés la matemàtica com una unitat, en la seva part pura i en la seva part aplicada. Després, caldria entrar en l'etapa d'especialització, perquè és impossible abastar tota la matemàtica actual amb profunditat.

Quant als no-matemàtics, Santaló destacava que és difícil triar, dintre l'extensió de les matemàtiques, allò que és útil a cada carrera. El problema és que els professors són bons coneixedors de la matemàtica, «però poc preocupats per la matemàtica que llurs alumnes necessiten». Trobar què cal ensenyar i la manera de fer-ho és un gran repte pedagògic.

Per això, Santaló proposa que s'ensenyin algunes coses sense les etapes intermèdies, deixant de banda, si cal, el rigor formal i cridant més al desenvolupament intuïtiu. També cal ensenyar a moure's en la muntanya de coneixements que els matemàtics —com altres científics— han creat. «Ara —diu Santaló— es tracta d'ordenar i transferir aquestes novetats a aquells a qui poden interessar.» I com que els matemàtics han fet servir un llenguatge només accessible als no iniciats, ara han d'aplanar el camí «i transformar els durs corriols, oberts a matxet per esforçats pioners, en suaus autopistes per al trànsit dels qui solament desitgen arribar als cims com més aviat millor, per tal d'aprofitar-se dels immensos, útils i bells horitzons que s'hi contemplen».

RENOVACIÓ MATEMÀTICA, PERÒ AMB MESURA

En una entrevista que li van fer el 1991, i que es troba al llibre que li dedicaren dintre la sèrie «Testimonios para la experiencia de enseñar», a Santaló li preguntaren com definiria el docent. Va respondre que el definiria per les qualitats que ha de tenir, sobretot la de no avorrir l'alumne —i menys en l'ensenyament secundari. En les nombroses conferències que ha fet en els darrers anys, Santaló ha explicat que cal fer la classe atractiva i que per això cal buscar la millor forma d'ensenyar.

Una altra necessitat és que el docent conegui l'alumne, cosa que no és fàcil en el sistema argentí, on el professor fa unes poques hores a molts llocs diferents. I fins i tot a la Universitat, encara que als primers cursos no era fàcil, se'l pot conèixer a partir de tercer o quart i, com diu Santaló, «només mirant ja es veu pels ulls si entén o no entén».

A la pregunta de com definiria el concepte d'ensenyar, Santaló destaca que la primera dificultat és decidir què es vol ensenyar. I es tracta que l'alumne aprengui coses noves. Però Santaló no veu que això es produeixi ara al secundari —si més no, a l'Argentina. Declarava que «l'alumne sap menys en acabar que en començar perquè està malament el programa».

Si Santaló s'ha preocupat de l'ensenyament de les matemàtiques a la secundària ha estat, en part, perquè quan va veure les coses que les seves filles havien d'aprendre va pensar que allò era un disbarat. La petita, Claudia, ho explica així: l'any 1973, quan feia quart de secundari, es va trobar que entre l'activitat política creixent d'aquells anys i començar a sortir amb un noi, va suspendre diverses assignatures. I una va ser matemàtiques, que va deixar estar fins a la convocatòria següent de març —el que per a nosaltres seria setembre.

La nit abans de l'examen li va dir al seu pare que no entenia certes coses. I ell, després de mirar-s'ho, li va dir: «Són "pavadas", això ni ho estudiïs perquè no serveix per a res». Casualment, allò va ser el que va sortir a l'examen. Així que va seguir arrossegant

l'assignatura i es va posar de tots colors quan els professors li preguntaren com era que una filla de Santaló suspenia matemàtiques.

Des d'aleshores, Santaló es va dedicar molt més al tema de les matemàtiques a la secundària, per evitar que hi haguessin en els programes coses que, segons ell, no servien per a res, però que podien dur un alumne al suspens.

Santaló és ferm partidari de la renovació matemàtica, però evitant-ne els excessos. A *L'educació matemàtica, avui* explica que en matemàtiques, passat un cert límit, «l'exactitud no serveix per a res». Cal saber, diu, l'hora d'arribada d'un avió en hores i minuts, però no serveix per a res conèixer-lo en dècimes de segon. També cal saber resultats que sorgeixen d'un conjunt de casos —les eleccions en un país democràtic—, però no importa gens un cas particular —el vot d'una persona concreta.

Per això, en un determinat moment, va néixer una matemàtica menys precisa i menys referida a casos concrets, però molt més útil que la tradicional per a tractar les ciències no exactes: la matemàtica moderna. Per això, aproximadament des dels anys 60, es va anar substituint la matemàtica clàssica, «rígida i per a un món ideal, per la matemàtica moderna, més flexible i per al món real». Això no es refereix a l'aparell lògic, on totes dues matemàtiques són iguals, sinó a l'aspecte calculatori i utilitari. I Santaló destaca que aquesta matemàtica limita amb gran precisió els marges de l'error, perquè «raonar amb dades i resultats imprecisos exigeix una precisió a vegades més gran que no pas raonar amb dades rígidament exactes».

Però Santaló també explica que «l'entusiasme de la novetat deixà de banda les vinculacions d'aquests models amb la natura i amb la vida. Si la matemàtica clàssica, per síntesis i simplificacions successives, havia esdevingut obsoleta per la seva rigidesa, la matemàtica moderna s'havia excedit per l'altre cantó, prenent una fluïdesa i una generalitat que feia difícil de concentrar-la a casos concrets de la vida real».

Era cert que calia reformar l'ensenyament, ja que moltes coses es mantenien simplement perquè el professor les havia après en el

seu temps i continuaven en els plans d'estudi. Eren coses que als alumnes no els servien i a més els feia odiar les matemàtiques. «En certs períodes de la història —explica a *L'educació matemàtica, avui*—, amb una manera de viure estacionària, en què la matemàtica i la tècnica progressaven lentament, la tasca de docent era fàcil. Era suficient que mestres i professors ensenyessin allò que ells havien après quan eren estudiants. (...) Els llibres de text també duraven diverses generacions. Els *Elements* d'Euclides van ser llibre de text durant dos mil anys.»

Però ara el ritme del progrés obliga a canviar acceleradament programes i mètodes, la majoria d'ensenyants han d'explicar coses que ells mateixos no van estudiar. I a més «cal preparar els alumnes per al món d'avui i, si és possible, per al de demà en què ells s'hauran de moure».

A l'Argentina, aquesta renovació va dur, segons Santaló, a fer una matemàtica trivial, sense cap dificultat. En una entrevista que li feren el 1991, ho explica de forma contundent, criticant que als llibres de matemàtiques modernes hi hagués sempre els famosos dibuixos de conjunts per deduir coses que el nen ja entén. Santaló explica que s'inclouien unes grans figures per fer entendre que 3 és més gran que 2: hi havia tres micos i dues gàbies i calia posar un mico a cada gàbia. Com que un es quedava sense, s'entenia que 3 era major que 2. Però Santaló deia que això eren puerilitats: «No expliqui això a primer grau, sinó al jardí d'infància. Digui-li a dos nens que s'han portat molt bé i que els donarà el mateix premi a tots dos. I li dona dos caramels a un i tres a l'altre. I miri la cara que posen.» Es van voler ensenyar coses que el noi ja aprèn sol. I després els alumnes eren fluixos en matemàtiques i arribaven a la Universitat amb un baix nivell.

I és que tal com explica Segovia Fernández, «molta gent es posa a fer canvis i se'ls en va la mà». Però Santaló sempre ha estat molt equilibrat i «va ajudar molt a mantenir el seny en l'ambient». I això s'ha plasmat en molts llibres de text que ha publicat i que milers d'alumnes han fet servir, així com en conferències i textos teòrics que han ajudat a molts professors a fer nous plantejaments.

Santaló s'ha mantingut sempre al marge de la política, tant de la general com de l'acadèmica, i per això mai no ha tingut càrrecs ministerials ni universitaris. Aquesta independència personal, unida al seu enorme prestigi professional ha permès que en les moltes comissions importants en les quals ha participat la seva veu i el seu bon criteri matemàtic exercissin una forta influència. És coneguda en els mitjans educatius argentins la justificació «Ho ha dit Santaló», que molt sovint ha sentenciat resolucions importants.

Si en el món polític Santaló s'ha mantingut neutral, en el món educatiu s'hi ha involucrat de ple. Ha recorregut molts països fent conferències i cursos per a professorat de secundària, ha escrit nombrosos llibres per a professors i per a estudiants i ha aportat sempre el seu seny docent i matemàtic. El seu llenguatge senzill i humil però sempre motivat i convincent i la seva facilitat de comunicació, mai no mancada d'un fi sentit de l'humor, també ha consagrat Santaló com a conferenciant.

Educativament, Santaló ha defensat sempre posicions renovadores, propiciant canvis, adequacions i modernització del que s'explica i de com s'explica, però defensant, pel damunt de tot, la bona formació matemàtica. Santaló ha entès la didàctica no com a ciència, sinó com a metodologia. Geometria i resolució de problemes han estat dos camps on ha incidit especialment, seguint les línies de pensament de Pere Puig i Adam, George Pólya i d'altres.

La seva vinculació i la seva col·laboració constant amb la Unió Matemàtica Argentina l'han portat a ser un bon valedor d'una gran organització derivada de l'UMA i l'Olimpíada Matemàtica Argentina (OMA). L'OMA, liderada en els darrers trenta anys pel professor Juan Carlos Dalmaso, ha generat una innombrable quantitat d'activitats per a professors i alumnes, des de seminaris a cursos, revitalitzant sempre la formació matemàtica i movent milers de persones cada any. A tall d'anècdota, al llarg de 1998 l'OMA va involucrar més de 700.000 persones en les seves activitats. Per a l'OMA, l'ajut, el consell i la participació de Santaló han estat sempre un motiu d'orgull i de referència. I gràcies a ell la tradicional influència de matemàtics de l'Estat espanyol en l'ensenyament ar-

gentí ha tingut una continuïtat amb Claudi Alsina, Miguel de Guzmán i d'altres col·laboradors habituals de l'OMA.

A nivell universitari, alguns dels llibres de Santaló esdevingueren autèntics clàssics, destacant l'enorme difusió de *Vectores y tensores con sus aplicaciones*. La seva família explica l'anècdota que, en moltes ocasions en què apareix el nom de Santaló, han sentit exclamar: «¡Ah, vectores y tensores!». Altres obres influents seves són *La probabilidad y sus aplicaciones*, *Probabilidad e inferencia estadística*, *Geometría proyectiva* i *La geometría en la formación de profesores*, entre moltes d'altres. Algunes han estat traduïdes a d'altres idiomes.

MATEMÀTIQUES PER A LA SOCIETAT

En el nivell bàsic, dels 5 als 12 anys, Santaló considera que cal ensenyar «tot allò que hom consideri que ha de saber qualsevol habitant d'un país. Denominem això *alfabetització matemàtica* i qualsevol ciutadà que desconegui allò que s'hi ensenya ha de ser considerat analfabet matemàtic». Això inclou les quatre operacions elementals amb nombres naturals i racionals positius, més algunes definicions geomètriques i les àrees i volums de les figures i cossos més simples i regulars. I tot això sense embotir els coneixements a pressió, sinó fent-los adquirir a través de la curiositat de l'infant, «el qual, afortunadament, té sempre curiositat per qualsevol cosa que li sigui presentada adequadament».

A l'ensenyament secundari, Santaló explica que la matemàtica presenta les mateixes característiques, però que es torna més abstracta i raonada, alhora que apareix «una de les seves característiques principals: l'axiomàtica». També proposa que s'hi incloguin temes com probabilitats i estadística. I també que s'hi introdueixi l'ús dels ordinadors, no pas com un afegit als sistemes tradicionals, sinó perquè la informàtica «quedi inclosa en els programes de matemàtiques de manera natural, com a cosa substancial amb altres temes».

Relacionada en certa manera amb la informàtica, una de les

innovacions dels darrers vint anys ha estat l'ús de calculadores electròniques, cada vegada més accessibles, més barates i més potents. Santaló no ha estat mai en contra que es fessin servir. Considera que un cop has fet tot el raonament no cal dedicar temps a una operació que pot fer una màquina.

Finalment, cal prestar atenció a les aplicacions, però no tant a les clàssiques d'aplicar fórmules precises i d'abast limitat, sinó a casos menys definits però més freqüents a la vida real. Això fa que a més d'aprendre una tècnica —com geometria en coordenades o àlgebra lineal— «s'utilitzin de manera viva conceptes que d'altra manera poden semblar artificials. La teoria de grafs [conjunts de parells ordenats que satisfan una certa relació entre dos conjunts] presenta sovint enginyosos problemes que, en forma de joc, il·lustren molt bé sobre idees profundes de topologia i combinatòria».

Tot això ha de portar a una bona preparació per encarar la carrera o la dedicació professional que cadascú triï. Però també és imprescindible per preparar bons ciutadans. Ara que ens bombardegen amb tantes xifres macroeconòmiques i que ens ofereixen nombroses oportunitats per demanar crèdits, és més important que mai una educació matemàtica que impedeixi tant l'engany comercial al client —o la tria no prou reflexiva— com la manipulació de dades que permeten estendre una determinada idea sobre situacions polítiques o econòmiques o sobre enquestes d'opinió.

Però les matemàtiques no només tenen aquest vessant pràctic, ineludible en una societat moderna i democràtica. Santaló escrivia, el 1975, que també serveix per a ensenyar l'alumne a moure's pel món «amb unes lleis lògiques, no contradictòries i que encaixin entre elles de forma orgànica en ésser seguides igualment per tots els individus. És a dir, cal aprofitar la matemàtica per a educar l'alumne, no sols en les seves relacions amb la natura, sinó també en el seu capteniment envers la societat».

Per això, «cal educar la intuïció perquè vegi el conjunt per sobre de l'individu. Neix així la idea de funció que presideix tota la matemàtica». I per això pot ser menys important saber calcular amb exactitud la superfície d'un cercle que constatar la forma com

varia en relació amb el radi. L'educació matemàtica serveix per aprendre a trobar solucions no evidents i «per manca d'educació matemàtica, encara la societat lluita i envesteix sense fre per conquerir solucions trivials, que la majoria de vegades no resolen res, o molt poca cosa. Molts han mort lluitant per implantar solucions trivials, preses com a bandera ideològica. Molts, en canvi, viuen encara gràcies als antibiòtics i als marcapassos, que han estat les solucions no trivials a grans problemes». Arribem, doncs, a la matemàtica com a forma de raonament que permet tenir una visió més àmplia del món i a considerar tots els factors, atenent unes normes. Una ciència que educa per a la tècnica i per a la recerca científica, però que també educa per a la vida i per assolir una societat millor.

El llegat científic: de la matemàtica a la medicina i la física

Quan a Lluís Santaló se li pregunta de quins treballs de recerca està més satisfet respon que dels primers, els que va preparar a Hamburg sobre geometria integral, perquè era un tema nou. I amb la seva senzillesa habitual diu que després «he viscut de rendes, amb ampliacions, generalitzacions o aplicacions pràctiques dels mateixos treballs».

Sens dubte, no es pot pas dir que desenvolupar tot un camp nou en matemàtiques i ser-ne el màxim exponent mundial sigui viure de rendes. Però certament els seus treballs amb Blaschke van ser decisius en la seva carrera i ell va tenir la capacitat i l'afany de desenvolupar tot aquest tema innovador. Ho ha dit Mark Kac: «Durant anys Santaló ha estat el líder indiscutible en el camp de la Geometria Integral».

Junt als seus treballs de recerca, l'obra de Santaló en aquest camp s'ha recollit en llibres com el ja citat *Introduction to Integral Geometry*, publicat el 1953, i *Integral Geometry and Geometric Probability*, primer volum de l'*Encyclopedia of Mathematics and its Applications* i publicat el 1976. Aquest es va traduir al rus el 1983 i al xinès el 1991. El 1955 havia escrit *Geometria Analítica* en col·laboració amb Julio Rey Pastor i amb Manuel Balanzat.

Els seus treballs són molt citats. Els cita el seu mestre, Blaschke, en el llibre que va publicar el 1955, titulat *Vorlesungen über Integral Geometrie*. Ho fa el mateix Blaschke en altres obres i també citen Santaló altres matemàtics com Hadwiger, Fejes Toth i Stoka.

Els resultats obtinguts per Santaló es van aplicar en la teoria dels cossos convexos i cal destacar-ne el treball sobre transversals de conjunts de figures convexes que s'aplica a problemes d'optimització. Aquests treballs són citats, entre d'altres, per Eggleston a *Convexity* (1958), per Valentine a *Convex Sets* (1964) i per Hadwiger, Debruner i Klee a *Combinatorial Geometry in the Plane* (1964).

Els estudis de Santaló varen permetre generalitzar el problema de l'agulla de Buffon, exposat al capítol 3. Santaló en va fer després l'estudi de probabilitats sobre l'esfera, un tema que va ser continuat per R. E. Miles. Són aquests treballs els que els anys 60 i 70 varen fer que la geometria integral interessés novament els probabilistes. Però, tal com explica Santaló a *La matemàtica, una filosofia i una tècnica*, ja no es va tornar a les probabilitats geomètriques «en el sentit clàssic, sinó en el marc dels desenvolupaments moderns de la teoria de les probabilitats, sobretot dins els processos estocàstics». En general, estocàstic significa que depèn de l'atzar, però en estadística s'anomena estocàstic un procés que estudia l'evolució d'un sistema qualsevol en el qual la llei de probabilitat és funció del temps.

D'aquesta forma, va néixer la geometria estocàstica, que va ser exposada de forma general per Stoyan, Kendall i Mecke el 1987. Segons Santaló, «el fet més remarcable és que els problemes originats pels processos d'elements geomètrics combinats amb qüestions probabilístiques tenen un significat geomètric clar». Com exemple, Santaló ens parla dels mosaics aleatoris, que són una generalització dels mosaics clàssics estudiats ja al segle passat. Hi ha disset grups diferents de simetries del pla que generen decoracions no equivalents. Aquests disset grups conformen els anomenats grups cristal·logràfics, que va descobrir Fedorov el 1891 i redescobrir Polya el 1924. En una referència a l'art —com tantes altres que fa Santaló—, ens fa saber que, tal com han provat els matemàtics Montesinos Amilibia i Rafael Pérez Gómez, entre els mosaics de l'Alhambra de Granada s'han trobat representacions dels disset grups de simetria possibles. Cinc segles abans que es descobrissin, els àrabs ja varen utilitzar tots els casos possibles per ornamentar aquest palau.

Sovint es pensa que només una part de les matemàtiques té aplicacions, però que conforme les teories es van ampliant i complicant només són útils perquè els mateixos matemàtics elaborin els seus treballs. La matemàtica, un cop traspasat cert nivell, pot convertir-se en massa complexa perquè els no-entesos no només n'arribin a escatir el significat sinó fins i tot perquè vegin que certes fórmules i mètodes tenen molt a dir en el món real i no només en el de les idees.

Així, Santaló esmenta un problema clàssic de la teoria de probabilitats geomètriques: quina és la probabilitat que un triangle definit per tres punts a l'atzar dins d'un domini determinat sigui acutangle —és a dir, tingui tots tres angles aguts. Un problema similar és trobar la probabilitat que el triangle tingui un angle comprès entre 175° i 180° , essent, per tant, marcadament obtusangle. També hi ha problemes que plantegen si el fet que d'un conjunt de punts n'hi hagi més de dos que estan alineats es deu a algun motiu o es produeix per atzar.

Aquests problemes han donat lloc a l'anomenada teoria de la forma, que ha tingut aplicacions en camps com la geologia. Així, s'ha utilitzat per esbrinar si en la distribució de jaciments de certs minerals algunes alineacions es poden considerar degudes a l'atzar o no. El mateix s'ha fet servir per estudiar distribucions de plantes o matolls o per esbrinar si les distribucions de menhirs en una determinada regió tendeixen a alineacions o a formacions circulars. Per tant, problemes teòrics que en principi semblen destinats a explotar les possibilitats de certes branques de les matemàtiques troben una utilitat directa en camps tan diversos com geologia, biologia o arqueologia.

L'ESTEREOLOGIA I LES SEVES APLICACIONS

Hi ha dos treballs més de Santaló que varen obrir noves vies en geometria i que han proporcionat aplicacions molt recents en molts camps, entre els quals hi ha la medicina. Són «Sobre la distribución probable de corpúsculos en un cuerpo deducida de la distribución de sus secciones», publicat el 1943 a la *Revista de la Unión Matemática Argentina*, i «Sobre la distribución de los tamaños de los corpúsculos contenidos en un cuerpo a partir de la distribución de sus secciones», que va aparèixer el 1956 a la publicació madrilenya *Trabajos de Estadística*. Aquests treballs estan a la base de la moderna estereologia.

L'estereologia és, tal com explica Santaló, «una branca interdisciplinària, i força interessant, les tècniques de la qual fan servei a una

gran varietat de disciplines, molt allunyades entre si en aparença, com ara la biologia, la mineralogia i la metal·lúrgia». Curiosament, aquesta branca de les matemàtiques va néixer gràcies a unes observacions fetes durant el Congrés Internacional d'Anatomia que es va celebrar a Nova York el 1960. Alguns participants, explica Santaló, varen observar que es plantejaven molts problemes que consistien a deduir una estructura tridimensional a partir d'unes imatges bidimensionals. Per exemple, calia conèixer la forma exacta d'un tumor del qual només s'hagués observat una secció gràcies a alguna tècnica d'exploració. I es va veure que en metal·lúrgia i en mineralogia també es presentaven problemes d'aquesta mena.

Per això, es va fer una reunió interdisciplinària a la Selva Negra alemanya el maig de 1961. Allà es va batejar la disciplina i va néixer la Societat Internacional d'Estereologia. El primer president, Hans Elias, va fer-ne la definició següent: «Estereologia és un conjunt de mètodes per a l'exploració de l'espai tridimensional a partir del coneixement de seccions bidimensionals o projeccions sobre plans. És a dir, es tracta d'una extrapolació del pla a l'espai». El 1963 es va celebrar el primer Congrés Internacional d'Estereologia, que des d'aleshores es fa cada quatre anys.

L'estereologia serveix per obtenir moltes dades a partir de seccions d'un cos que conté materials o cossos diferents. A partir dels talls s'obtenen dades que ens proporcionen moltes característiques completes. Santaló n'exposa uns quants exemples: estimació de volums, d'àrees, de longituds, del nombre de partícules convexes, de la curvatura mitjana i de formes d'aquests cossos.

Però una de les aplicacions més espectaculars i que ha tingut més impacte directe en moltes persones és l'aplicació a la tomografia computada. Aquest és un mètode no invasiu que permet obtenir imatges molt completes del cos humà. És el que també solem anomenar escàner i que consta d'un aparell de raigs X que es va desplaçant i que permet obtenir «llesques» molt fines d'allò que analitzem i a la profunditat desitjada. Així, es poden obtenir nombroses seccions d'una part del cos i estudiar diverses característiques per saber, per exemple, si hi ha algun tumor. El verb anglès «to scan»

es pot traduir per «estudiar detalladament». Els escàners, per tant, fan un rastreig, analitzant una part del cos de forma minuciosa.

Un problema que es presenta és recompondre a partir de les diverses seccions la forma tridimensional real. I les possibilitats de fer-ho varen néixer d'un problema que aparentment només era una curiositat matemàtica. El va proposar l'alemany J. Radon el 1917. Santaló l'enuncia en la forma més simplificada: «sigui, en el pla, un conjunt convex K que conté en el seu interior un altre conjunt convex K_1 . Considerem totes les rectes del pla que tallen K . Algunes no tallaran K_1 i d'altres el tallaran segons una certa corda de longitud variable a . Suposem que coneixem a per a totes les rectes que tallen K , podem a partir d'això conèixer la forma i la posició de K_1 ?» Radon va demostrar que és possible i que això permet reconstruir sempre allò que hi ha l'interior de K , perquè és pot aplicar el sistema quan K_1 és un conjunt de punts qualsevol contingut a K .

El 1963 entra en escena un físic: Allan Mcleod Cormack. Havia nascut a Johannesburg (Sud-àfrica) el 1924 i va morir el 7 de maig de 1998 a la seva casa de Winchester (Massachusetts, Estats Units). Es va graduar en Física i enginyeria a Ciutat del Cap i va ampliar estudis a Cambridge (Anglaterra). El 1956 va passar un any sabàtic a la Universitat de Harvard, però ja es va quedar als Estats Units, contractat per la Tufts University a Medford (Massachusetts). Tanmateix, va seguir investigant amb el ciclotró —accelerador de partícules— de Harvard. Cormack va aplicar les fórmules de Radon —anomenades transformades de Radon— però amb una variació: va suposar que les rectes que tallaven K eren raigs X i va mostrar que si es coneixia la seva intensitat a l'entrada i a la sortida es podia deduir quines impureses o obstacles s'havien interposat en el seu camí.

Més tard, el sistema va ser perfeccionat i patentat per Godfrey Newbold Hounsfield. Nascut el 1919 a Newark (Anglaterra), als 12 anys ja mostrava un apassionament per l'electrònica i molta destresa. Va estudiar a l'escola d'enginyeria elèctrica Faraday House de Londres i es va convertir en una eminència en radar i en informàtica. Hounsfield treballava a l'EMI British Company, que el 1968 va adoptar com a projecte de recerca el tema de la tomografia. Hounsfield

va aconseguir construir un aparell que integrava fins a un total de 300.000 línies de raigs X que travessaven el cos. Naturalment, calia un ordinador que fes aquesta integració. Per això parlem de TAC o Tomografia Axial Computada. El primer aparell es va instal·lar el 1971 en un hospital de Wimbledon i es va utilitzar per a l'estudi del cervell, on es podien distingir tant petits tumors com diferenciar la substància grisa.

L'any 1979 Cormack i Hounsfield reberen el premi Nobel de medicina en un cas molt singular: no és gens usual que aquest guardó sigui per a un físic i un enginyer electrònic, dues carreres allunyades de la medicina. I com diu Santaló, si Radon hagués viscut, «de ben segur que hauria compartit el guardó». El 1979 ja hi havia més de 2.500 aparells de TAC repartits a 50 països i amb els quals s'havien fet diagnòstics a més de 2 milions de persones. En assabentar-se del guardó, Hounsfield va dir: «El millor premi és l'allau de cartes de gent que ha estat curada gràcies al sistema que va permetre detectar els seus tumors malignes a temps.»

La precisió del TAC ha anat augmentat de manera que avui en només uns segons es poden obtenir imatges que permeten visualitzar mínimes alteracions de qualsevol òrgan o teixit i, per tant, descobrir tumors en un estadi molt inicial. La seva exactitud arriba avui a estudiar fragments de teixits o òrgans de només 1,5x1,5x13 mil·límetres. A més, es tracta d'una tècnica no invasiva, perquè no cal fer cap tall ni obtenir cap mostra.

Els raigs X del TAC travessen el cos en diversos sentits i amb angles d'incidència diferent —l'aparell fa un gir de 180° al voltant de la persona—, per la qual cosa obtenim una visió total i no només d'una sola banda. Al principi, l'escàner, pel seu cost, només es va utilitzar per estudiar estructures nervioses intracraneals. Les imatges ofereixen diferents tonalitats de gris que diferencien el greix, el líquid cefaloraquidi, la substància blanca, la substància grisa, la sang i l'os. Les imatges també permeten detectar, a més de petits tumors, zones on s'ha destruït la mielina que protegeix els nervis, hemorràgies, inflamacions, plaques de calci, zones danyades, etc. En cas que es consideri necessari, es poden injectar substàncies que ofereixen un contrast

als raigs X —tal com es fa en ocasions en l'exploració amb l'aparell tradicional de raigs X, en el cas, per exemple, de l'aparell digestiu. Això permet estudiar unes estructures molt concretes.

Per al sistema nerviós s'utilitzen dos tipus de TAC: la cranial i l'espinal. La primera es fa servir molt després de traumatismes, ja que permet observar si s'han produït hematomes o contusions o lesions cerebrals o si s'han introduït cossos estranys. Serveix també per esbrinar el tipus d'accident vascular cerebral que ha patit una persona. I si hi ha hemorràgia es pot conèixer el punt concret per on sagna l'artèria. La TAC espinal es fa servir per diagnosticar trastorns medul·lars —traumatismes i tumors—, siringomièlia —formació de cavitats a l'interior de la medul·la espinal— o compressió per hèrnia discal.

En els darrers anys la TAC s'ha aplicat a altres parts del cos. Així, ara serveix per localitzar tumors ossis, però també alguns trastorns de la columna vertebral, com l'hèrnia discal. També es pot fer servir per avaluar la massa corporal. En obtenir una imatge tridimensional de l'os, es pot calcular el seu contingut mineral i detectar si la persona pateix osteoporosi, un trastorn que torna els ossos més fràgils i que és usual en la gent gran —sobretot en dones.

La TAC ha facilitat més avenços en ser combinada amb altres tècniques. Així, s'ha associat a la gammagrafia. Aquesta tècnica es basa en la introducció al cos de substàncies radioactives, per estudiar la distribució de la radioactivitat que han generat. Algunes d'aquestes substàncies s'acumulen en teixits lesionats. A través d'aparells de mesura de la radioactivitat emesa a cada zona i d'un ordinador que fa els càlculs i transforma les dades en una imatge, es poden detectar les zones on hi ha lesions.

La combinació de la TAC i la gammagrafia ha portat a la Tomografia per Emissió de Positrons (TEP). En aquest cas, s'administra una substància que emet positrons, que són l'antipartícula de l'electró. Els positrons són, doncs, partícules subatòmiques que tenen les mateixes característiques que l'electró tret d'algunes que són oposades —com ara la càrrega elèctrica, en aquest cas positiva.

La substància radioactiva que emetrà els positrons s'administra per via intravenosa i arriba al cervell. Allà es fixa als teixits de forma di-

ferent. Els positrons xoquen amb electrons, de forma que es desprenen raigs gamma. Aquestes radiacions són mesurades i processades com en la TAC i al final obtenim també seccions transversals de l'encèfal, integrades en imatges tridimensionals. La TEP s'utilitza per distingir zones lesionades i per diagnosticar certes malalties com epilèpsia i corea de Huntington i en accidents vasculars cerebrals.

Però una característica molt interessant de la TEP és que les substàncies radioactives que s'injecten són formes d'oxigen o bé derivats de la glucosa. Com que el cervell utilitza aquestes substàncies bé com a combustible bé per oxigenar les cèl·lules, l'activitat cerebral fa que la radiació sigui més gran a les zones cerebrals on es produeix activitat. La TEP no només ha permès fer molts diagnòstics de funcionaments cerebrals anòmals, sinó que també s'ha utilitzat per observar quines parts del cervell i de quina forma treballen quan es fan diverses activitats, com ara llegir, recordar, memoritzar. Això ha permès grans avenços en el coneixement del funcionament del cervell i ha permès comparar aquest funcionament en persones sanes i en persones amb certes malalties. O bé esbrinar si entre les persones dretanes o esquerranes o entre les qui han seguit o no un tipus d'educació —per exemple musical— hi ha àrees del cervell que funcionen diferent en desenvolupar certes activitats.

Com que amb l'exposició ens hem allunyat de les matemàtiques, hi podem tornar de forma, si es vol, un tant rebuscada. L'escàner també s'ha utilitzat per estudiar mòmies egípcies sense danyar-les. La TAC ha permès estudiar el cos i el seu embolcall, observar si els individus tenien ferides i fins i tot esbrinar algunes de les malalties que patiren. Les matemàtiques varen néixer, gairebé simultàniament, a Babilònia i a Egipte. I quan els antics egipcis feien els primers càlculs i els aplicaven bàsicament al comerç i a les construccions, a la mesura del terreny o als moviments dels astres, estaven posant les primeres pedres d'una ciència que, molt segles després, va possibilitar tecnologies utilitzades, precisament, per estudiar les interioritats de les mòmies trobades en aquell país i corresponents, aproximadament, a l'època dels primers documents matemàtics.

El fet destacable és, en tot cas, que uns problemes teòrics van sig-

nificar una de les revolucions més importants en medicina diagnòstica i en recerca biològica bàsica. Sense el desenvolupament matemàtic per deduir formes tridimensionals a partir d'unes seccions, la imatgeria mèdica no s'hauria pogut desenvolupar com ho ha fet. En definitiva, la història de la TAC és el millor exemple per als qui creuen que els matemàtics s'ocupen de problemes poc reals i fan una feina que no té una utilitat pràctica directa. Més aviat cal recordar allò que deia el fundador de l'Institut d'Estudis Avançats de Princeton, tal com hem explicat al capítol 6: els matemàtics, sense saber-ho, impulsen o afavoreixen avenços en tots els camps.

ALTRES APORTACIONS: DEL CAMP UNIFICAT A LA GEOMETRIA DE NOMBRES

Probablement, els no entesos deuen acceptar amb més facilitat, sense necessitat de gaires exemples, que les matemàtiques tenen una aplicació molt directa en física. Una de les recerques on Santaló va treballar i va fer aportacions significatives és la teoria del camp unificat. El 1916, Einstein va donar a conèixer la seva Teoria de la Relativitat General, que en realitat és una nova teoria de la gravitació. El físic alemany de naixement —i suís de nacionalitat— va elaborar una teoria que substituïa la d'Isaac Newton, que segueix sent una bona aproximació quan la velocitat dels cossos és molt menor que la velocitat de la llum.

La geometria juga un paper essencial en la teoria d'Einstein. Podem imaginar que la força de la gravetat que actua sobre un cos està provocada perquè un altre cos modifica l'espai-temps. Imaginem aquest espai-temps com un llençol ben tibant. Posem al mig del llençol una massa. Si és prou gran, enfonsarà una mica el llençol. Això farà que qualsevol altra massa menor que es trobi en un altre punt del llençol sigui atreta per la primera. Això ens dóna una idea intuïtiva de per què una massa crea un camp gravitatori: distorsiona l'espai-temps de manera que obliga a «caure» cap a ella a altres masses menors. I quan més gran és la massa, més distorsionat estarà l'espai-

temps i més atracció provocarà en els altres cossos. Per això, la teoria de la gravetat d'Einstein és una geometrització d'aquest fenomen.

Però Einstein va observar que amb aquesta teoria de la gravetat l'altra força que es coneixia en aquell moment —l'electromagnètica— quedava fora del seu sistema. Electricitat i magnetisme s'havien considerat fenòmens separats fins que diversos experiments realitzats al llarg del segle XIX varen permetre deduir que eren manifestacions diferents del mateix fenomen. Les equacions de l'escocès James Clerk Maxwell, publicades el 1873, varen establir les lleis que imperen en el camp electromagnètic. I encara que aquestes equacions semblin també un entreteniment per a científics, en van derivar en cadena nombroses conseqüències: l'alemany Heinrich Hertz va descobrir les ones que porten el seu nom —ones hertzianes— en intentar demostrar la validesa de les equacions de Maxwell, l'italià Guglielmo Marconi va aplicar les ones hertzianes per inventar la telegrafia sense fils i la ràdio i John Logie Baird —un altre escocès— les va utilitzar per transmetre imatges, inventant així la televisió. En ciència hi hauria poques coses que, a la curta o a la llarga, poguéssim seguir considerant simples entreteniments.

Einstein va passar els últims trenta anys de la seva vida intentat unir els camps gravitatori i electromagnètic, en el que s'anomena teoria del camp unificat. No ho va aconseguir i tampoc no ha aconseguit ningú fins ara. I és que a més de la força gravitatòria i l'electromagnètica posteriorment es varen descobrir dues forces més. Una és la força nuclear feble, que té a veure amb certes formes de radiació. I l'altra és la força nuclear forta, que manté units en el nucli de l'àtom les partícules que l'integren —protons i neutrons. El 1979, precisament l'any que Cormack i Hounsfield reberen el premi Nobel de medicina, Steven Weinberg, Sheldon L. Glashow i Abdus Salam van ser guardonats amb el premi Nobel de física per la seva teoria electrofeble, que integrava la força electromagnètica i la nuclear feble.

Però afegir-hi la força nuclear forta i després la gravetat és un dels reptes de la física actual. Per fer-ho, els físics col·laboren estretament amb els astrofísics i intenten estudiar les condicions que regien a l'univers fragments de segon —quatrilionèsimes de trilionèsima de

segon— després del *big bang* inicial, quan se suposa que aquestes forces encara no s'havien separat. Això portaria a la teoria de la gran unificació, que significaria la unió, en una sola, de les dues grans teories físiques del segle: la relativitat i la mecànica quàntica.

Però aquests reptes de la física moderna complicarien molt l'exposició i queden fora dels objectius d'aquest llibre. Cal dir, però, que Santaló va fer diversos treballs sobre el camp unificat, ja que aquesta teoria fa molt ús de la geometria diferencial, un dels altres camps on Santaló ha treballat. Concretament, Santaló té cinc articles que esmenten explícitament el camp unificat. Els va publicar els anys 1959, 1960, 1966 i 1972 —dos en aquest darrer any. A la llista d'articles de Santaló, que es troba a l'apèndix, aquests articles tenen els números 101, 103, 112, 127 i 128. Santaló va estudiar equacions molt generals que donen com a casos particulars les d'Einstein i Schrödinger.

Si en el camp unificat s'ha aplicat la geometria diferencial, cal dir que en aquest darrer terreny Santaló també ha realitzat diverses aportacions. No es tractava d'un camp nou, com la geometria integral, sinó una branca que ja s'havia desenvolupat des del segle XIX. Podríem dir, de forma una mica prosaica, que la geometria diferencial estudia corbes i superfícies dividint-les en porcions infinitament petites. Santaló va introduir en l'anomenada geometria afí mètodes que només s'havien utilitzat fins aleshores en geometria mètrica.

Concretament, aquesta aplicació el va portar a estudiar les corbes de Darboux, demostrant que coincideixen amb les corbes extremsals de torsió total. En un article de l'any 1957, «Unas propiedades de la representación local de una superficie sobre otra», publicat a la *Revista de la Unión Matemática Argentina*, aplicava per primer cop els mètodes de la referència mòbil del francès Élie Cartan —precisament el col·lega que el va treure de la comissaria a París— a l'estudi de la geometria diferencial. Pel que fa a la geometria de cossos convexos, Santaló va demostrar teoremes aplicats després en disciplines d'interès pràctic, com les teories d'optimització.

Finalment, Santaló va realitzar aportacions a la teoria de nombres, que estudia les propietats profundes dels nombres. Però com a geometra ho va fer gràcies al fet que Hermann Minkowski va introduir

l'anomenada teoria geomètrica de nombres, que relaciona les propietats dels nombres amb qüestions geomètriques. Minkowski era un matemàtic lituà, nascut a Aleksotas el 1864 i mort a Göttingen el 1909. En teoria de nombres, una de les seves aportacions va ser considerar la xarxa formada pels punts del pla les coordenades cartesianes dels quals són nombres enters. Però un altre treball encara més conegut va ser interpretar geomètricament la teoria de la relativitat restringida d'Einstein. Per això, va formalitzar l'espai quadrimensional —tres dimensions espacials i una temporal— que porta el seu nom. Minkowski fou, doncs, l'introduïdor formal del que anomenem espai-temps. En el pla curiós, resulta que havia estat professor, a Zúric, d'Albert Einstein i uns anys més tard va establir el formalisme de l'espai quadrimensional adaptat a una de les teories més conegudes del seu exalumne.

Santaló va fer una demostració original del teorema de Minkowski-Hlawka, la demostració d'una desigualtat conjecturada per Mahler i la generalització de resultats de Tsuji. En aquest darrer cas, Santaló va arribar a un teorema de geometria hiperbòlica, paral·lel al que Minkowski va enunciar en l'elaboració de la teoria geomètrica de nombres.

En definitiva, Santaló no només va ser el màxim exponent en un camp, sinó que va realitzar reconegudes aportacions en d'altres. Però sempre des de la geometria. Com deia el rector de la Universitat CAECE de Buenos Aires, Jorge E. Bosch, quan van nomenar Santaló doctor *Honoris Causa* (el maig de 1992), el matemàtic catalanoargentí té «una decidida mentalitat geomètrica: fins i tot quan el tema investigat no sigui originàriament geomètric, el tractament que ell li dóna l'aproxima a aquella forma de pensament. A més, la geometria de Santaló té —valgui l'aparent redundància— *sabor geomètric*». Deia això darrer «perquè els seus treballs estan sempre vinculats amb representacions que tradicionalment són considerades geomètriques: corbes, superfícies, figures, mesures, cossos convexos. Per contraposició, hi ha altres geomètres, l'obra dels quals té més *sabor algebraic*, en el sentit que els seus treballs consisteixen en l'estudi d'estructures abstractes que molt llunyanament s'emparenten amb les figures de la vella geometria».

I Bosch afegí que aquest sabor geomètric és coherent amb les concepcions pedagògiques de Santaló: sempre té la tendència a «reforçar la intuïció de les coses, a conferir importància a allò que l'alumne pot veure i fer per si mateix, a mantenir una assenyada vinculació entre el coneixement que imparteix i la realitat, a reduir el formalisme a l'estrictament necessari per comprendre el mètode deductiu de la matemàtica». I això dóna a la vida intel·lectual de Santaló una significativa unitat: «és el desplegament d'un pensament coherent i sense fissures».

Una vida intel·lectual que l'ha portat a geometritzar de manera que moltes teories matemàtiques han pogut arribar de forma més senzilla als seus alumnes. I simbolitzades en aquells gestos en l'aire, en aquells dibuixos que amb les mans feia Santaló a l'aula i que transformaven conceptes potser estranys i equacions complexes en elements visibles, en coses existents, donant a tot l'aparell de càlcul i deducció una forma que l'encabia en el món real i no només en el de l'abstracció.

“Esforça't en el teu quefer...”

El 14 de juliol de 1977, Lluís Santaló va rebre el primer homenatge públic a Catalunya i a tot l'Estat espanyol. Matemàtic reconegut ja arreu, va haver d'esperar fins aleshores per rebre el primer doctorat *Honoris Causa* d'una universitat catalana: la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) —que aleshores encara es deia Universitat Politècnica de Barcelona. L'acte va ser apadrinat i organitzat per Enric Trillas i en el seu parlament Santaló, a més de les exposicions acadèmiques que després comentarem, va tenir, en primer lloc, uns comentaris sobre Pere Pi i Calleja, que va assistir a l'acte i que s'acabava de jubilar com a catedràtic de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, institució a través de la qual Trillas havia promogut la investidura.

Aquest acte va ser l'inici d'unes bones relacions matemàtiques i personals amb Enric Trillas, Claudi Alsina, Eduard Bonet i d'altres matemàtics del departament de Pi Calleja, que han donat lloc a interessants contactes científics i humans. Santaló exercí de membre del Comitè Editorial de la revista matemàtica *Stochastica* de la UPC, participà com a president del Comitè Científic i com a conferenciant en el Congrés Mundial de Matemàtiques al Servei de l'Home, celebrat a Barcelona el 1977, i compartí en no poques ocasions actes i conferències amb Trillas i Alsina.

Enric Trillas va exposar la trajectòria científica i humana de Santaló i en va destacar els seus treballs en geometria integral i en altres camps. Trillas va acabar el seu parlament en elogi del nou Doctor *Honoris Causa* amb aquestes paraules:

«Per acabar vull dir que la integració de Santaló a la cultura argentina i sud-americana és molt gran, sense que això mai no l'hagi fet deixar d'ésser veí de la plaça de Sant Pere

de Girona, la qual cosa, si l'honora molt a ell, no pot deixar massa tranquil·la la nostra consciència en pensar que un savi català no hagi pogut, per ara, fer escola a casa.

»Cal dir que tenim davant nostre un gran català d'Amèrica, un dels nostres millors ambaixadors per la gran alçada científica que ha assolit i pel gran respecte que allà, com arreu, li té tothom. Com Casals, com Miró, com Sert, com Trueta..., Santaló és un català universal. Al seu costat mai falta un alè, un somriure.»

Seguidament, i després del record a Pi i Calleja, Santaló va expressar l'emoció que sentia en ser «la primera vegada que en un acte acadèmic puc expressar-me en la llengua en què el meu enteniment va aprendre a conèixer les coses, a anomenar-les, i el meu esperit a manifestar els seus sentiments i emocions, la llengua en què, de petit, la mare em contava contes i cantava al peu del bressol».

Efectivament, Santaló va fer tota la carrera com a matemàtic fora de Catalunya. En els anys anteriors a la guerra encara hauria pogut utilitzar la seva llengua per publicar treballs o, donar classes o fer conferències, però durant la dictadura franquista el català, com sabem, havia estat prohibit o, en el millor dels casos, en els darrers anys, tolerat per a certs usos. El 1977 ja es podia utilitzar com a idioma científic públic.

Les filles de Santaló recorden que el seu pare els cantava cançons de bressol en català. I fins i tot ara són capaces de repetir-ne algun fragment, tot i que no n'entenen el significat. Les seves filles recorden amb emoció la conferència que va poder fer el seu pare en català el 1977. I van més lluny: li retreuen que no els hagués ensenyat català. La petita, Claudia, diu que li hauria encantat aprendre català: «Ja sé, és un idioma *chiquito*, no és que et serveixi per a la vida, però és una pena. Ens podia haver parlat en català i aprendre'l.»

Al marge que no els hagués ensenyat la seva llengua, és cert que Santaló va dedicar molt de temps a les seves filles. Les cançons de

bressol, com ha quedat dit, els contes, els ajuts en l'estudi, certes discussions polítiques, l'orientació personal... Li agraeixen l'educació que, junt amb la seva mare, les va donar, però també aquí tenen alguns retrets: que els no hagi explicat més coses de la seva vida, de la guerra, de l'exili. Entenen, però, que són èpoques gens agradables i que el seu pare preferia no parlar-ne amb elles.

També varen separar sempre el pare i el matemàtic il·lustre. Un amic les va preguntar en una ocasió com era tenir un pare així, un destacat investigador. I elles varen adonar-se que mai no hi havien pensat, que consideraven el seu pare en l'aspecte més personal, però que mai no el veien com el científic d'elit que era.

En ocasions, les filles s'enduien alguna sorpresa. Un dels primers cops que el futur marit de la segona, Alicia, va anar a dinar a casa dels Santaló, li va preguntar de quin *cuadro* —equip— era. Ella va pensar que el seu pare sempre havia estat allunyat d'aquestes coses. I tanmateix, a la pregunta del futur gendre, Freddy, Lluís Santaló li va respondre que era «del Rojo [Independiente] de Avellaneda de tota la vida». I així s'assabentaren d'un detall que en vora vint anys encara no havien conegut. Potser perquè voltat de dones a les quals no agradava el futbol no tenia amb qui comentar les incidències i els resultats.

Les filles de Santaló han anat ampliant el cosmopolitisme de la família. No és estrany que ell, un argentí nascut a Catalunya, casat amb una argentina filla de pare italià i mare alemanya, hagi tingut una descendència que seguís amb la barreja. La gran, Tessi, es va casar amb un argentí de mare francesa. Tots dos són oceanògrafs i viuen a Toló, vora Marsella. Tenen tres fills: Nathalie —ja casada—, Alexandre i Emmanuel. La segona, Alicia, té també tres fills, però en aquest cas dues noies i un noi: Paloma, Esteban i Lucía. És arquitecte i amb el seu marit varen viure a Bèlgica i a Mèxic. Claudia, la filla petita de Santaló, també és arquitecte.

ELS PREMIS I ELS SENTIMENTS

Pot sorprendre que Santaló no tingués prou reconeixement a la seva terra fins ben entrats els anys 70. És possible que en ser exiliat hi hagués certs entrebancs polítics. És cert que se'l convidava i a partir dels anys 60 va venir amb certa assiduitat. Però també ho és que un personatge de la seva categoria científica hauria d'haver estat molt més aprofitat. Podia fins i tot, la Universitat catalana, haver recuperat Santaló? En certs moments possiblement sí, però ni tan sols ho intentà. I més endavant ja era dubtós que Santaló, amb tantes arrels a l'Argentina, hagués acceptat de tornar.

En tot cas, sabem que al nostre país els científics no solen tenir el reconeixement que mereixen —ni els que van marxar ni els que es van quedar. Ell tampoc no ha volgut fer servir l'exili com un mèrit: «Crec que els que es varen quedar —diu— patiren més que nosaltres.» Quan el van fer doctor *Honoris Causa* per la UPC, Santaló ja ho era per la universitat argentina del Nordeste (1977). Després ho va ser per d'altres també del seu país d'adopció: Misiones (1982), Tucumán (1983), San Juan (1991), CAECE (1992) i Buenos Aires (1992). El 1986 la Universitat Autònoma de Barcelona també el va fer doctor *Honoris Causa*. I el mateix va fer la Universitat de Sevilla el 1990.

Aquest doctorat a Sevilla, apadrinat per José Luis Vicente a través de la Facultat de Matemàtiques, fou de fet promogut per Gonzalo Sánchez Vázquez, un matemàtic clau en el moviment de renovació de l'ensenyament a l'Estat espanyol, president de l'associació de professors "Thales" d'Andalusia i de la Federació de Societats de Professors de Matemàtiques d'Espanya.

Gonzalo Sánchez, que també visqué anys d'exili, en el seu cas a Veneçuela, i de qui Santaló esdevindria molt amic, dedicà grans esforços entre 1980 i 1996, any del seu traspàs, a impulsar i liderar la creació de societats i de la seva federació, a establir relacions iberoamericanes i a projectar la didàctica de la matemàtica arreu. Aquest procés culminà amb la celebració a Sevilla, el 1996, del 8è Congrés Internacional d'Educació Matemàtica, amb prop de 4.000

participants i sota la presidència del mateix Gonzalo Sánchez. L'organització local la va portar Antonio Pérez, el comitè internacional de programa depenia de Claudi Alsina i el president de l'ICMI era aleshores Miguel de Guzmán, és a dir, un grup de matemàtics molt relacionat amb Santaló.

Cal dir que en tot moment el moviment liderat per Gonzalo Sánchez comptà amb l'ajut de Santaló, el qual acceptà participar tant en les Jornades Iberoamericanes d'Educació Matemàtica de Huelva com en el primer CIBEM —Congrés Iberoamericà d'Educació Matemàtica— celebrat el 1990. Va ser durant aquest congrés que Santaló va rebre el doctorat *Honoris Causa* a Sevilla.

Santaló també ha estat nomenat membre honorari de la Royal Statistical Society del Regne Unit —el 1984—, membre honorari perpetu de la Societat Internacional d'Estereologia —el 1994—, membre de l'Acadèmia de Ciències de Nova York —el 1997— i membre corresponent de l'Institut d'Estudis Catalans. El 1980, en el Congrés Internacional d'Educació Matemàtica que se celebrà a Berkeley (Califòrnia) els representants dels països llatinoamericans li van retre un homenatge i regalar una placa «en reconeixement dels seus esforços per al millorament de l'educació matemàtica a l'Amèrica Llatina». Un reconeixement que el 1990 va repetir el Centro Latinoamericano de Matemática e Informática de la UNESCO —amb seu a Lima—, «per haver dedicat tota la seva vida a formar escola i contribuir al desenvolupament i la difusió de la matemàtica a l'Amèrica Llatina».

En el camp extracadèmic, va ser elegit «Mayor Notable Argentino» per la Cambra de Diputats, el 1997. El 1984 la Generalitat de Catalunya li va concedir la Medalla Narcís Monturiol a la Ciència i la Tecnologia, mentre el 1994 va rebre, també de mans del president Jordi Pujol, la Creu de Sant Jordi, que es lliura a personalitats destacades en qualsevol camp. El 1983 va rebre el premi Príncep d'Astúries d'Investigació Científica i Tècnica, un premi, que, com recorda, també havia rebut, en el camp polític, l'expresident argentí Raúl Alfonsín. I el març del

1996 l'ambaixador d'Espanya a l'Argentina li va lliurar la Encomienda de Alfonso X el Sabio, una distinció que havia promogut Enric Trillas.

Trillas, en el seu parlament, va felicitar Santaló en nom del Ministeri d'Educació i Ciència i del secretari d'Estat d'Universitats i Investigació. I va manifestar el desig de transmetre la felicitació també «en nom de la comunitat d'ensenyants i investigadors espanyols, entre els qui m'incloc. A més de felicitar-lo per la condecoració, crec que és obligat expressar al professor Santaló el nostre agraïment per la seva obra, que té, en el camp de les matemàtiques, valor universal». I va afegir:

«No és en absolut una casualitat que la condecoració li hagi estat atorgada per Sa Majestat el Rei a través del Ministeri d'Educació i Ciència, ja que a la Ciència i a l'Educació ha consagrat Lluís Santaló la seva vida. Una vida que, en la meua opinió, s'ha ajustat sempre al vers del poeta català Joan Maragall:

Esforça't en el teu quefer
 com si cada detall que pensis,
 de cada paraula que diguis,
 de cada peça que posis,
 de cada cop de martell que donis,
 depengués la salvació de la humanitat,
 perquè en depèn, creu-ho.

»Lluís Santaló no és només un professor universitari i un gran investigador, és un mestre. I és un mestre a qui molts, tot i sense aconseguir-ho, voldríem assemblar-nos. Per a molts, Lluís Santaló és el model a copiar. Personalment, m'impresiona la concisa explicació que en el seu llibret *L'educació matemàtica*, avui dóna de per a què s'ensenyà: s'ensenyà, hi diu ell, per al bé, per a la veritat i per a conèixer i entendre l'univers. És una frase que reflecteix, a més, la vida

de Santaló: una vida dedicada a fer el bé, a buscar la veritat i ajudar-nos a comprendre i entendre. Molts prop d'ell, i tant em refereixo a la seva persona com a la seva obra oral o escrita, hem pogut conèixer i entendre més i millor, acostar-nos a la veritat, en suma. Molts, amb el seu exemple, hem pogut sentir quina cosa més subtil és el bé i com podem fer-lo amb constància, austeritat i fortalesa d'esperit. Santaló ha exercit amb molts, que ho han notat, allò que diu la famosa frase de Goethe. "Dóna més força saber-se estimat que no pas saber-se fort". »

I més endavant, destacant la capacitat de treball de Santaló, Trillas recordava una frase de Nietzsche: «que poc recordem quant d'esforç han costat les coses bones». I va acabar amb aquestes frases:

«I, saben?, si hagués de concretar què és allò que transcendeix més enllà de les matemàtiques que Santaló ha produït i ens ha ensenyat, diria, en primer lloc, una cosa que ell mateix ha repetit diverses vegades: la recerca racional però imaginativa de solucions als problemes, però solucions belles, no trivials i obtingudes de forma a la vegada senzilla i prou rica perquè resolguin ajustadament el problema i l'emmarquin en una categoria genèrica de noves qüestions. En segon lloc, però no desconnectat de l'anterior, la seva gran fe en l'interès formatiu i en la utilitat de les matemàtiques, tant en si mateixes com a objecte d'estudi, com en les seves aplicacions a altres camps de la ciència i de la tècnica. En tercer lloc, i coherentment, la continuada dedicació de Santaló a millorar l'ensenyament de la matemàtica en la línia d'educar els estudiants en ella i amb ella.

»En fi, i per acabar, si fos un seguidor de la teoria de Vico que "la veritat és allò que sabem fer", aleshores diria que Santaló és un dels grans "hacedores de verdades" d'aquest segle.»

Aquest era un més d'una gran quantitat d'homenatges, per als quals Santaló havia fet mèrits sobrats: 154 articles en revistes especialitzades, 25 llibres —alguns de col·lectius—, 31 participacions en congressos i simposis, vora un centenar de treballs entre articles de divulgació, conferències i textos sobre educació matemàtica... Fruit d'una activitat intensa, que als 80 anys encara el duia dos dies a la setmana a la Universitat, donant classes sobre actualització pedagògica, i a visitar instituts per donar els seus consells. I tot mantenint-se al dia, llegint revistes per a professors de secundària, anant a congressos...

Més recentment, el seu estat físic l'ha obligat a limitar tota activitat. Per motius de salut va renunciar a ser membre actiu de les diverses acadèmies. Però aleshores es va trobar que totes li demanaven un discurs de comiat, amb la qual cosa el remei era pitjor que la malaltia. Les morts de Manuel Balanzat, d'Alberto Calderón i de tots els seus amics de joventut també han afectat el seu estat d'ànim. Però les atencions de la seva esposa Hilda i de la seva família li han procurat sempre, i ara més que mai, un enorme estímulo per a viure i superar dificultats. Els seus néts, que sempre l'han anomenat «tata», han estat sempre motiu de joia i les relacions amb la família de Girona sempre s'han mantingut vives.

El setembre de 1997 va ser nomenat acadèmic honorari de l'Acadèmia Nacional de Ciències de Buenos Aires. Va redactar un parell de fulls, on volia expressar el seu agraïment «dintre de les meves possibilitats d'expressió, que ja van quedant-ne poques». Va dir que «quan la paraula falla, ja sigui per dificultats d'expressió o per oblit, per manca de símbols i de sosteniment, també van desapareixent les idees i els pensaments». Però aleshores sorgeixen més forts els sentiments, com ara «la gratitud als amics, l'amor a la família, el respecte al proïsme, l'admiració pel saber aliè».

En una de les seves últimes activitats acadèmiques va poder donar sortida a aquests sentiments, amb un retorn als orígens. El novembre de 1991, fets els 80 anys, la Càtedra Ferrater Mora de Pensament Contemporani de la Universitat de Girona, dirigida pel filòsof Josep Maria Terricabras, el va convidar a impartir un curs

durant un parell de setmanes. També va participar, junt amb Enric Trillas i Claudi Alsina, al Centre Cultural de La Mercè, en un cicle de conferències organitzat per l'ajuntament de Girona per als professors de Matemàtiques de la ciutat. Aleshores no només va poder retrobar antics deixebles, exposar la seva visió de la matemàtica i conèixer persones de diversos camps, amb les quals va mantenir un interessant i enriquidor intercanvi d'idees, sinó que va poder passejar amb calma per la seva Girona natal, sempre acompanyat de la seva esposa Hilda.

Una Girona que, naturalment, havia canviat molt des que ell la va deixar. Que ja no era aquella ciutat que va cantar el poeta Josep Carner: «Girona, grisa i negra, solemne i afinada, /conec el teu misteri i el teu immens dolor». Era una Girona més alegre i acolorida i més cofoia. A més de retrobar antics amics i de fer-ne de nous, Santaló va veure coses que el van sorprendre. Li va semblar que estava en un altre món. Quan ell estudiava només hi havia, a totes les comarques gironines, dos instituts: un a Girona mateix i l'altre a Figueres. Santaló va veure que més de seixanta anys després molts pobles petits tenien el seu institut i que alguns poblacions mitjanes fins i tot en tenien dos.

Un altre motiu de sorpresa i satisfacció va ser conèixer la jove Universitat de Girona. No era, com havia pensar primer, una extensió universitària, sinó una universitat independent. Li semblava extraordinari i l'emocionava. I va manifestar que la grandària era ideal, que les grans universitats ja tenen, pel seu volum, una inèrcia que fa molt difícil canviar-ne el rumb. Però que les universitats petites podien tenir incidència positiva si no imitaven les grans i es dedicaven a pensar en carreres adaptades a les noves necessitats i en nous estudis. Una universitat nova, va dir, ha d'intentar ser original.

Santaló tenia i té altres motius per sentir-se orgullós quant al desenvolupament de la seva ciència al seu país natal: les matemàtiques a Catalunya han assolit un bon nivell. El 1998 es va publicar un dels informes de la recerca a Catalunya, elaborats per encàrrec de l'Institut d'Estudis Catalans: el corresponent a Matemàtiques.

Allà hi consta que, prenent els articles que han estat objecte d'una recensió al *Mathematical Reviews*, Catalunya en va produir, entre 1990 i 1996, 1.429. Això la situa en una bona posició quant a articles respecte a la població —a prop d'Alemanya, Regne Unit, Itàlia i Noruega i per davant d'Espanya (sense Catalunya) i Japó. Mesurant el nombre d'articles respecte al PIB, Catalunya queda una mica per sota del que li correspondria.

Però els autors també varen calcular el nombre d'articles d'excel·lència respecte al total. Varen considerar articles d'excel·lència els publicats en una sèrie de 35 revistes que van triar per la seva qualitat i impacte. Com totes les tries, és subjectiva i en aquest cas se centra molt en matemàtica pura. Però com diuen els autors i corroboren altres especialistes, amb una altra tria els resultats no diferirien sensiblement. En aquest cas, Catalunya se situa amb una excel·lent proporció de 8,2 articles d'excel·lència respecte al total, només per darrera d'Estats Units, Noruega i Dinamarca. Això indica que si en quantitat d'articles publicats Catalunya està a un nivell acceptable per les seves dimensions, quant a la qualitat el seu nivell encara és més alt del que li correspondria.

Val a dir que, tal com també indica el report, el nombre d'articles publicats arreu del món ha crescut de manera espectacular. El 1943 se'n varen publicar 2.834, mentre el 1953 eren 7.219, que es convertiren en 14.147 el 1963 —sempre prenent els que han tingut recensió al *Mathematical Reviews*. El 1973 se'n varen publicar 29.808, el 1983, 40.195 i el 1993, 54.019.

Santaló mateix va dir, en el discurs fet quan el nomenaren *Honoris Causa* a Sevilla, que els articles matemàtics publicats el 1989 haurien format, junts, 350 volums de 1.000 pàgines cadascun. «Aquest fet —deia— ocasiona greus problemes d'informació i d'emmagatzemament, ja que resulten insuficients tant els espais com els pressupostos dedicats a les hemeroteques. D'altra banda, aquest maremàgnum de publicacions no és proporcional a la seva utilitat, ja que segurament que moltes d'elles que podrien ser útils en altres capítols de la matemàtica o en altres branques del coneixement passen desapercibudes.»

LA MATEMÀTICA: ART, FILOSOFIA, TÈCNICA

Santaló s'ha distingit no només per treballar les matemàtiques, sinó per reflexionar-hi i per exposar aquestes reflexions. Una de les seves idees més repetides és el lligam de la matemàtica amb l'art, potser perquè com a geòmetra ha estat per ell molt evident. En ser investit Doctor *Honoris Causa* a la UPC el 1977, va fer un discurs titulat «La Matemàtica en la tècnica i en l'Art». Allà hi afirmava:

«Per a comprendre el paper de la matemàtica en el món actual, s'han de tenir en compte les seves característiques, és a dir, que la matemàtica és art, com és creació i se serveix de la fantasia; és ciència, perquè a través d'ella s'aconsegueix un millor coneixement de les coses, dels seus principis i causes; i és tècnica perquè proporciona mètodes i mitjans per resoldre problemes i actuar sobre la Naturalesa i els seus fenòmens. És a dir, com a art, ajuda a discernir les formes i a apreciar la naturalesa com a doll de bellesa i harmonia; com a ciència, ajuda a conèixer la Naturalesa i a entendre les seves lleis; com a tècnica, contribueix a dominar la Naturalesa i les seves forces, per a posar-les al servei de la vida i del benestar de l'home.

»Les tres coses no poden anar separades. Polaritzant-se en art, la matemàtica passa a ser misticisme i filosofia. Si és solament ciència, es torna àrida i seca, com la matemàtica escolàstica de l'ensenyament tradicional. Si es conserva estrictament tècnica, arriba fàcilment al límit de les seves possibilitats i esdevé rutina monòtona i estèril.»

Més endavant es preguntava si la matemàtica era creació o descobriment. I per això discutia, com s'ha fet tantes vegades, si molts conceptes matemàtics pertanyen a la realitat o només al món de les idees. I afirmava:

«Podríem dir que certes idees primitives són preexistents i que el matemàtic només les descobreix, de la mateixa manera que l'astrònom descobreix una nova estrella o el físic nuclear una nova partícula elemental. Però a partir d'aquestes idees, una vegada adquirides, el matemàtic les combina entre elles, les elabora i coordina, com el constructor les rajoles o el poeta les paraules, i és aleshores com el matemàtic, trobant-se davant d'una possibilitat d'elecció infinita, passa realment a crear i la matemàtica, de ciència natural, esdevé art.»

Però la matemàtica serveix realment per entendre la natura i per entendre l'art. I molts creadors ho han vist així. Santaló cita l'arquitecte Le Corbusier quan deia: «La matemàtica en l'art no són els càlculs, sinó la presència d'una majestat, d'una llei de ressonància i ordenació infinita... si es comprèn el que és la matemàtica en el sentit filosòfic, la trobarem en totes les obres de la naturalesa.»

La matemàtica, però, no sempre es fa evident. Cal descobrir-la, tal com fa el protagonista d'una novel·la de l'escriptor mexicà Arturo Azuela, que és un cas inusual. Azuela va estudiar música, enginyeria, matemàtiques i història i filosofia de la ciència. Durant més d'una vintena d'anys va ensenyar matemàtiques i història de la ciència i també va fer divulgació científica com a periodista. En la seva novel·la *El matemático*, publicada inicialment el 1989, un personatge descobreix la música, sense entendre encara les seves interseccions amb les matemàtiques:

«Aquellos conjuntos de sonidos y estructuras tan complejas, le parecían algo fuera de cualquier realidad; sólo un genio —o un conjunto de genios—, lo decía a diario con mayor admiración, había llegado, aprovechando la sabiduría de muchos siglos, a la hondura y la jerarquía que otorga el tiempo, a esta armonía de notas blancas o negras, de rectas minúsculas, de curvas, de diagonales, de números, de siglas;

aún no sabía que esa admirable arquitectura era un sistema matemático.»

Més tard, captivat per l'astronomia i la matemàtica, el protagonista anava dirigint-se cap a l'estudi del cosmos, però sense oblidar la presència de l'art: «De un momento a otro, en la inconsciencia pura, el aspirante a astrónomo matemático tenía a su lado al creador imaginativo que no olvidaba las facultades del músico i las intenciones del poeta a punto de nacer.» Més endavant el personatge ja entenia que tot aquell espectacle celeste tenia un ordre que els matemàtics poden descriure:

«El universo tenía sentido, adquiriría una razón de ser, por la medida de sus cosas, sus volúmenes y sus pesos, por sus distancias recorridas y sus tiempos transcurridos. Detrás de todo había una cantidad, una línea, una curva, un número; había un lenguaje sólo adquirido por los sabios de la aritmética y de la geometría, los que mejor que nadie conocían sus cadenas llenas de misterios. Parecía que la esencia de cada elemento, cada línea, cada trazo, cada objeto, correspondía a un número; nada escapaba a una cantidad precisa. El sueño de Pitágoras parecía cumplirse en la mente del observador.»

Santaló, amb la seva visió geomètrica allunyada del pur formalisme, ha insistit moltes vegades en la utilitat d'aquesta ciència, sense descuidar la seva part més pura. En el seu discurs de recepció del doctorat *Honoris Causa* a Sevilla, el 1990, va posar com exemple d'aplicació el TAC, amb el treball conjunt, per bé que separats en el temps, d'un matemàtic, un físic i un enginyer. I afirmava:

«Aquesta dualitat, pura i aplicada, o filosofia i eina, de la matemàtica, que la converteix en un entreteixit de camins i ponts entre el món de les idees i el del nostre entorn real,

és precisament allò que li dóna universalitat i permanència, pel seu ampli espectre de gustos i varietat de formes. Potser sigui per això que la matemàtica és al mateix temps la ciència més conservadora i la més creativa i canviant, que conserva fresques i vives les seves arrels més remotes, en renovada harmonia amb els brots més recents i revolucionaris.»

Una harmonia entre ciència pura i aplicada, entre la idea abstracta i la seva existència real —sigui com a constatació de quelcom o com a creació d'un nou sistema o aparell. És a la geometria, més concretament, que li correspon una correspondència més estreta amb la realitat. El 1992 Santaló deia, en acceptar el títol de Doctor *Honoris Causa* a la Universitat CAECE de Buenos Aires:

«La matemàtica, en el seu màxim grau de puresa, és exclusiu raonament. És una ciència creada i desenvolupada en el món de les idees, tot i que moltes vegades, a posteriori, els seus assoliments foren aplicats als fenòmens naturals. La geometria, en canvi, té el seu origen en la natura mateixa, en les formes i en les transformacions dels seus objectes constituents. S'assembla a la física, l'objectiu de la qual és l'estudi dels fenòmens naturals.»

Això faria que un món diferent hagués donat una geometria diferent, però no necessàriament unes altres idees abstractes:

«Davant d'una natura diferent, tot i conservant les mateixes lleis de la lògica i del raonament, la geometria, com la física, serien diferents, mentre que la matemàtica en el seu sentit estricte, junt amb el càlcul que l'acompanya, podrien seguir sent els mateixos.»

Santaló sembla expressar, doncs, la idea que en les matemàtiques hi ha creacions que no corresponen a elements reals, sinó

que simplement han estat produïdes per la ment i que podrien haver sorgit en qualsevol món de qualsevol natura. En canvi, la geometria, per estranya que sembli en ocasions als no entesos, respon a una realitat, està inspirada per la realitat. Va ser creada per mesurar la Terra i després es va estendre a mesurar i estudiar l'univers, però «pensant sempre en l'univers estable i ordenat de la nostra intuïció». Vingueren després, en diverses ciències, noves idees i noves constatacions, que semblaven anar contra el nostre sentit de les coses, però que es revelaven també reals en certs llocs i sota certes condicions. I ara descobrim més universos diferents, que donen més terreny per córrer a la geometria:

«Actualment, comença a utilitzar-se per estudiar l'univers turbulent i caòtic que apareix tant en l'infinitament petit dels àtoms i partícules elementals, com en l'infinitament gran del cosmos, infinituds, petites o grans, tant en dimensions espacials com en intervals de temps. Caldran, per al futur, noves intuïcions i nous raonaments, és a dir, una nova geometria i una nova matemàtica per poder concebre móns que per les seves dimensions i eternitat, presenten formes i s'ajusten a lleis que en el present són difícils de concebre, donades les nostres dimensions tant espacials com temporals, totes dues infinitèsimes.»

Hi haurà, doncs, noves realitats, que aniran apareixent als nostres ulls conforme avancem en el coneixement. Sorgiran noves sorpreses, quan pensem que ho sabem gairebé tot, i apareixeran mons que desafiaran novament la nostra intuïció. I hi haurà branques de les matemàtiques, com la geometria, que, tot i la seva aparença abstracta i estranya, ajudaran a conèixer la realitat i a establir les lleis que la governen. Hi haurà geòmetres que trobaran nous sistemes i noves tècniques. I hi haurà geòmetres que, com Lluís Santaló, mouran les mans en l'aire, dibuixaran figures i ens recordaran que aquell idioma especialitzat, d'equivalències reservades als experts, per allunyat i artificial que ens

sembli, no és sinó l'expressió de la realitat, que algunes ments privilegiades han aconseguit de copsar i de traduir en un llenguatge de símbols.

Bibliografia consultada

- Atienza, Rivero, E. (1993): *El general Herrera. Ciencia y exilio*, Proyecto Sur, Granada.
- Azuela, Arturo (1993): *El matemático*, CSIC-Seminario de Cultura Mexicana, Madrid.
- Bethell, Leslie (ed.) (1997): *Historia de América Latina*, volum 12, Crítica, Barcelona.
- Canudas, Josep (1983): *Història de l'Aviació Catalana (1908-1936)*, La Magrana, Barcelona.
- Del Hoyo, Josep (dir.) (1989): *Enciclopèdia de Medicina i Salut*, Enciclopèdia Catalana, volums 1 i 2, Barcelona.
- Diversos autors (1995): *Diccionari d'Història Universal*, Edicions 62, Barcelona.
- Girbau, Joan (1998): *Reports de la Recerca a Catalunya: Matemàtiques*, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona.
- Guérout, Serge (1992): "Science et politique sous le Troisième Reich", *Marketing*, París.
- Heims, Steve J. (1986): *J. von Neumann y N. Wiener*, Salvat, Barcelona.
- Hormigón, Mariano (1984): "Rey Pastor y la matemática hispanoamericana", *Mundo Científico*, núm. 30, pàg. 1131-1137.
- (1988): "Las matemáticas en España en el primer tercio del siglo XX". A: Sánchez Ron, José Manuel (ed.): *Ciencia y sociedad en España*, CSIC, Madrid.
- Mariscotti, M. (1987): *El secreto atómico de Huemul. Crónica del origen de la energía atómica en la Argentina*, Ed. Sudamericana-Planeta, Buenos Aires.
- Olf-Nathan, Josiane (dir.) (1993): *La science sous le Troisième Reich*, Seuil, París.
- Residencia*, edició facsímil, CSIC, Madrid, 1987.
- Riera i Tuèbols, Santiago (1983): *Síntesi d'història de la ciència catalana*, La Magrana, Barcelona.
- Roca, Antoni (1985): E. Terradas y la llegada de la gran ciencia a España, *Mundo científico*, núm. 39, pàg. 908-915.
- Salvaggio, Santos (1980): *Premios Nobel*, Sopena, Barcelona.

Samaniego Boneu, M. (1977): *La política educativa de la Segunda República*, CSIC, Madrid.

Santaló, Lluís (1975): *L'educació matemàtica avui*, Teide, Barcelona

— (1993) *La matemàtica: una filosofia i una tècnica*, Eumo, Vic.

APÈNDIX

PUBLICACIONES DE LLUÍS SANTALÓ

TREBALLS CIENTÍFICS PUBLICATS EN REVISTES PERIÒDIQUES

A cadascuna s'indiquen títol, revista on es va publicar, volum, any i pàgines.

- 1) "Área engendrada por un segmento que se mueve conservándose normal a una línea y describiendo una superficie desarrollable", *Revista Matemática Hispano-Americana*, vol. 9, 1934, pàg. 101-107.
- 2) "Unos problemas de combinatoria", *Matemática Elemental*, vol. III, 1934, 21-22.
- 3) "Superficies desarrollables que pasan por una línea", *Las ciencias*, vol. I, 1934.
- 4) "Algunas propiedades de las curvas esféricas y una característica de la esfera", *Revista Matemática Hispanoamericana*, vol. X, 1935, 1-4.
- 5) "Una fórmula integral para las figuras convexas en el plano y en el espacio", *Revista Matemática Hispano-Americana*, vol. XI, 1936, 209-216.
- 6) "Unos problemas referentes a probabilidades geométricas", *Revista Matemática Hispano-Americana*, vol. XI, 1936, 87-97.
- 7) "Geometría Integral 4: Sobre la medida cinemática en el plano", *Hamburg Abhandlungen*, vol. XI, 1936, 222-236.
- 8) "Integral geometrie 5: Ueber das kinematische Mass im Raum", *Actualités Hermann*, n. 357, París, 1936.
- 9) "Geometría Integral 7: Nuevas aplicaciones del concepto de medida cinemática en el plano y en el espacio", *Revista de la Academia de Ciencias de Madrid*, vol. 33, 1936, 3-50 (tesi doctoral).

- 10) “Curvas sobre una superficie que cumplen la condición $\int ds f(k,t) ds = 0$ ”, *Revista Matemática Hispano-Americana*, vol. 12, 1937, 3-12.
- 11) “Geometría Integral 15: Fórmula fundamental de la medida cinemática para cilindros y planos paralelos móviles”, *Hamburg Abhandlungen*, vol. 12, 1937, 38-41.
- 12) “Geometría integral de figuras ilimitadas”, *Publicaciones del Instituto de Matemáticas*, Rosario, vol. 1, 1939, 5-58.
- 13) “Una demostración de la propiedad isoperimétrica del círculo”, *Publicaciones del Instituto de Matemáticas*, Rosario, vol. 2, 1940, 37-46.
- 14) “Geometría Integral 31: Sobre valores medios y probabilidades geométricas”, *Hamburg Abhandlungen*, vol. 13, 1940, 284-294.
- 15) “Geometrie Integrale 32: Quelques formules integrales dans le plan et dans l'espace”, *Hamburg Abhandlungen*, vol. 13, 1940, 344-356.
- 16) “Valor medio del número de partes en que una figura convexa es dividida por n rectas arbitrarias”, *Revista de la Unión Matemática Argentina*, vol. 7, 1940- 1941, 32-37.
- 17) “Generalización de un problema de probabilidades geométricas”, *Revista de la Unión Matemática Argentina*, vol. 7, 1940-1941, 129-132.
- 18) “Un esquema de valores medios en la teoría de probabilidades geométricas”, *Revista de Ciencias*, Lima, vol. 42, 1940, 146-154.
- 19) “Sur quelques problemes de probabilités géométriques”, *Tohoku Mathematical Journal*, vol. 47, 1940, 159-171.
- 20) “Un teorema sobre conjuntos de paralelepípedos de aristas paralelas”, *Publicación del Instituto de Matemáticas*, Rosario, vol. 2, 1940, 49-60.
- 21) “Verallgemeinerung eines Satz von T. Kubota ueber Eiliniien”, *Tohoku Mathematical Journal*, vol. 48, 1941, 64-67.
- 22) “Algunas propiedades infinitesimales de las curvas planas”, *Math. Notae*, vol.1, 1941, 129-144.
- 23) “A Theorem and an Inequality Referring to Rectifiable Curves”, *American Journal of Mathematics*, vol. 63, 1941, 635-644.

- 24) "Curvas extremales de la torsión total y curvas D", *Publ. del Inst. de Mat.*, Rosario, vol. 3, 1941, 133-156.
- 25) "Quelques propriétés des courbes gauches dans la géométrie différentielle affine", *Portugaliae Mathematica*, vol. 3, 1942, 63-68.
- 26) "Complemento a la nota 'Un teorema sobre conjuntos de paralelepípedos de aristas paralelas'", *Publ. del Inst. de Mat.*, Rosario, vol. 3, 1942, 203-210.
- 27) "Sobre ciertas variedades con carácter de desarrollables en el espacio euclidiano de 4 dimensiones", *Publ. del Inst. de Mat.*, Rosario, vol. 4, 1942, 3-44.
- 28) "Algunos valores medios y desigualdades referentes a curvas situadas sobre la superficie esférica", *Revista de la Unión Mat. Argentina*, vol. 8, 1942, 113-125.
- 29) "Sobre el concepto de curvatura de superficies", *Math. Notae*, vol. 2, 1942, 165-184.
- 30) "Integral Formulas in Crofton's Style on the Sphere and some Inequalities Referring to Spherical Curves", *Duke Math. Journal*, vol. 9, 1942, 707-722.
- 31) "Algunas desigualdades entre los elementos de un triángulo", *Math. Notae*, vol. 3, 1943, 65-73.
- 32) "Sobre la cónica osculatriz en un punto ordinario de una curva plana", *Revista de la Unión Mat. Argentina*, vol. 9, 1943, 53-60.
- 33) "La desigualdad isoperimétrica sobre superficies de curvatura constante negativa", *Revista de Mat. y Física Teórica de la Universidad de Tucumán*, vol. 3, 1942, 243-259.
- 34) "Una propiedad característica del círculo", *Math. Notae*, vol. 3, 1943, 142-147.
- 35) "Sobre la distribución probable de corpúsculos en un cuerpo deducida de la distribución en sus secciones y problemas análogos", *Revista de la Unión Mat. Argentina*, vol. 9, 1943, 145-164.
- 36) "Integral Geometry on Surfaces of Constant Negative Curvature", *Duke Math. Journal*, vol. 10, 1943, 687-704.
- 37) "Superficies cuyas curvas D son geodésicas o trayectorias isogonales de las líneas de curvatura", *Publicaciones del Inst. de Mat.*, Rosario, vol. 5, 1943, 255-267.

- 38) "Propiedades de las figuras convexas sobre la esfera", *Math. Notae*, vol. 4, 1944, 11-40.
- 39) "Acotaciones para la longitud de una curva o para el número de puntos necesarios para cubrir aproximadamente un dominio", *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 16, 1944, 112-121.
- 40) "Note on Convex Spherical Curves", *Bulletin of the American Math. Soc.*, vol. 50, 1944, 528-534.
- 41) "Área limitada por la curva engendrada por el extremo de un segmento cuyo otro extremo recorre una curva fija y aplicación a la obtención de algunos teoremas sobre óvalos", *Math. Notae*, vol. 4, 1944, 213-226.
- 42) "Un teorema sobre representación conforme", *Math. Notae*, vol. 5, 1945, 29-40.
- 43) "Valor medio del número de regiones en que un cuerpo del espacio es dividido por n planos arbitrarios", *Revista de la Unión Mat. Arg.*, vol. 10, 1945, 101-108.
- 44) "Sobre el círculo de radio máximo contenido en un recinto", *Revista de la Unión Mat. Arg.*, vol. 10, 1945, 155-162.
- 45) "Note on Convex Curves on the Hyperbolic Plane", *Bulletin of the American Math. Soc.*, vol. 51, 1945, 405-412.
- 46) "Complemento a la nota 'Sobre un problema diofántico'", *Math. Notae*, vol. 5, 1945, 162-171.
- 47) "Algunas propiedades de las curvas alabeadas en la geometría diferencial proyectiva", *Actas de la Academia de Ciencias de Lima*, vol. 8, 1945, 203-216.
- 48) "Sobre un complejo lineal ligado a una curva cerrada del espacio", *Math. Notae*, vol. 6, 1946, 45-56.
- 49) "Convex Regions on the n -Dimensional Spherical Surface", *Annals of Mathematics*, vol. 47, 1946, 448-459.
- 50) "A Geometrical Characterization for the Affine Differential Invariants of a Space Curve", *Bull. of the American Math. Soc.*, vol. 52, 1946, 625-632.
- 51) "Sobre la longitud de una curva del espacio como valor medio de las longitudes de sus proyecciones ortogonales", *Math. Notae*, vol. 6, 1946, 158-166.

- 52) "Una fórmula integral referente a figuras convexas", *Revista de la Unión Mat. Arg.*, vol. 7, 1942, 165-169.
- 53) "Unas fórmulas integrales referentes a cuerpos convexas", *Revista de la Unión Mat. Arg.*, vol. 12, 1946, 78-87.
- 54) "Sobre los cuerpos convexas de anchura constante en E_n ", *Portugaliae Mathematica*, vol. 5, 1946, 195-201.
- 55) "Estudios numerativos sobre las variedades de contacto de las superficies en un espacio de n dimensiones" (En colaboración con B. Levi y De María), *Publ. del Inst. de Mat.*, Rosario, vol. 8, 1946, 3-72.
- 56) "Sobre figuras planas hiperconvexas", *Summa Brasiliensis Mathematicae*, vol. 1, fasc. 11, 1946, 221-239.
- 57) "On the First Two Moments of the Measure of a Random Set", *Annals of Math. Statistics*, vol. 18, 1947, 37-49.
- 58) "Sobre la medida del conjunto de figuras convexas congruentes contenidas en el interior de un rectángulo o de un triángulo", *Actas Acad. de Ciencias de Lima*, vol. 10, 1947, 102-118.
- 59) "Affine Invariants of Certain Pairs of Curves and Surfaces", *Duke Math. Journal*, vol. 14, 1947, 559-574.
- 60) "Una propiedad característica de las cuádricas de revolución y de los cilindros cuya sección recta es una espiral logarítmica", *Math. Notae*, vol. 7, 1947, 81-90.
- 61) "Curvas D sobre conos", *Math. Notae*, vol. 7, 1947, 179-190.
- 62) "Sobre la distribución de planos en el espacio", *Rev. de la Unión Mat. Arg.*, vol. 13, 1948, 120-124.
- 63) "Beweis eines Satzes von Bottema ueber Eiliniien", *Tohoku Math. Journal*, vol. 4, 1941, 221-224.
- 64) "Integral Geometry on Surfaces", *Duke Math. J.*, vol. 16, 1949, 361-375.
- 65) "Un invariante afin para las curvas convexas del plano", *Math. Notae*, vol. 8, 1949, 103-111.
- 66) "Una invariante afin para los cuerpos convexas del espacio de n -dimensiones", *Portugaliae Mathem.*, vol. 8, 1949, 155-161.
- 67) "Integral Geometry on Projective and Affine Spaces", *Annals of Math.*, vol. 51, 1950, 739-755.

- 68) "Geometría integral en los espacios tridimensionales de curvatura constante", *Math. Notae*, vol. 9, 1950, 1-28.
- 69) "On Parallel Hypersurfaces in the Elliptic and Hyperbolic n-Dimensional Space", *Proc. of the Amer. Math. Soc.*, vol. 1, 1950, 325-330.
- 70) "Unas fórmulas integrales y una definición del área q-dimensional de un conjunto de puntos", *Revista de Matemáticas y Física Teórica de la Universidad de Tucumán*, vol. 7, 1950.
- 71) "Unas desigualdades entre los elementos de un tetraedro en geometría no euclidiana", *Math. Notae*, vol. 9, 1950, 113-117.
- 72) "Sobre unas fórmulas integrales y valores medios referentes a figuras convexas móviles en el plano", *Publ. de la Fac. de Ciencias Exactas de la Univ. de Buenos Aires*, vol.1, n. 2, 1950, 25-45.
- 73) "Observaciones sobre superficies y poliedrales inscriptas", *Las Ciencias*, Madrid, vol. 15, 1950.
- 74) "Integral Geometry in General Spaces", *Proceedings of the International Congress of Mathematicians*, Cambridge 1950, vol. 1, 483-489.
- 75) "Generalización de una desigualdad de H. Hornich a espacios de curvatura constante", *Revista de la Unión Mat. Arg.*, vol. 15, 1951, 62-66.
- 76) "La probabilidad en las construcciones geométricas", *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, vol. 152, 1951, 203-229.
- 77) "On Permanent Vector Varieties in n-Dimensions", *Portugaliae Math.*, vol. 10, 1951, 125-127.
- 78) "Problemas de geometría integral", *Symposium sobre Algunos problemas matemáticos que se están estudiando en América Latina*, Punta del Este, Uruguay, 1951, 23-40.
- 79) "Integral Geometry in Hermitian Spaces", *American Journal of Math.*, vol. 74, 1952, 423-434.
- 80) "Dos propiedades de los círculos sobre la superficie esférica", *Math. Notae*, vol. 11, 1952, 73-78.
- 81) "Geometría integral en espacios de curvatura constante", *Publicaciones de la Comisión Nac. de Energía Atómica, Serie Matemática*, vol. 1, fasc. 1, 1952, 1-68.

- 82) “Algunos valores medios sobre la semiesfera”, *Math. Notae*, vol. 12, 1952, 32-37.
- 83) “Measure of Sets of Geodesics in a Riemannian Space and Applications to Integral Formulas in Elliptic and Hyperbolic Spaces”, *Summa Brasiliensis Mathematicae*, vol. 3, n.1, 1952, 1-11.
- 84) “On the Kinematic Formula in Spaces of Constant Curvature”, *Proceedings of the International Congress of Mathematicians*, Amsterdam, 1954.
- 85) “Unas generalizaciones del teorema de los cuatro vértices”, *Math. Notae*, 1954, 69-78.
- 86) “Sobre unos tensores análogos al de curvatura en espacios de conexión afín no simétrica”, *Rev. de Mat. y Física Teórica de la Univ. de Tucumán*, vol. 10, 1954, 19-26.
- 87) “Sobre el teorema de Holditch y análogos en geometría no euclidiana”, *Math. Notae*, vol. 14, 1954, 32-49.
- 88) “Cuestiones sobre geometría diferencial afín de superficies”, *Coloquio sobre algunas cuestiones matemáticas que se están estudiando en América Latina II*, Villavicencio, Mendoza, 1954, 21-33.
- 89) “On Geometry of Numbers”, *Japanese Journal of Math.*, vol. 7, 1955, 208-213.
- 90) “Cuestiones de geometría diferencial e integral en espacios de curvatura constante”, *Rendiconti del Seminario Mat. di Torino*, vol. 14, 1955, 277-295.
- 91) “Sur la mesure des espaces linaires qui coupent un corps convexe et problèmes qui s’y rattachent”, *Coloquio sobre cuestiones de realidad*, Liège, 1955, 177-190.
- 92) “Sobre las cuerdas de una curva convexa”, *Revista de la Unión Mat. Argentina*, vol.17, 1955, 217-222.
- 93) “Sobre la distribución de los tamaños de los corpúsculos contenidos en un cuerpo a partir de la distribución en sus secciones”, *Trabajos de Estadística*, Madrid, vol. 6, 1956, 181-196.
- 94) “Curvas sobre una superficie extremales de una función de la curvatura y de la torsión”, *Abhandlungen der Hamburgische Universität*, vol. 20, 1956.

- 95) "Sobre la unicidad de los operadores vectoriales", *Math. Notae*, vol. 14, 1956, 120-132.
- 96) "On the Mean Curvatures of a Flattened Convex Body", *Revue du Fac. des Sciences, Université Istanbul*, vol. 21, 1956, 189-194.
- 97) "Unas propiedades de la representación conforme local de una superficie sobre otra", *Rev. de la Unión Mat. Argentina*, vol. 18, 1957, 45-52.
- 98) "Geometría diferencial afín y cuerpos convexos", *Math. Notae*, vol. 16, 1957, 20-42.
- 99) "Unas desigualdades referentes a figuras convexas del plano y del espacio", *Actas de la reunión de la Unión Mat. Arg.*, Bahía Blanca, 1957.
- 100) "Un nuevo invariante afín para las figuras convexas del plano y del espacio", *Math. Notae*, vol. 16, 1958, 78-91.
- 101) "Sobre las ecuaciones del campo unificado de Einstein", *Rev. de Mat. y Física Teórica de la Univ. de Tucumán*, vol. 12, 1959, 31-55.
- 102) "Two Applications of the Integral Geometry in Affin and Projective Spaces", *Publ. Math. Debrecen*, vol. 7, 1960, 226-237.
- 103) "Sobre las teorías del campo unificado", *Rev. de la Unión Mat. Argentina*, vol. 19, 1960, 195-206.
- 104) "Una fórmula de Steiner para superficies paralelas en geometría afín", *Rev. de Mat. y Física Teórica de la Univ. de Tucumán*, vol. 13, 1960, 194-208.
- 105) "Sobre la fórmula de Gauss-Bonnet para poliedros en espacios de curvatura constante", *Rev. Unión Mat. Argentina*, vol. 20, 1960, 79-91.
- 106) "Sobre los sistemas completos de desigualdades entre los elementos de una figura convexa plana", *Math. Notae*, vol. 17, 1961, 82-104.
- 107) "On the Measure of Sets of Parallel Linear Spaces in Affin Space", *Canadian Journal of Math.*, vol. 14, 1962, 313-319.
- 108) "Sobre unas propiedades características de la esfera", *Rev. Mat. y Física Teórica de la Univ. de Tucumán*, vol. 14, 1962, 287-297.
- 109) "Sobre la fórmula fundamental cinemática de la geometría

- integral en espacios de curvatura constante”, *Math. Notae*, vol. 18, 1963, 79-94.
- 110) “Una relación entre las curvaturas medias de cuerpo convexos paralelos en espacios de curvatura constante”, *Rev. Unión Mat. Argentina*, vol. 21, 1963, 121-137.
- 111) “Integral Geometry of the Projective Groups on the Plane Depending on More Than 3 Parameters”, *Ann. Scient. University of Jassy*, vol. 11, 1965, 307-335.
- 112) “On Einstein’s Unified Field Theory”, *A: Perspectives in Geometry and Relativity*, Indiana University Press, 1966, 343-352.
- 113) “Valores medios para polígonos formados por rectas al azar en el plano hiperbólico”, *Rev. Mat. y Física Teórica de la Univ. de Tucumán*, vol. 16, 1966, 29-44.
- 114) “Sobre el recíproco de un teorema de Jacobi referente a curvas del espacio”, *Rev. Mat. y Física Teórica de la Univ. de Tucumán*, vol. 17, 1967, 83-89.
- 115) “Horocycles and Convex Sets in Hyperbolic Plane”, *Archiv. Math.* vol. 28, 1967, 83-89.
- 116) “Grupos del plano respecto de los cuales los conjuntos de puntos y de rectas admiten una medida invariante”, *Rev. Unión Mat. Argentina*, vol. 23, 1967, 119-148.
- 117) “Integral Geometry”, *A: S.S. Chern (ed.), Studies in Global Analysis and Geometry*, The Mathematical Association of America, Prentice Hall, 1967, 147- 193.
- 118) “Spaces with two Affine Connections”, *Bull. Calcuta Math. Soc.*, vol. 59, 1967, 3-8.
- 119) “Horospheres and Convex Bodies in Hyperbolic Space”, *Proc. Amer. Math. Society*, vol. 19, 1968, 390-395.
- 120) “Curvaturas absolutas totales de variedades contenidas en un espacio euclidiano”, *Acta Científica Compostelana*, vol. 5, 1968, 140-158.
- 121) “On Some Geometric Inequalities in the Style of Fary”, *American Journal Math.*, vol. 91, 1969, 25-41.
- 122) “Convexidad en el plano hiperbólico”, *Rev. Mat. y Física Teórica de la Univ. Tucumán*, vol. 19, 1969, 174-183.

- 123) "Algunos problemas de geometría diferencial", *Notas Científicas serie A, Matematica*, Lima, vol. 7, 1969, 27-43.
- 124) "Mean Values and Curvatures", *Izv. Akad. Nauk. Armejan, SSR, Ser. Math.*, vol. 5, 1970, 286-295.
- 125) "Probabilidades sobre cuerpos y cilindros convexos", *Rev. Unión Mat. Argentina*, vol. 25, 1970, 286-295.
- 126) "Averages for Polygons Formed by Random Lines in Euclidean and Hyperbolic Planes" (en col·laboració amb Y. Yáñez), *Journal of Applied Probability*, vol. 9, 1972, 140-157.
- 127) "Sobre algunas teorías asimétricas del campo unificado", *Rev. Academia de Ciencias de Madrid*, vol. 66, 1972, 395-425.
- 128) "Unified Field Theories of Einstein's Type Deduced from a Variational Principle: Conservation Laws", *Tensor*, vol. 25, 1972, 383-389.
- 129) "Total Curvatures of Compact Manifolds Immersed in Euclidean Space", *Symposium Math.*, vol. 14, Instituto Nazionale di Alta Matematica, Roma (Academic Press, New York, 1974, 363-390).
- 130) "Curvas y cuaterniones", *Rev. Unión Mat. Argentina*, vol. 27, 1974, 41-52.
- 131) "Sobre las geodésicas del universo de Godel-Synge", *Volumen de homenaje al profesor Lora Tamayo*, Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de Madrid, 1975, 51-69.
- 132) "The Kinematic Formula in Integral Geometry for Cylinders", *Annali di Matematica serie IV*, vol. 103, 1975, 71-79.
- 133) "Plane and Line Segment Processes" (en col·laboració amb N. Fava), *Journal Appl. Probability*, vol. 15, 1978, 494-581.
- 134) "Random Processes of Linear Segments and Graphs", *Lecture Notes on Biomathematics*, núm. 23, Springer, Berlín, 1978, 279-294.
- 135) "Conjuntos de segmentos sobre superficies", *Math. Notae*, 26, 1978, 63-72.
- 136) "Random Processes of Manifolds in R_n " (en col·laboració amb N. Fava), *Zeitsch. Wahrscheinlich-eitsstheorie*, 50, 1979, 85-91.
- 137) "Integral Geometry, History and Perspectives", *Proc. IV Int.*

- Congress on Diff. Geom.*, Santiago de Compostela, 1979, 1-48.
- 138) "Random Lines and Tessellations in a Plane", *Stochastica*, vol. IV, 1980, 3-13.
- 139) "Probabilidades geométricas. Geometría Integral y Geometría Estocástica", *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Buenos Aires, vol. 32, 1980, 65-93.
- 140) "Cauchy and Kubota Formulas for Convex Bodies in Elliptic n -Space", *Rend. Sem. Mat. Univ. Politec. Torino*, vol. 38, 1980, 51-58.
- 141) "Notes on the Integral Geometry in the Hyperbolic Plane", *Portugaliae Math.*, vol. 39, 1980, 239-249.
- 142) "Segmentos al azar en En ", *Revista de Mat. y Física Teórica de la Univ. de Tucumán*, vol. 26, 1976 (publicat el 1981), 229-238.
- 143) "Geodesics in Godel Synge Space", *Tensor*, 1982, 173-178.
- 144) "An Inequality between the Parts into which a Convex Body is Divided by a Plane Section", *Rend. Circ. Mat. Palermo, II*, vol. 32, 1983, 124-130.
- 145) "Mixed Random Mosaics", *Math. Nachrichten*, vol. 117, 1984, 124-130.
- 146) "On Some Invariants under Similitudes for Convex Bodies", *Discrete Geometry and Convexity*, New York Academy of Sciences, 1985, 128-131.
- 147) "Un problema simple de decisión y un problema de espera", *Trabajos de Estadística y de Investigación Operativa*, vol. 36, Madrid, 1985, 269-279.
- 148) "On the Measure of Line Segments Entirely Contained in a Convex Body", *Aspects of Math. and its Applications*, Elsevier Science Publ. B.v., 1986, 677-687 (volum dedicat a L. Nachbin).
- 149) "On the Superposition of Random Mosaics", *Acta Stereologica*, vol. 6, 1987, 141-145.
- 150) "Affine Integral Geometry and Convex Bodies", *J. of Microscopy*, vol. 152, 1988, 229-233.
- 151) "Fórmulas fundamentales de la Estereología usando secciones por variedades no lineales", *Revista de la Unión Mat. Arg.*, vol. 34, 1988, 56-68.

- 152) "Mosaicos aleatorios", *Rev. Real Academia Ciencias Exactas de Madrid*, vol. 82, 1989, 483-522.
- 153) "Geometría diferencial, geometría integral y geometría estocástica", *Noticiero de la U.M.A.*, 1991.
- 154) "Fundamentos de la estereología en los espacios euclidianos e hiperbólicos de tres dimensiones", *Revista de la Academia Canaria de Ciencias*, vol.VII, 1995, 117-134.

TREBALLS CIENTÍFICS PUBLICATS EN LLIBRES

- 1) *Historia de la Aeronáutica*. Buenos Aires: Espasa-Calpe Argentina, 1946.
- 2) *Geometría Integral* (en col·laboració amb J. Rey Pastor). Buenos Aires: Espasa-Calpe Argentina, 1951.
- 3) *Introduction to Integral Geometry*. París: Hermann, 1953 (hi ha traducció al rus).
- 4) *La probabilidad y sus Aplicaciones*, Buenos Aires: Editorial Iberoamericana, 1955.
- 5) *Geometría Analítica* (en col·laboració amb J. Rey Pastor i M. Balanzat). Buenos Aires: Editorial Kapelusz, 1955.
- 6) *Vectores y tensores*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA), 1961.
- 7) *Geometrías no euclidianas*. Buenos Aires: EUDEBA, 1961.
- 8) *Geometría proyectiva*. Buenos Aires: EUDEBA, 1966.
- 9) *Espacios vectoriales y Geometría Analítica*. Washington: Monografías de la OEA, 1965.
- 10) *La Matemática en la Escuela Secundaria*. Buenos Aires: EUDEBA, 1966.
- 11) *Probabilidad e inferencia estadística*. Washington: Monografías de la OEA, 1970.
- 12) *Evolución de las Ciencias en la República Argentina*. Tomo I: *La Matemática*, (en col·laboració amb altres autors; volum publicat per la Sociedad Científica Argentina en el seu centenari). Buenos Aires, 1975.

- 13) *L'educació matemàtica avui*. Barcelona: Teide, 1975.
- 14) *Geometría Espinorial*. Buenos Aires: Instituto Argentino de Matemática, CONICET, 1976.
- 15) "Integral Geometry and Geometric Probability". A: *Encyclopedia of Mathematics and its Applications*, Massachusetts: Addison-Wesley, Reading, 1976 (traduït al rus el 1983 i al xinès el 1991).
- 16) *Julio Rey Pastor, matemático* (escrit en col·laboració amb S. Ríos i M. Balanzat), Madrid: Instituto de España, 1979.
- 17) *Señorita, ¿qué es la estadística?* (en col·laboració). República Argentina: Editorial C.O.P.E.A, 1991.
- 18) *La matemática: una filosofía i una tècnica*. Vic: Eumo Editorial, 1993 (versió castellana, Barcelona: Ariel, 1994).
- 19) *La enseñanza de las matemáticas en la educación intermedia. Tratado de educación personalizada* dirigido por Víctor García Hoz, vol. 14. Madrid: Rialp.
- 20) *La Geometría en la formación de profesores*. Buenos Aires: Red Olímpica, 1994
- 21) *Enfoques, hacia una didáctica humanística de la matemática* (en col·laboració). Buenos Aires: Troquel, 1994.
- 22) *Matemática 1, para la Enseñanza General Básica (E.G.B.)*. Buenos Aires: Kapelusz, 1993.
- 23) *Matemática 2, para la Enseñanza General Básica (E.G.B.)*. Buenos Aires: Kapelusz, 1994.
- 24) *Matemática 3, para la Enseñanza General Básica (E.G.B.)*. Buenos Aires: Kapelusz, 1995.
- 25) *De educación y estadística* (en col·laboració). Buenos Aires: Serie Eureka, Kapelusz, 1994.

ARTICLES DE DIVULGACIÓ, CONFERÈNCIES PUBLICADES I TREBALLS SOBRE EDUCACIÓ MATEMÀTICA

- 1) "Algunos problemas geométricos que plantea la navegación aérea", *Boletín Matemático*, Buenos Aires, vol. 13, 1940.

- 2) "Sobre las probabilidades continuas", *Ciencia*, Mèxic, vol. 1, 1940.
- 3) "Posibilidades del vuelo interplanetario", *Revista de Ingeniería y Arquitectura*, Rosario, 1942.
- 4) "La matemática y el lenguaje", conferencia publicada per l'Asociación Cultural de Conferencias, Rosario, 1941.
- 5) "Nicolo Tartaglia y la resolución de la ecuación de tercer grado", *Math. Notae*, vol. 1, 1941.
- 6) "Isaac Newton y el Binomio", *Math. Notae*, vol. 2, 1942.
- 7) "La probabilidad y sus diversas aplicaciones", conferencia publicada per l'Asociación Cultural de Conferencias, Rosario, 1942.
- 8) "Breve historia y estado actual de algunas quimeras y fantasías del Hombre", *Revista Centro de Estudiantes*, Fac. C. Matemáticas, Rosario, 1943.
- 9) "Origen y desarrollo de la Geometría Integral", *Rev. Universidad Católica del Perú*, vol. 12, 1944.
- 10) "Origen y evolución de algunas teorías matemáticas", *Rev. de Ingeniería*, Montevideo, octubre de 1945.
- 11) "Sobre el problema del radio de acción de los aviones", *Rev. Centro de Estudiantes*, Facultad C. Matemáticas, Rosario, 1945.
- 12) "Las probabilidades geométricas y la geometría integral", *Bol. de la Facultad de Ingeniería*, vol. 3, Montevideo,
- 13) "Contribución de la aviación al progreso de las Ciencias", conferencia publicada per l'Asociación Cultural de Conferencias, Rosario, 1945.
- 14) "Aplicaciones y problemas actuales de algunas teorías matemáticas", *Anales Soc. Científica Argentina*, vol. 150, 1950.
- 15) "Nuevos problemas planteados a la matemática por las otras ciencias", *Bol. Centro Coop. Cient. UNESCO*, Montevideo, 1952.
- 16) "El problema de la unificación de los campos: la última teoría de Einstein", *Mundo Atómico*, vol. 4, Buenos Aires, 1953.
- 17) "La última teoría del campo unificado de Einstein", *Ciencia e investigación*, vol. 9, Buenos Aires, 1953.

- 18) “La probabilidad en geometrías no euclidianas”, *Estocástica*, vol. 2, 1954.
- 19) “Aspectos modernos en el campo de la geometría”, *Ciencia y Tecnología*, OEA, vol. 4, núm. 12, Washington, 1954.
- 20) “La obra de Einstein en el campo matemático”, *Ciencia e Investigación*, Buenos Aires, juliol de 1955.
- 21) “Geometría Analítica y Geometría Sintética”, *Anales de la Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, vol. 15, 1960, 9-31.
- 22) “La Matemática en la Argentina”, *Rev. Universitaria Buenos Aires*, V Època, núm. 2, 1961.
- 23) “Geometrías finitas” (en col·laboració amb R. Carranza), *Ciencia e Investigación*, tom 19, 1963, 49-62.
- 24) “Perspectivas del desarrollo de la matemática en América Latina”, *Rev. Unión Matemática Argentina*, vol. 20, 1960, 23-32.
- 25) “La obra científica de Beppo Levi”, *Math. Notae*, vol. 18, 1962, 23-28.
- 26) “La formación de profesores de matemática” (en col·laboració amb A. Valeiras), *Educació Matemática en las Américas I*, Columbia University, Teachers College, 1962.
- 27) “La enseñanza de las ciencias en la escuela media: la Matemática”, *Ciencia e investigación*, tom 19, 1963, 245-252.
- 28) “La matemática moderna en las escuelas primaria y secundaria”, *La Educación*, OEA, Washington, núm. 37, 1965, 25-44.
- 29) “Álgebra y Geometría: sus vinculaciones”, *Anales de la Academia Nac. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Buenos Aires, vol. 20, 1965, 47-63.
- 30) “Problemas que encuentra la reforma de la enseñanza de la matemática en América Latina referente a los profesores y programas”, *Ed. Mat. en las Américas II*, 1966, 23-29.
- 31) “Preparación de profesores de matemática para la enseñanza secundaria” (en col·laboració amb R. Voelker), *Ed. Mat. en las Américas II*, 1966, 189-196.
- 32) “La Matemática en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires en el período 1865-1930”, *Boletín Academia de Ciencias*, Córdoba, 1970, 255-273.

- 33) “La Matemática y la Educación”, *Publicación de la Oficina de Ciencias de la UNESCO para América Latina*, Montevideo, 1972.
- 34) Diverses editorials sobre Política Científica, publicades a la revista *Ciencia e Investigación*, Buenos Aires, durant els anys 1968-1972 (en què fou el seu codirector).
- 35) “La matemática y su enseñanza en los niveles elemental, medio y superior”, *Actas del IV Congreso Bolivariano de Matemáticas*, Panamá, 1973 (publicat també a *Conceptos de Matemática*, 1973, núm. 27).
- 36) “Las aplicaciones de la Matemática en la Enseñanza Secundaria: papel de la Estadística y de la Probabilidad”. A: *Las Aplicaciones en la Enseñanza y Aprendizaje de la Matemática en la Escuela Media*, Of. de Ciencias de la UNESCO para América Latina, Montevideo, 1974.
- 37) “Panorama de la Matemática en América Latina en 1974”, *Boletín de la Oficina de Ciencias de la UNESCO*, Montevideo, núm. 8, 1974.
- 38) “La teoría de los conjuntos y la enseñanza de la matemática”, *Conceptos de Matemática*, núm. 34, 1975, 4-10.
- 39) “El tercer Congreso Internacional sobre Educación Matemática”, *Conceptos de Matemática*, núm. 40, 1976, 19-24.
- 40) “La Enseñanza de la Matemática: de Platón a la Matemática Moderna”, *Revista del Instituto de Investigaciones Educativas (IIE)*, any 3, núm. 13, Buenos Aires, 1977, 3-26.
- 41) “El debate actual sobre la Matemática Moderna”, *Revista del Instituto de Investigaciones Educativas (IIE)*, any 3, núm. 14, Buenos Aires, 1977, 3-22.
- 42) “Geometría y Física”, *Conceptos de Matemática*, núm. 43, 1977, 24-34.
- 43) “Los módulos en la enseñanza y aprendizaje de la matemática en la escuela secundaria” (en col·laboració amb diversos autors), *Publicación de la Oficina Regional de la UNESCO para América Latina*, Montevideo, 1977.
- 44) “El pensar Matemático: la Matemática en la Técnica y en el Arte”, *Revista Hitos*, Buenos Aires, novembre-desembre 1978.

- 45) "Información y Cultura", *Revista Nacional de Cultura*, any 1, núm. 1, Buenos Aires, 1978, p. 75-81.
- 46) "La Matemática y las Ciencias del Hombre". A: *Métodos cuantitativos en las Ciencias Sociales* (en memòria del Dr. Barral Souto), Buenos Aires, 1979, p. 137-152.
- 47) "Matemática y Sociedad", *Docencia*, Buenos Aires, 1980.
- 48) "Teaching Statistics in Argentina", *Teaching Statistics*, vol. 2, 1980.
- 49) Pròleg a D. Papp: *Filosofia de las Leyes Naturales*, Buenos Aires: Troquel, 1980 (2^a edició).
- 50) "Influencia de Einstein en el campo matemático". A: *Conmemoración de Einstein en el centenario de su nacimiento*, Universidad Nacional de Tucumán, 1981, 27-46.
- 51) "Computación y probabilidad en Educación", *Revista del Instituto de Investigaciones educativas*, núm. 37, 1982, 3-14.
- 52) "Ciencia argentina: su Historia y su Filosofía", *Actas de las primeras jornadas de Historia del Pensamiento Científico Argentino*, Buenos Aires, 1982, 13-19.
- 53) "El cultivo de actitudes científicas para una educación integral del hombre". A: *El sistema educativo hoy*, CINAIE, vol. 1, Buenos Aires, 1983, p.15-26.
- 54) "La Ciencia y la Técnica en la Sociedad contemporánea", Buenos Aires: CONICET, 1983.
- 55) "Labor de Terradas en Argentina", *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid* (secció necrològica dedicada a Esteve Terradas), 1983.
- 56) "Geometría Integral, Estereología y Tomografía Computarizada", *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, 1984, vol. 2, núm. 15, 26-32.
- 57) "Ciencia, Técnica y Sociedad a fines del segundo milenio", *Revista de la Escuela Superior de Guerra*, maig-juny, 1984.
- 58) "El papel de la Universidad en el desarrollo científico y tecnológico", *Educación Superior*, CRESALC, UNESCO, núm. 16, Caracas, 1984.
- 59) "La información y su influencia en la Ciencia y la Filosofía".

- A: *Estudios dedicados a Luis Farré*, FEPAI, Buenos Aires, 1985, 75-79.
- 60) “La enseñanza de la Geometría en el ciclo secundario”. A: *La enseñanza de la Matemática a debate*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, 1985, 11-23.
- 61) “La Ciencia y la Técnica a fines del siglo XX”, *Ingeniería Militar*, 1985, 5-8.
- 62) “The work of Wilhelm Blaschke, an Integral Geometry”. A: *Blaschke GE sammelte Werke*, tom 2, 211-218, Essen: Thales-Verlag, 1985.
- 63) “La Matemática en la Educación”, *Docencia*, Buenos Aires, 1986.
- 64) “El ingeniero José Babini, matemático e historiador de la Ciencia”, *Actas de las segundas jornadas de Historia del Pensamiento Científico Argentino*, Buenos Aires, 1986, 135-138.
- 65) “La enseñanza de las Ciencias en la Escuela Media”, *Docencia*, Buenos Aires, 1987.
- 66) “Pensar determinista, pensar probabilista, pensar informático”, *Anales del Primer Congreso Argentino de Informática Educativa*, Buenos Aires, 1987, 5-10.
- 67) “Influencia de la Ciencia en la Literatura”. A: *Literatura y Ciencia*, Fundación Casa de la Cultura de Córdoba, 1988, 29-33.
- 68) “Estadística y Probabilidad en la Escuela Media”, *Elementos de Matemática*, II, núm. 7, 1988, 16-26.
- 69) “La Probabilidad en la Escuela Media: uso de tablas al azar”, *Epsilon (Revista de la Sociedad Matemática Thales)*, núm. 10, 1988, 9-22.
- 70) “Julio Rey Pastor, en el centenario de su nacimiento”, *Ciencia e Investigación*, Buenos Aires, vol. 42, 1988, 326-330.
- 71) “Proporcionalidad y probabilidad”, *Rev. de la Sociedad Canaria de Profesores de Matemáticas*, núm. 18, 1988, 7-17.
- 72) “Rey Pastor en Hispanoamérica”, *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (fascicle commemoratiu del centenari del naixement de Rey Pastor), Madrid, 1988, 27-34.

- 73) "La investigación científica, profesión de nuestro siglo", *Academia de Ciencias de Buenos Aires*, 1988.
- 74) "La probabilidad en la enseñanza secundaria, simulación de juegos", *Revista de Educación Matemática*, vol. 4, 1989, 4-17.
- 75) "La ciencia en los umbrales del tercer milenio", *Ingeniería Militar*, Buenos Aires, any 5, núm. 9, 1989, 4-11.
- 76) "La obra de Rey Pastor en geometría y topología", *Revista de la UMA*, vol. 35, 1989, 3-12.
- 77) "Método experimental y método matemático", *Elementos de Matemática*, vol. 5, núm. 17, 1990.
- 78) "Matemáticas para no matemáticos" (memòries del Congrés Iberoamericà), Col. de Documents de la UNESCO, Sevilla, 1990.
- 79) *El ensayo del Científico*, Fundación casa de Cultura de Córdoba, 1990, 16-21.
- 80) "Olimpiadas Matemáticas", *Revista de Educación Matemática*, vol. 6, 1991, 21-36.
- 81) "Fractales y sistemas caóticos", *Revista del Instituto Tecnológico de Buenos Aires*, 1991, vol. 14.
- 82) "Matemática y cultura general", *SUMA*, Huelva, 1992, vol. 10, 4-8.
- 83) "Conjuntos Fractales", *Elementos de Matemática*, V 1, 1992, 5-26.
- 84) "La Ciencia en Hispanoamérica durante los quinientos años del descubrimiento", *Anales Academia Ciencias Exactas*, Buenos Aires, vol. 44, 1992.
- 85) "José Babini, matemático", *Saber y tiempo*, Buenos Aires, núm. 3, gener-juny, 1997.
- 86) "Matemática para profesores", *Épsilon (Revista de la Sociedad Matemática Thales)*, SAEM, Sevilla, núm. 38, 1997.

Índex analític

- Acadèmia de Ciències de Nova York 127
Acadèmia de Nàutica de Buenos Aires 59-60
Acadèmia Nacional de Ciències de Buenos Aires 130
Acadèmia Nacional de Matemàtiques (Argentina) 60
Aeroclub de Catalunya 46
Agulló, Cosme 59
Alcalá Zamora, Niceto 63
Alexander, James 79
alfabetització matemàtica 105-107
Alfons XIII 18, 50
Alfonsín, Raul 73, 127
àlgebra 22, 33, 62
Alhambra de Granada 110
Almeda, Santiago 10
Alsina, Adolfo 59
Alsina, Claudi 8, 31, 77, 105, 123, 127, 130
Alsina, Joan 59
Alsina, Valentín 59
American Journal of Mathematics 67
anàlisi 64, 65, 97
anàlisi de Fourier 97
Annals of Mathematics, revista 67
Archivo de Matemáticas Puras y Aplicadas, revista 21
Argelers 53
aritmètica 33, 58, 79
arqueologia 111
art i matemàtica 110, 133-134
Artin, Emil 32
Associació Matemàtica del Reich 28

- astrofísica 118-119, 137
- astronomia 59, 60, 134, 135
- Atienza Rivero, E. 42
- autoconsistència 79
- aviació 43ss
- axioma 79, 105
- Azuela, Arturo 134-135
- babilonis 116
- Bachich, Milena 63
- Bails, Benet 60
- Baird, John Logie 118
- Balanzat, Manuel 58, 83, 109, 130
- Barcelona 46
- Bergson, Henri 17
- Bethe, Hans 29
- Beurling, Arne 77
- Bianchi, Luigi 32
- Bieberbach, Ludwig 28
- big bang 119
- biologia 111, 112
- Blaschke, Wilhelm 30, 31-32, 40, 41, 55, 109
- Blumenthal, Otto 28
- Bolyai, J. 34
- Bonet, Eduard 8, 123
- Bordeus 56
- Born Max 29
- Bosch, Jorge E. 120-121
- Bourbaki, Nicolas (col·lectiu) 91-92
- Bretanya, 56
- Bruce, C.G. 17
- Buén, Odón de 19
- Buffon, comte de 36-38, 110
- Buñuel, Luis 17
- Butlletí of the American Mathematical Society 67
- Cabib, E. 96
- Cabrer, José María 59
- Cabrera, Blas 17, 18, 19

- Caffarelli, Luis 92, 93, 95, 96
calculadores electròniques 106
Calderón, Alberto 7, 97, 130
Calderón-Zygmund, teoria de 97
camp unificat 119
Cámpora, Héctor J. 73
Camps 11
camps de refugiats 53-54
càncer 114
Canudas i Busquets, Josep 46-48
Caputto, R. 96
Cardini, C. 96
Carner, Josep 131
Cartan, Élie 55, 119
Cartan, Henri 55, 92
Carter, Howard 17
cartografia 59
Casals, Pau 124
Castells, Paulí 22
Castillo, Ramón J. 69, 70
català (llengua) 15, 124
CEDA 51
Centre Català de Rosario 66
Centre Cultural de La Mercè (Girona) 131
Centre d'Unió Republicana 50
Centro Latinoamericano de Matemática e Informática de la UNESCO 127
cervell, estudi del 114-116
Cerviño, Pedro 59
Cesari, Lamberto 90
Chern, Shiing Shen 30
Chevalley, Claude 92
ciència nazi 28ss
Clariana, Laur 21
Claudel, Paul 17
Collectanea Mathematica, revista 22
combinatòria 105

- Comissió Nacional d'Energia Atòmica 86-88, 89
Confederación general de Trabajadores (CGT) 69, 71
Congrés Iberoamericà d'Educació Matemàtica 127
Congrés Internacional d'Educació Matemàtica 127
Congrés Mundial de Matemàtiques al Servei de l'Home 123
CONICET 75-76
Consell Nacional de Catalunya 51
Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) 17
corbes de Darboux 119
corbes extremals de torsió total 119
Cori, Carl Ferdinand 75
Cori, Gerty Radnifz 75
Cormack, Allan Macleod 113-114, 118
Coromines, Ernest 61-62, 64
Coromines, Joan 61-62
Coromines, Josep 62
Cortés Pla 65, 76
Cotlar, Mischa 95
Cotliure 54, 55
Creu de Sant Jordi 127
Crofton, M.W. 39-40
Crónica Científica, revista 21
Curie, Maria 17
Dakar 57-78
Dalí, Salvador 16, 17
Darboux, corbes de 119
Debruner 109
dècada infame 69-70
Delbrück, Max 29
Descartes, René 33
descobriment i invenció 134
didàctica 90ss, 99ss, 121
Dieudonné, Jean 92
docència 90ss, 101, 128, 129
Duarte, María Eva (vegeu Eva Perón)
Eddington, Arthur 17
EDVAC 82

- Eilenberg, Samuel 92
Einstein, Albert 17, 24, 29, 34, 77, 78, 81, 117-119, 120
egipcis 116
Eggleston 109
electrofeble, teoria 118
electromagnetisme 118-119
Elias, Hans 112
Encomienda de Alfonso X el Sabio 128
energia nuclear 86-88
Engel 32
enginyeria 19, 63, 65, 67, 97
ensenyament bàsic 105
ensenyament secundari 101ss, 105
ensenyament superior 99ss
equacions diferencials parcials 97
escàner 112ss
Escola d'Anàlisi de Chicago 97
Escola d'Aviació Militar de Barcelona 46
Escola d'Enginyers 21
Escola de Matemàtiques de Buenos Aires 60
Escola de Mestres i Mestresses 50
Escola Normal de Girona 49
Escola Superior Tècnica de l'Exèrcit 86, 89
Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona 64, 123
espai quadridimensional de Minkovski 120
espai-temps 117-119, 120
esperança matemàtica 38
Espona 10-11
Esquerra Republicana de Catalunya 50-52
estadística 62, 105
estereologia 111ss
estocàstic 110
etimologia 61-62
Euclides 33, 103
Farrell, Edelmiro 71
Fatorini 95
Fava, Norberto 95

- Federació de Societats de Professors de Matemàtiques d'Espanya 126
- Fedorov, Vladimir S. 110
- Feliu i Bru, Eduard 46
- Fermat, Pierre de 33, 36
- Fermat, teorema de 80
- Ferrater Mora, Càtedra 8, 35, 130
- filologia 61-62
- física 23-24, 113-114, 117, 136
- fisiologia 74-75
- Flexner, Abraham 78
- força nuclear feble 118-119
- força nuclear forta 118-119
- forma, teoria de la 111
- franquisme 51ss, 72, 88
- Freddy 125
- French 74
- Frente Nacional 70
- Frente Popular Izquierdista 70
- Fronzizi, Arturo 95
- Fundació Guggenheim 77, 83
- Fuentes, Manuel 13
- Galileu 35-36
- Galloni 87
- gammagrafia 115
- García Lorca, Federico 17
- Garriga, Antonio 59
- Gascó, Lluís 21
- Gaus, C.F. 34
- Generalitat de Catalunya 46-47, 50-52, 127
- Gentile 95
- geografia 49
- geologia 111
- geometria 58, 60-61, 65, 86, 91, 93, 117, 136-138
- geometria (història) 32ss
- geometria afí 119
- geometria de cossos convexos 119

- geometria diferencial 32, 85, 119
- geometria diferencial topològica 32
- geometria estocàstica 110
- geometria hiperbòlica 120
- geometria infinitesimal 81
- geometria integral 32, 39-41, 56, 67, 83, 109
- geometria mètrica 119
- geometries no euclidianes 33-34
- Gil Robles, José María 51
- Giral, José 51
- Giraudoux, Jean 17
- Girona 9-15, 48, 88, 130-131
- Glashow, Sheldon L. 118
- Gödel, Kurt 79, 81
- Goethe, J.W. 129
- Góngora, Luis de 17
- González Calzada, Lorenzo 11
- González Domínguez 87, 90
- grafs, teoria de 106
- gravitació 117-119
- Grup Escolar Ignasi Iglésias 10
- Grup Escolar Joan Bruguera 10
- Grupo de Oficiales Unidos 71
- Guerra Civil 43ss
- Guevara, Edith 62
- Guevara, Ernesto Che 62
- Guido, J. M. 95
- Guzmán, Miguel de 31, 97, 105, 127
- Haber, Fritz 29
- Hadamard, Jacques 21
- Hadwiger 109
- Halmos, Paul R. 7
- Hamburg 27ss, 109
- Hamburg Abhandlungen, revista 67
- Hasse, Helmut 32
- Hecke 32
- hèrnia discal 115

- Herrera, Emilio 41-42
Hertz, Heinrich 118
Hilbert, David 21, 28, 32
historiografia 12-13
Hitler, Adolf 27, 28, 31, 57
Hounsfield, Godfrey Newbold 113-14, 118
Houssay, Bernardo Alberto 74-76, 96
Huygens, Christiaan 36
Illía, Arturo 96
Independiente de Avellaneda 125
informàtica 82, 105
Inquisició 60
Institución Libre de Enseñanza 15
Institut de Batxillerat de Girona 10-14, 19, 131
Institut de Batxillerat de Figueres 12
Institut d'Estudis Avançats de Princeton 76-83
Institut d'Estudis Catalans 62, 127, 131
Institut d'Estudis Gironins 12
Institut de Matemàtiques de Göttingen 29
Institut de Matemàtiques de Rosario 65, 67, 85
Institut de Recerques Aplicades per a les Ciències Militars 29
Institut-escola 19
Institut Henri Poincaré 55
Institut Lope de Vega 41
Institut Pasteur 17
integrals 63, 80, 97
Irigoyen, Bernardo de 69
Irla, Josep 51
Isnardi 87
Jaensch 28
Jahrbuch über die Fortschritte der Mathematik, revista 27
Jiménez Fraud, Alberto 17
jocs 35-39
jocs, teoria de 82
Jornades Iberoamericanes d'Educació Matemàtica 127
Junta para la Ampliación de Estudios 15-16, 23, 24
justicialisme 72

- Justo, Agustín P. 69
Kac, Mark 109
Kendall, D.G. 110
Klee 109
Klein, Christian Felix 21, **32, 32**
Krebs, Hans 29
"La Barraca", companyia **17**
Landau, Edmund 28
Lanusse, general 96
Laplace, Pierre Simon 38-**39**
La Plata 85
Larotonda, Ángel 93
Le Corbusier 134
Leloir, Luis Federico 96
Lenard, Philipp 28
Lerroux, Alejandro 51
Levi, Beppo 65-66, 74, 85, **90**
Levi-Civita, Tullio 21
Levingston, general 96
Líster, Enrique 49
literatura i matemàtica **134-135**
Lluhí, Joan 50
Lobatxevski, N. I. 34
Loewi, Otto 29
lògica 92
Los Alcázares, base aeronaval **de** 43-44, 66
Macià, Francesc 10, 50
Mac Lane 77
Madrid 13ss
Mahler 120
Mancomunitat de Catalunya **24**
Maragall, Joan 128
Marañón, Gregorio 17
Marconi, Guglielmo 118
Mariscotti, M. 86
Martínez de Perón, María **Estela** ("Isabelita") 73
matemàtica (a Alemanya) **27ss**

- matemàtica (a l'Argentina) 58-61, 95, 96
- matemàtica (a Catalunya) 21-22, 24, 131-132
- matemàtica (a l'Estat espanyol) 20ss
- matemàtica aplicada 59-60, 106, 135-136
- matemàtica moderna 92, 102-103
- Mathematicae Notae, revista 66, 90
- Mathematical Reviews 132
- Maxwell, James Clerk 118
- "Mayor Notable Argentino" 127
- mecànica quàntica 119
- Mecke 110
- medicina 74-75, 112-117
- medul·lars, trastorns 115
- Menem, Carlos 74
- mesura 37, 61
- metal·lúrgia 111
- Miles, R.E. 110
- Millikan, R.A. 17
- mineralogia 112
- Minkovski, Hermann 119-120
- Minkovski-Hlawka, teorema de 120
- Miró, Joan 124
- Moles, Enric 18
- mòmies egípcies 116
- Monge, Gaspard 33
- Monte Carlo, mètode 38-39
- Montesinos Amilibia 110
- Montgomery, Deane 79
- montoneros 72
- Morder-Weil, teorema de 80
- Morgenstern, O. 82
- Morse, Marston 79
- mosaics aleatoris 110
- Movimiento de Integración y Desarrollo 95
- Munné, Antoni 24
- Murga, Nicolás 52
- "Narcís Monturiol", medalla 127

- nàutica 59-60
- nazisme 27ss, 70, 71, 74, 77-78
- néts i nétes de Santaló 125, 130
- Newton, Isaac 117
- Nietzsche, F. W. 129
- Noether, Fritz 28
- nombres, teoria de 80
- Olimpiada Matemática Argentina 104-105
- ones hertzianes 118
- Onganía, Juan Carlos 95-96
- Oppenheimer, Robert 82
- ordinador 82, 105
- Ortega y Gasset, José 17
- Ortiz, Roberto m. 69
- Orts Aracil, Josep Maria 21
- Palacios, Julio 19
- Paladini, A. 96
- Panzzoni 95
- París 55-56
- Partido Comunista 70
- Partido Justicialista 72, 95
- Partido Radical 95
- Pascal, Blaise 35
- pedagogia 49
- Pérez Gómez, Rafael 110
- Perón, Eva 71-73, 87
- Perón, Juan Domingo 71-76, 86-87, 89, 95
- Pérez, Antonio 127
- Perpinyà 54
- Pi i Bachich, Enric 63
- Pi i Calleja, Pere 21, 24, 25, 61, 62-64, 77, 90, 123
- Pi i Sunyer, Carles 50
- Pineda, Pere 41
- Pitàgores 135
- Pla, Josep 13
- Pólya, George 104, 110
- Poncelet, J.V. 33

- Prat de la Riba, Enric 24
premis i distincions a Lluís Santaló 76, 90, 120, 123-124, 126-130
Primo de Rivera, Miguel 15, 18
Primo de Rivera Orbaneja, Miguel 18
Príncep d'Astúries, premi 127
probabilitats 35-40, 105, 110
probabilitats geomètriques 32, 35-40, 56, 110
Puig Adam, Pere 21, 104
Pujol, Jordi 127
Quihillalt, Óscar A. 87-88
Rademacher, Hans 28
ràdio 118
Radon, J. 113
raigs X 112ss
Rahola i Llorens, Carles 49
Ramírez, Pedro Pablo 70
Ramon y Cajal, Santiago 15, 94
Rawson, Arturo 70
Recht, Lázaro 91, 92
referència mòbil 119
Relativitat, Teoria de la 28, 34, 81, 117-119, 120
Residencia, revista 17
Residencia de Estudiantes 15ss
Revista de la Unión Matemática Argentina 111, 119
Revista Matemática Hispano-Americana 21
Revolución Libertadora 87
Rey Pastor, Julio 16, 19, 21, 22-23, 25, 30, 55, 58, 61, 62, 63, 65, 77, 85, 94, 97, 109
Ricabarra 95
Richter 86-87
Riemann, Bernhard 34
Ríos, Sixto 58
Rosario 58, 65ss
Rossi, Hilda 66-67, 77, 83, 130, 131
Royal Statistical Society 127
Runge 32
Saavedra Lamas, Carlos 70

- Sadosky, Cora 95
 Salam, Abdus 118
 San Carlos de Bariloche 86
 Sánchez Vázquez, Gonzalo 126-127
 Sant Cebrià 53
 Santaló, Alicia 85, 125
 Santaló, Claudia 89, 101-102, 124-125
 Santaló, germanes (filles de Lluís) 74, 89, 124-125
 Santaló, Josep 54
 Santaló, María Inés (Tessi) 67, 77, 125
 Santaló i Parvorell, Miquel 16, 47-48, 49-52, 90
 Santaló i Parvorell, Silvestre 9, 13-14, 52, 88, 90
 Santaló i Sors, Dolors 10
 Santaló i Sors, Joan 9, 53
 Santaló i Sors, Marcel 9, 14, 16, 18, 53, 90
 Santaló i Sors, Maria 8, 10
 Santaló i Sors, Neus 9, 52
 Santaló i Sors, Xavier 10
 Scarfiello 87, 90
 Schrödinger, Erwin 29, 119
 Segovia Fernández, Carlos 91, 95, 99, 103
 Senillosa, Felip 60
 Sentenach, Felip de 60
 Sert, Josep Lluís 124
 siringomièlia 115
 sistema nerviós 114-115
 Sobrequés i Vidal, Santiago 12-13
 Societat Espanyola de Matemàtiques 21
 Societat Internacional d'Estereologia 112, 127
 Sors i Llach, Consol 9, 88
 Steinmer, J. 33
 Stochastica, revista 123
 Stoka 109
 Stone, Marshall Harvey 76-77, 83
 Stoyan 110
 Stroemgren, Bengt 77
 Study 32

- Tales de Milet 32
Tarrús, doctor 13
Teichmüller, Oswald 29
telegrafia sense fils 118
televisió 118
teoria de conjunts 92
teoria geomètrica de nombres 120
teoria de nombres 22, 80, 119-120
Terradas, Esteve 19, 21, 23-25, 44, 56, 61, 62
Terricabras, Josep Maria 8, 130
tesi doctoral de Lluís Santaló 41
Thales, associació 126
Tohoku Mathematical Journal 67
tomografia axial computada (TAC) 114ss, 135
tomografia computada 112ss
tomografia per emissió de positrons 115-116
topologia 80, 81, 106
Torroja, Antoni 21
Torroja, Eduard 21
Toth, Fejes 109
Trabajos de Estadística, revista 111
Trejo, César 64
Trillas, Enric 8, 17, 89, 123-124, 128-129, 131
trucco, E. 96
Trueta, Josep 124
Tsuji 120
tumors 114
Tufts University 113
Ulam, Stanislav 39
Unión Cívica Radical 69
Unió Matemàtica Internacional 24
Unión Matemática Argentina 63-64, 104
Universitat Autònoma de Barcelona 22, 50, 1 26
Universitat Complutense 24
Universitat de Barcelona 20, 22
Universitat de Buenos Aires 23, 60, 89, 95, 1 26
Universitat CAECE 120, 126, 136

- Universitat de Chicago 76, 97
- Universitat de Córdoba (Argentina) 23
- Universitat de Cuyo 24, 58, 62-63
- Universitat de Girona 8, 9, 35, 130-131
- Universitat de Göttingen 81
- Universitat d'Hamburg 30
- Universitat de Harvard 113
- Universitat de La Plata 23, 24, 64, 85, 89
- Universitat de Lió 62
- Universitat del Litoral (Rosario) 65, 85
- Universitat del Nordeste 126
- Universitat de Madrid 18-21, 56, 60
- Universitat de Massachusetts 77
- Universitat de Misiones 126
- Universitat de Rosario 65, 85
- Universitat de San Juan 126
- Universitat de Saragossa 20
- Universitat de Sevilla 126
- Universitat de Tucumán 126
- Universitat Politècnica de Catalunya 123-124, 126, 133
- Uriburu, José F. 69
- Valentine 109
- Varela, Leticia 86
- Veblen, Oswald 78, 79
- vectors 105
- Ventosa i Roig, Joan 47-48
- Vicens Vives, Jaume 12, 13
- Vicente, José Luis 126
- Vico, G. 129
- Vila, Pau 50
- Vilahur, doctor 13
- Villamayor, Orlando 95
- Von Neumann, John 39, 79, 81-82
- Von Staudt, K.G. 33
- Weil, André 77, 79, 80, 91
- Weil, Simone 80
- Weinberg, Steven 118

- Wells, Herbert George 17
Weyl, Hermann 79, 81
Whitney, C. 77
Wolf, P. 38
Wolf Prize 97
Yrigoyen, Hipólito 69, 71
Zentralblatt für Mathematik, revista 27
Zygmund, Antoni S. 77, 97



**Col·lecció de Biografies
de la Fundació Catalana
per a la Recerca**

*Títols publicats

Ramon Margalef

Fèlix Serratosa i Palet

Jordi Sabater i Pi

Joan Oró

Antoni M. Badia i Margarit

Manuel Cardona i Castro

Lluís Santaló

*Títols en preparació

Miquel Batllori

Xavier Duran és llicenciat en Ciències Químiques i doctor en Periodisme. Actualment col·labora a TV3 i al setmanari *El Temps* i és director científic de l'*Anuari de Ciència, Tecnologia i Ambient* d'Enciclopèdia Catalana. Ha guanyat diversos premis d'assaig –Joan Fuster, Josep Vallverdú, Joaquim Xirau, Premi Europeu de Divulgació Científica– i entre els seus llibres cal destacar: *L'esperit de la ciència*, *Cent noves preguntes sobre la ciència*, *Mosquits, microbis i dòlars* i *El cervell polièdric*.

LLUÍS SANTALÓ

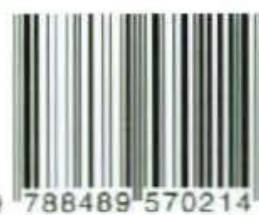
Lluís Miquel Santaló i Sors va néixer a Girona el 1911. Va estudiar matemàtiques a Madrid i després de graduar-se va estudiar a Hamburg amb Wilhelm Blaschke, quan aquest estava creant la geometria integral. Això li va permetre convertir-se en un dels pioners d'aquesta branca de la matemàtica.

Lligat ideològicament al federalisme republicà, però allunyat de l'activitat política, els seus llaços familiars –el seu oncle va ser alcalde de Girona i conseller primer de la Generalitat– i la seva pertinença a l'exèrcit republicà el van obligar a exiliar-se en acabar la Guerra Civil. Després de passar un temps a França, va poder marxar a l'Argentina, on es va establir definitivament.

La seva trajectòria l'ha convertit en el matemàtic argentí més important, però també és un dels investigadors més destacats del món en el camp de la geometria. A més dels seus nombrosos treballs de recerca, cal destacar les noves generacions de matemàtics que van començar a investigar sota el seu mestratge. També ha dedicat molts esforços i reflexions a la didàctica de la matemàtica i ha escrit llibres de text que milers d'estudiants argentins han utilitzat.



FUNDACIÓ
CATALANA
PER A LA
RECERCA



9 788489 570214