

ACTE D'INVESTIDURA COM A DOCTOR *honoris causa*

DE LA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA · BARCELONATECH

CARLOS F. DAGANZO



ACTE D'INVESTIDURA DEL
PROFESSOR CARLOS F. DAGANZO
COM A DOCTOR *honoris causa*
DE LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA · BARCELONATECH

28 DE MARÇ DE 2012

ÍNDEX

Ordre de l'acte d'investidura [7](#)

Elogi dels mèrits del professor Carlos F. Daganzo
pel professor Francesc Robusté [8](#)

Discurs pronunciat pel professor Carlos F. Daganzo [21](#)

Paraules del Sr. Antoni Giró Roca,
rector magnífic de la **Universitat Politècnica**
de Catalunya · BarcelonaTech [29](#)

ÍNDICE

Orden del acto de investidura [33](#)

Elogio de los méritos del profesor Carlos F. Daganzo
por el profesor Francesc Robusté [34](#)

Discurso pronunciado por el profesor Carlos F. Daganzo [46](#)

Palabras del Sr. Antoni Giró Roca,
rector magnífico de la **Universitat Politècnica**
de Catalunya · BarcelonaTech [53](#)

TABLE OF CONTENTS

Order of investiture act [57](#)

Oration for Professor Carlos F. Daganzo,
by Professor Francesc Robusté [58](#)

Honorary Degree Speech by Professor Carlos F. Daganzo [70](#)

Brief speech by Antoni Giró Roca, rector of **Universitat
Politècnica de Catalunya** · BarcelonaTech [78](#)

Imprès en paper amb certificació FSC (distintiu de garantia de qualitat ambiental)

Servei de Comunicació i Promoció de la UPC, 2012 (9001)

Fotos de l'acte: Jordi Pareto

Imprimeix: El Tinter, sal (empresa certificada ISO 14001 i EMAS)

ORDRE DE L'ACTE D'INVESTIDURA

Canticorum iubilo, de l'oratori de *Judas Maccabaeus*
(Georg Friedrich Händel).

Benvinguda del rector magnífic de la **Universitat Politècnica
de Catalunya · BarcelonaTech**.

Lectura de l'acord del Consell de Govern, per part de
la secretària general.

La calma del mar, de Nicolau Guanyabés (harmonització
d'Enric Ribó).

Laudatio del padrí, el professor Francesc Robusté.

Acte solemne d'investidura del professor Carlos F. Daganzo
com a doctor *honoris causa* per la **Universitat Politècnica de
Catalunya · BarcelonaTech**.

Discurs del nou doctor, el professor Carlos F. Daganzo.

El rossinyol (harmonització d'Antoni Pérez Moya).

Paraules del rector.

Gaudemus Igitur (himne universitari, harmonització
de Cornel Arany).

Interpretacions musicals a càrrec de la Coral Arquitectura i l'Orquestra de la
UPC, sota la direcció de Lluís Carné i Miguélez.

ELOGI DELS MÈRITS DEL PROFESSOR CARLOS F. DAGANZO

Francesc Robusté

Rector magnífic de la Universitat Politècnica de Catalunya i rectors d'altres universitats, distingits membres del Claustre i del Consell Social, autoritats i representants d'institucions i empreses, professors, estudiants, personal d'administració i serveis, familiars i amics, benvolgut Dr. Daganzo.

És un motiu de gran satisfacció celebrar aquest acte solemne per donar la benvinguda al nostre Claustre a un nou doctor *honoris causa* per la Universitat Politècnica de Catalunya, en compliment de l'accord del Consell de Govern de 9 de febrer de 2012, promogut per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona i el Centre d'Innovació del Transport (CENIT), que m'honra dirigir. La candidatura del professor Daganzo ha tingut el suport de vint-i-cinc unitats i grups de recerca de la UPC, quinze organismes, empreses i personalitats de Catalunya, trenta-vuit de la resta d'Espanya i vint-i-nou d'àmbit internacional: un total de cent set cartes de suport a la candidatura testimonien l'alta estima i la rellevància de la persona a la qual la UPC atorga aquesta distinció.



El professor Carlos F. Daganzo és catedràtic de Ciència del Transport de la Universitat de Califòrnia a Berkeley, ocupa la càtedra (*endowed Chair*) Robert Horonjeff i és el director del Centre d'Excel·lència de la Fundació Volvo sobre el Futur del Transport Urbà a la Universitat de Califòrnia a Berkeley. Aquestes paraules tracten de resumir l'extensa i fructífera labor duta a terme pel Dr. Daganzo al llarg dels seus quaranta anys d'activitat acadèmica i investigadora.

El Dr. Carlos Francisco Daganzo Rodríguez, *Carlos* per als amics, va néixer a Barcelona el maig de 1948, en una família d'artistes (la seva mare, *Nena*, és una cotitzada pintora) i artesans, i al barri de Gràcia, cosa que li facilitava accedir al Club Tennis de La Salut, on va forjar-se com un esportista d'élit, categoria que encara conserva en els tornejos de tennis de séniors en què participa.

Va graduar-se com a Enginyer de Camins, Canals i Ports el 1972 a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Madrid, va conèixer la seva inseparable companya Va-

lery i immediatament va traslladar-se als Estats Units, a la Universitat de Michigan a Ann Arbor, on va gaudir d'una beca que en aquell moment atorgava el Col·legi d'Enginyers de Camins per fomentar la formació de postgrau i la internacionalització. Allà va rebre el doctorat el 1975, amb una tesi doctoral sobre models estocàstics del trànsit en carreteres de dos carrils. Després de vincular-se a l'Institut Tecnològic de Massachusetts (MIT) durant un parell de cursos acadèmics, es va traslladar a la Universitat de Califòrnia a Berkeley el 1977 i allà continua la seva tasca docent i investigadora.

Carlos és autor de cinc llibres científics que són la referència bàsica de les assignatures de doctorat relacionades amb la demanda, la logística i la gestió de les cadenes de subministrament, les operacions de transport i els sistemes de transport públic, i de més de cent cinquanta articles científics en les millors revistes internacionals, com ara *Transportation Science* i *Transportation Research*.

Però l'aspecte diferencial del professor Daganzo no és la quantitat sinó la qualitat dels seus articles i la repercussió que han tingut: la meitat dels articles científics, que inclouen les aportacions més significatives, són com a autor únic. Amb un factor $h=40$ (té quaranta articles que han rebut un mínim de quaranta citacions), dels més elevats que podem trobar en qualsevol especialitat de l'enginyeria civil i ambiental, ha estat qualificat per diversos avaluadors de la National Science Foundation nord-americana i molts membres clau del món acadèmic internacional com l'investigador individual més significatiu a escala mundial en l'àmbit de la ciència del transport.

El gruix de la recerca de Carlos Daganzo ha estat en els camps dels models de comportament de la demanda de transport, la teoria del trànsit, la logística i la gestió de la cadena de subministrament, les operacions en ferrocarrils, ports, aeròports i terminals de transport, la tarificació (*pricing*) i en l'àmbit urbà de la mobilitat. Com veurem, diverses de les seves contribucions

científiques han tingut una gran rellevància, ja que han establert clarament un abans i un després no només en la pràctica professional sinó també en la comunitat científica internacional.

La primera publicació de Carlos Daganzo va ser l'any 1972, uns apunts i un formulari de talussos a l'Escola de Camins de Madrid, cosa que avala una hipòtesi encara no prou contrastada empíricament que molts dels investigadors que fan grans aportacions en l'àmbit del transport mai no van fer l'especialitat de transport a la carrera. Però, què és el transport? En les mateixes paraules de Carlos, "és la ciència que estudia com les persones, els objectes i la informació superen el temps i la distància". Aquestes dimensions físiques confereixen al transport una perspectiva primordialment funcional, però forjada i alhora condicionada també per components psicològics de comportament, principis econòmics i aspectes socials, energètics i ambientals. La seva segona publicació, la tesi doctoral sobre models estocàstics del trànsit en carreteres de dos carrils (1975), va iniciar un període d'aportacions en l'àmbit de la **teoria del trànsit**: demores en interseccions no semaforitzades, assignació estocàstica de trànsit amb costos dependents del flux, paradoxes del flux de trànsit i el seminal "model analític aproximat per al transport a la demanda de molts orígens a moltes destinacions" (1978), que obria una via a les aproximacions contínues basades en la probabilitat geomètrica que desenvoluparien els principis del disseny dels sistemes logístics un decenni més, que es generalitzaria més endavant, l'any 1984, en els *checkpoint dial-a-ride systems*.

Paral·lelament als desenvolupaments en l'àmbit del trànsit, la recerca del Carlos començava a donar importants fruits en el camp de la **modelització de la demanda**. Ja la *Chicago Area Transportation Study* (CATS, 1960) havia definit una metodologia senzilla de quatre etapes per simular el comportament de la demanda de transport de les persones, però va ser durant aquella dècada dels anys setanta que es van formular els models d'elecció discreta o la teoria de la utilitat aleatòria, basats a suposar que la gent escull una alternativa (un mode de transport, una ruta,



de l'efecte papallona, no podem estar completament segurs que això no sigui així...

Carlos va preferir desenvolupar models causals malgrat la creixent complexitat analítica i suposar que els errors tenien una distribució normal multivariant. Així va derivar els models pròbit, que no admeten un tractament analític sinó numèric. I com que en aquells temps, a finals de la dècada dels anys setanta, encara els ordinadors tenien moltes limitacions, també va desenvolupar aproximacions per calibrar els models. Aquells models són més precisos (i més complexos) que la majoria dels models de demanda que s'empren encara avui en dia, a excepció d'alguns models lògit mixtos, que encara tenen una minsa aplicació pràctica al nostre país. Els models pròbit s'utilitzen actualment en altres camps diferents al transport, com són la psicometria i el màrqueting empresarial.

etc.) segons la utilitat percebuda, una variable aleatòria. La utilitat percebuda es pot suposar equivalent a una utilitat mesurable i determinista més un error aleatori, que tindria una distribució probabilística. El que ens interessa per a la modelització és considerar distribucions dels errors senzilles i que tinguin sentit físic alhora; malauradament això és semblant a trobar coses que siguin alhora bones, boniques i barates, i alguns científics es van decantar per distribucions d'extrems amb poc sentit físic però que conduïen a fórmules tancades senzilles: aquest és l'origen dels models lògit de repartiment modal i per aquesta contribució se li va concedir el premi Nobel d'Economia a Daniel McFadden l'any 2000.

La senzillesa analítica tenia un preu, la independència de les alternatives irrelevants que feia que moltes aplicacions obtinguessin resultats erronis en estar correlacionades, com l'exemple que surt a tots els llibres de text sobre demanda de la "paradoxa" dels autobusos blaus i vermells, en què el model lògit els considera com a alternatives independents malgrat que hem de suposar que la gent no escull un mode de transport basat en el color del vehicle. La veritat és que avui en dia, envoltats per les subtileses

viatjant de comerç, un problema de complexitat no polinòmica que en el camp de la teoria de la complexitat es qualifica com a *NP-hard*. Després generalitza la metodologia al problema del disseny de rutes de vehicles amb capacitat, en què obté fórmules analítiques tancades que permeten predir els costos independentment de la realització concreta del problema, definint variables adimensionals intrínseques al problema físic i guies de disseny per a la construcció manual de rutes de vehicles.

Mentre els problemes de logística eren abordats habitualment, llavors i ara, amb formulacions de programació matemàtica discreta i simulacions i no permetien desenvolupar la "intuïció enginyera" de com ha de dissenyar-se el sistema (la simulació, quan està ben feta, és només descriptiva, no normativa), es demostrava que aquestes guies de disseny eren robustes quan s'aplicaven als primers metaheurístics, com ara la recuita simulada en problemes tipificats, tal com vam mostrar a *Implementing vehicle routing models* el 1987. A la UPC vam tenir l'oportunitat de rebre de forma pionera aquests coneixements que s'estaven desenvolupant durant un curs sobre logística que Carlos va impartir a l'antiga Escola de Camins, ara el Rectorat de la UPC, l'any 1984.

Els problemes de disseny del sistema de distribució física eren cada cop més complexos, abordaven l'heterogeneïtat de les fonts, la integració del cost de transport al d'inventari, la integració dels costos de producció, les restriccions de capacitat, la distribució física de productes peribles, la geometria dels carrers, les fines-tres temporals, etc. Les formulacions o eren innovadores o representaven una revisió de les ja existents des d'una perspectiva sistèmica i científica. Aquí esmentem com a anècdota que àdhuc en models coneguts i publicats en tots els textos d'economia, com ara el del lot econòmic de comanda, *economic order quantity* (EOQ), es van corregir errors com és la incorporació del cost de l'inventari en destinació (que fins llavors es descuidava en considerar que un cop arribava el lliurament a la destinació, la comanda era consumida de forma instantània), cosa que significava haver d'operar amb lots de comanda un 40 % més petits. Carlos va ser l'ànima científica del Laboratori de Logística de General Motors, que va catapultar el seu director Larry Burns a la Vicepresidència d'aquesta empresa. Aquell treball d'equip va rebre també el reconeixement científic del premi TIMS Edelman Award for Management Science l'any 1986, amb tres premis McCuen, i es va plasmar a l'article de valoració de la recerca "Reducing Logistics Costs at General Motors" a la revista



Interfaces l'any 1986. No tots els articles eren iguals i alguns recollien tots els coneixements i alhora la maduresa que s'anava gestant, com un suquet que bull lentament, com una reacció química que transforma reactius en un producte nou: "Configuration of physical distribution networks", publicat a *Networks* l'any 1986 amb Gordon Newell, i "The Break-Bulk Role of Terminals in Many-to-Many Logistics Networks", publicat a *Operations Research* el 1987, són clars exemples d'aquests productes acabats.

A tots ens sorprenia la facilitat i rapidesa amb què Carlos definia un article científic o una tesi: una aportació concreta que millojava el món o la pràctica habitual... Recordo que quan el 1987 es va impartir a Barcelona el que segurament seria el primer curs internacional de logística de tot Espanya de la mà de l'ICIL, l'Institut Català de Logística (en aquell moment jo era doctorand i ajudava Carlos amb els exercicis i problemes), vam visitar un centre de distribució nou d'uns grans magatzems: Carlos mirava i escoltava les explicacions com tots nosaltres i va fer un parell de preguntes aparentment innocents... En escoltar la resposta, em va dir: "Lo hacen mal; ya tengo el tema de otro artículo." I, efectivament, en poc temps es publicava a *Transportation Research Part B* (la part metodològica) "Shipment composition enhancement at a consolidation center".

Un cop acumulats els coneixements desenvolupats durant una dècada, era el moment d'escriure un altre llibre científic clau, *Logistics Systems Analysis* (1991), que a causa del seu èxit ha estat reeditat quatre vegades, un fet molt singular en llibres científics de transport.

Una dècada més tard i seguint amb la seva recerca en l'àmbit de la logística però ara més lligada als processos de fabricació, després d'un parèntesi dedicat a reformular la teoria del trànsit que veurem més endavant, Carlos presenta a *Operations Research* (2004) un article sobre l'estabilitat de cadenes de subministrament, una nova **teoria de les cadenes de subministrament**

(*supply chains*) que suavitzen el perniciós efecte "fuet" (*bullwhip effect*) a partir de condicions de control que en garanteixen l'estabilitat. Carlos va ser el primer a adonar-se de les similituds entre el comportament del seguiment de vehicles en condicions de congestió i la gestió dels inventaris en les cadenes de subministrament.

L'extensió natural del sistema de distribució física al sistema de fabricació ja havia començat feia temps en el marc de la col·laboració amb GM, amb principis de seqüenciació de feines en una cadena d'assemblatge l'any 1987, i continuava amb la sincronització d'horaris de transport i producció l'any 1991. La nova teoria de gestió de les cadenes de subministrament es plasma en el llibre *A Theory of Supply Chains* (2003).

La recerca de Carlos en l'àmbit del trànsit no era nova, però durant la dècada dels anys noranta va rebre un revulsiu en qüestionar l'analogia hidràulica o de mecanica de fluids que imperava: aquesta analogia funcionava bé en carreteres poc congestionades i xarxes poc cohesives, però no era capaç de descriure xarxes de cues com les que apareixen a les carreteres metropolitanes i carrers urbans. El seu famós article "Requiem for second-order fluid approximations of traffic flow", publicat a *Transportation Research B*, l'any 1995, va ser segurament un dels articles més revisats i citats en el camp del transport, semblantment a quan algú diu que ha demostrat alguna conjectura matemàtica fins aleshores mai provada o algun experiment que sembla que contradui algun principi clau de la teoria de la relativitat... però amb molta menys rellevància mediàtica, és clar. De fet, aquest canvi de paradigma no va tenir cap repercussió mediàtica, malgrat que canvia completament la filosofia de la modelització del trànsit, ja que deixava l'analogia hidràulica de conservació de trajectòries i estableix una nova teoria basada en les xarxes de cues.

Mentre que la crítica és un pilar fonamental en l'aplicació del mètode científic, no correspon al tarannà de l'enginyeria quedar-se en la crítica sense proposar solucions que superin els aspectes que



s'estan criticant. Conduint cap al Claremont Hotel de Berkeley, on Carlos juga un partit de tennis setmanalment, se li van ocórrer els principis del model de transmissió de cel·les que permeten analitzar el trànsit en estat de congestió i en xarxa de forma correcta. Seguidament es publica *The Cell Transmission Model* (1995) en dues parts, una aplicada a una carretera aïllada i una altra al trànsit en xarxa. Aquests models de transmissió de cel·les tenen un interès matemàtic i pel que fa als mètodes numèrics molt més ampli que en el camp del transport. En aquest sentit, vull esmentar l'anècdota d'una investigadora visitant d'un altre camp de l'enginyeria la qual, en l'entrevista de cortesia amb Carlos fa uns quants anys, li volia explicar que en la seva recerca feia servir uns mètodes numèrics anomenats *models de transmissió de cel·les* i que no sabia si ell havia sentit parlar d'aquests models. Carlos li va contestar: "Yes, of course, you may not be aware that I invented them."

Carlos formula una teoria variacional de les ones cinemàtiques del trànsit que permet tractar correctament situacions de congestió del trànsit en xarxa mitjançant equacions diferencials parcials amb condicions de contorn no estudiades prèviament per la seva

dificultat. A banda de l'alt contingut matemàtic i la gran utilitat general en l'àmbit de les matemàtiques aplicades, aquesta teoria facilita l'anàlisi del trànsit, ja que unifica les vuit versions existents de models de trànsit d'un carril, amb la qual cosa demostra sorprendentment que són matemàticament equivalents. La teoria també permet millorar notablement els mètodes numèrics emprats per aquests tipus de problemes matemàtics, incloent-hi els del trànsit. Finalment, Carlos també demostra que en la teoria del trànsit les ones cinemàtiques són equivalents a autòmats cel·lulars (*cellular automata*) i desenvolupa els mètodes numèrics adients, en diferències finites, del model d'ona cinemàtica del trànsit.

A partir d'aquest moment, Carlos fa moltes aportacions en l'anàlisi del trànsit que expliquen gairebé tots els fenòmens fins aleshores "misteriosos" associats amb els colls d'ampolla dinàmics a les carreteres: cues mòbils a la carretera, colls d'ampolla mòbils, la naturalesa de l'embús en xarxa (*gridlock*) de les carreteres i com es pot prevenir, una teoria de la dinàmica del trànsit en carreteres amb carrils especials, els canvis de carril en corrents de trànsit i els efectes dels carrils VAO i el seu paper en la sua-



vització (*smoothing*) dels colls d'ampolla a les carreteres. Moltes d'aquestes aportacions han gaudit de la recerca empírica del professor Michael Cassidy, que ha consistit en l'anàlisi de dades que han permès contrastar les teories.

Carlos també formula una teoria sobre el comportament del flux del trànsit multicarril que tracta de forma coherent i amb contrastació empírica el comportament del trànsit en situacions de canvis de carril per incorporació, fusió (*merging*) i trenat (*weaving*). Amb Alejandro Lago (graduat de la UPC, avui professor de l'IESE) va estudiar com es podia controlar el trànsit en una autopista d'accés a una ciutat reconeixent els aspectes físics de les cues i que els conductors poden escollir el moment de començar els seus viatges.

Però el que més sorprèn és que a les seves classes explica de forma clara només els punts clau, el moll de l'os, les regles per a l'aplicació i els resultats principals de manera que fa que

ens sembli que fins i tot entenen els conceptes, una estranya habilitat que ja vaig detectar en Stephen Hawking després d'escoltar una conferència sobre la història del temps: les nostres cares somrients perquè pensàvem que ho havíem entès tot van canviar quan l'amfitrió, un eminent físic, ens va dir: "Ara creieu que ho enteneu, per la seva excepcional habilitat a simplificar i comunicar; però quan sortiu de la sala us adonareu que els conceptes són més difícils d'entendre del que aparenen."

Abans de descriure la darrera i potser més prometedora etapa de recerca de Carlos, la mobilitat urbana, cal fer esment que entre les dues últimes etapes va fer diverses aportacions sobre la millora de les operacions de tots els modes de transport. De fet, cada cop som més els que pensem que quan parlem de transport per defecte parlem d'operacions. En l'àmbit dels ferrocarrils va proposar estratègies de classificació estàtiques i dinàmiques per al transport de mercaderies per aquest mitjà.

En el camp dels ports va estudiar la productivitat i la programació de les grues a les terminals portuàries, els sistemes de cues amb horaris d'arribada i ordre de servei establerts (aplicables als vaixells, amb el professor Fede Sabrià, de l'IESE, també graduat a la UPC), la productivitat de les terminals portuàries, la tarificació òptima de les cambes de contenidors, el *trade-off* entre espai d'emmagatzematge i el cost de la manipulació dels contenidors portuaris, la càrrega i descàrrega als vaixells portacontenidors i l'operativa de doble cicle de les grues en ports de contenidors.

Des de la desregulació del transport aeri als EUA fins a finals de la dècada dels anys setanta, les grans aerolínies operaven en serveis de tipus *hub & spoke* i consolidaven els vols en un o diversos aeroports de transferència, els quals, naturalment, estaven subjectes a l'autocongestió durant els bancs horaris de concentració i dispersió de vols. Carlos, amb els seus estudiants de doctorat, va fer contribucions sobre la xarxa de serveis *hub & spoke*, la classificació de l'equipatge per tal d'estalviar la congestió a l'aeroport *hub*, la recollida de l'equipatge quan hi ha congestió a la cinta de lliurament d'equipatges o el disseny geomètric dels aeroports *hub*, en què va introduir el *concepte solar* d'aquestes terminals singulars: ningú no hauria pogut dir que les formes teòriques òptimes d'aquests aeroports *hub* tindrien cap relació amb les espirals d'Arquimedes o amb sinusoides complexes...

Carlos també analitza les operacions en terminals de transport mitjançant la coordinació dels horaris d'arribada i de sortida, i el disseny de sistemes de terminals de transport amb aproximacions contínues. Després de tota la recerca en l'àmbit de les operacions de transport, era el moment de publicar el seu llibre *Fundamentals of Transportation and Traffic Operations* l'any 1997.

Carlos desenvolupà models mixtos de tarificació i restriccions del trànsit metropolità, que demostraven a *A Pareto optimum congestion reduction scheme* (1995) que l'òptim de Pareto (aquell que els usuaris implicats no poden millorar sense perjudicar els altres) no és una tarificació de congestió (*congestion charging*) com a Lon-

dres (en aquest cas fixa, quan ja Arthur C. Pigou va establir ara fa cent anys que la tarifa ha de dependre del flux de vehicles i, per tant, del grau de congestió), ni una restricció com el *pico y placa* colombià (segons el qual els dilluns no poden entrar en el centre els vehicles amb matrícules acabades en 0 i 1, per exemple), sinó un *mix* entre restriccions i tarificació. No és estrany que la millor solució entre els dos extrems, blanc o negre, sigui una tonalitat de gris. Pel desenvolupament de la tarificació de la congestió a finals de la dècada dels anys seixanta (més tècnicament, per la teoria dels incentius en condicions d'informació asimètrica) es va concedir el premi Nobel d'Economia el 1996 a William Vickrey.

La darrera època, ja com a director del Centre d'Excel·lència de la Fundació Volvo sobre el Futur del Transport Urbà, és potser la més productiva i prometedora, amb el descobriment de la relació fonamental macroscòpica del trànsit a les ciutats (*macroscopic fundamental diagram*, MFD, en col·laboració amb el professor Nikolas Geroliminis, de Lausana), que permet determinar el grau de congestió del trànsit adient en una ciutat i que canviàrà la forma d'operar dels semàfors a les ciutats i també dels programes de simulació del trànsit (actualment basats en matrius origen-destinació de viatges, quan l'MFD no depèn de



les matrius de viatge sinó de les densitats zonals dels vehicles). La perspectiva de la ciutat com a “fàbrica de mobilitat” permet considerar els aparcaments com a estoc de matèries primeres i els semàforos com a reguladors d’una cadena de subministrament. L’aplicació d’aquesta nova perspectiva a la mobilitat d’una ciutat com Barcelona segurament comportaria aportacions molt interessants.

A partir de la petició de l’Ajuntament de Barcelona al CENIT per reformar la xarxa d’autobusos, Carlos desenvolupa l’estructura de xarxes competitives de transport col·lectiu urbà. Aquesta recerca conceptual s’ha aplicat en forma de dotze corredors, que es van presentar aquí a la UPC ara fa dos anys amb el nom de RetBus, alguns dels quals començaran a estar operatius després de l’estiu. La recerca conjunta entre Carlos i el CENIT ha continuat amb la implementació i la comparació de les xarxes actuals, la RetBus i una xarxa ortogonal molt accessible que passaria cada tres illes de l’Eixample, la qual fa conoure que la RetBus és més eficient socialment (“Design and implementation of efficient transit networks”, publicat fa uns quants mesos a *Transportation Research*). El nombre de corredors d’autobusos exprés a Barcelona ha de mantenir un equilibri amb l’espai dedicat al trànsit: a partir del primer diagrama fonamental macroscòpic del trànsit de Barcelona, obtingut amb models de simulació desenvolupats pel professor Jaume Barceló, de la UPC, hem pogut obtenir que la dimensió òptima de la xarxa d’autobusos exprés de Barcelona hauria de ser al voltant de quinze corredors. Els condicionants polítics d’una implementació poden supeditar-la, però sempre és positiu conèixer els principis científics subjacents i els resultats objectius que se n’obtenen.

Amb l’equip de transport col·lectiu urbà del CENIT, dirigit pel Dr. Miquel Estrada, hem implementat mesures *low cost* de millorena de l’operativa dels autobusos, com ara la doble parada al tram central de l’avinguda Diagonal de Barcelona o la coordinació se-mafòrica pensada per als autobusos aplicada al carrer Aribau.

Carlos ha formulat també aspectes dinàmics del transport a la ciutat, com són les equacions de comportament dels canvis de carril o els carrils d’autobús amb prioritat intermitent (BLIP, de *bus lane with intermittent priority*).

Finalment, la recerca del Carlos en l’àmbit de la mobilitat urbana inclou estratègies per eliminar l’aparellament dels autobusos i la seva implementació als autobusos via TIC (tesi doctoral en curs de Juan Argote, un altre graduat de la UPC i que ha treballat al CENIT), i s’està encaminant cap a la incorporació de tots els elements, transport públic, trànsit, principis tarifaris i comportament de la demanda, per aconseguir el disseny conjunt (*conjoint design*) de la mobilitat urbana, qüestió de la qual tractarà el seminari que impartirà aquesta mateixa tarda. Carlos, cuando acabes con esto, ya sólo te quedará incorporar la distribución urbana de mercancías y la ecomovilidad de peatones y bicicletas.

En l’època de la comunicació en què ens trobem, els conceptes mediàtics poden facilitar l’interès institucional i social. Recordo haver comentat a Carlos l’any 1990 la necessitat de tractar de forma sistèmica i científica tots els serveis que proveeix i gestiona una ciutat (entre els quals hi ha la mobilitat, però també els subministraments i el disseny urbanístic), al qual comentari va contestar que era una bona idea i que escrivís un llibre sobre *logística urbana* abans que altres s’hi avances... A finals de la dècada dels noranta ja es va encunyar el concepte *city logistics* a partir d’un llibre japonès. Durant el meu període sabàtic, l’any 2008, vam comentar amb Carlos idees que, amb l’ajut de les TIC, constituirien la *smart urban mobility*... Ara que totes les ciutats volen ser una *smart city* (com deia Joan Clos al primer congrés internacional que es va celebrar a Barcelona a principis del desembre passat, per contraposició al fet que ningú no vol ser una *stupid city*) i que tothom vol que Barcelona sigui un gran aparador i laboratori de sensors i aplicacions *smart city*, segurament haurem de parlar de *mobility in smart cities*... Però, si ens descuidem una mica, amb l’impacte del Mobile World Congress, celebrat també



recentment a Barcelona, amb aquest concepte de *mobility* s’entindrà simplement passejar amb un *smartphone* per la ciutat... Per posar el qualificatiu *smart* caldria demanar utilitat i eficiència i no només la connectivitat o accessibilitat a la informació en temps real que pot venir de xips, satèl·lits, sensors i la xarxa... El paper de l’R+D+I és, més que mai, fonamental.

El professor Carlos F. Daganzo ha mantingut una estreta **relació amb la UPC** i concretament amb l’Escola de Camins i el CENIT, on ha impartit de forma continuada cursos i seminaris, ha dirigit tesis doctorals de professors i exalumnes de la UPC (Dr. Frederic Sabrià, Dr. Francesc Robusté, Dr. Alejandro Lago i Juan Argote, que l’està elaborant), ha participat en tribunals de tesis doctorals defensades a la UPC i en congressos d’enginyeria del transport organitzats a la UPC (Congreso de Ingeniería del Transporte, 1998), i ha estat tutor d’estades sabàtiques de diversos professors de la UPC.

Fins aquí la trajectòria científica del professor Carlos Daganzo. Deixe-me uns minuts més per esmentar la seva vessant personal.

Carlos és molt esportista i li agraden els esports en general, com ara l’esquí de fons i el ping-pong. Ja he esmentat l’alt nivell de Carlos com a jugador d’elit de tennis, però també cal esmentar de forma diferencial la seva passió per la bicicleta... Va ser campió de tennis de Catalunya per equips júnior jugant amb el Club Tennis de La Salut en l’època de Manuel Orantes i va haver d’escollir entre una carrera professional de tennis i entrar a l’Institut Blume o fer enginyeria... Encara ara continua jugant al tennis a nivell competitiu en tornejos... També ha fet curses de bicicletes... Us asseguro que és molt difícil guanyar Carlos en aquests esports... De fet, diu: “Anant en bicicleta és com em vénen les millors idees.”

És, igual que la seva esposa Valery, un fan de la *bluegrass music* (també anomenada *hillbilly*), un estil de música *country* amb arrels en la música tradicional anglesa, irlandesa i escocesa, portada pels immigrants de les Illes Britàniques a la regió dels Apatxes i que ha incorporat influències del *jazz* i el *blues*. Una altra característica de Carlos és portar sempre la funda de les ulleres penjada del coll... ulleres que gasta literalment, com podem veure a la foto de la seva taula.

Carlos i Valery es van conèixer a Madrid de molt joves i des d’aleshores han estat una parella còmplice i enamorada... Carlos reconeix que Valery el va desconcentrar inicialment a la carrera, però que quan ja van començar a tenir família va recuperar la concentració: va acabar el màster en un any i el doctorat en un any i quatre mesos... A Valery li agrada viatjar i és una experta cuinera... Potser ajuda a mantenir aquesta relació estable el paper premeditat que adopta Carlos de savi distret a casa...

Fruit de la relació van néixer les seves filles Jenifer, Dana i Sally. Davant un cop de mala sort, que de vegades ens porta la vida, va trobar refugi en el treball i en l’esport... La seva postura enfront de temes transcendentals com és l’absència és pragmàtica, com correspon a un científic: no queda cap altra sortida intel·ligent que fer-se fort i encarar el futur condicionat per la nova situa-

ció: "La muerte no existe, las personas sólo mueren cuando se las olvida", va posar a l'esquela de la seva mare, Nena... "En el fondo, vivimos de recuerdos", em va dir el novembre de 2002. Tant Jenifer com Sally són també doctores (en audiologia i en medicina) i els han fet avis de sis néts i nétes.

"Mi nombre, Charles, se debe a mi avanzada edad... Nací en tiempos de Napoleón, cuando en Barcelona se hablaba francés", va comentar amb naturalitat als caprichos de les traduccions automàtiques de la seva invitació a l'anglès... Carlos sempre bromeja... El sentit de l'humor és una vàlvula d'escapament de la concentració i meticulositat perllongades en el temps...

Sempre que pot, posa alguna nota d'humor en els noms de programes o idees, com ara CHOMP, TROMP, PEANUT, BLIP... O el Berkeley University Logistics Laboratory: Shipping, Handling, Inventory and Transportation, que em va permetre emprar com a logo (en aquest humor mancat de subtilesa he de confessar

que s'han ajuntat la fam amb la gana) del software CALHOP de disseny de rutes de vehicles en un dia de portes obertes de la Industrial Liason a Berkeley. De vegades em fa l'efecte que el sentit de l'humor ha anat augmentant amb els anys...

Recordo també la nota que em va fer posar en els agraïments d'un article sobre un problema del viatjant de comerç de 240 punts quan vaig dedicar molt de temps ("Are you still connecting the dots?", em deien) a guanyar l'aposta de 10 \$ que cada any feia el professor Gordon Newell als seus estudiants com a repte que no seríem capaços de guanyar-lo: "The first author will graciously return the \$10 after presentation of a tour shorter than 112 inches." Per sort Gordon no es va "picar" amb aquella provocació, especialment perquè els 10 \$ ja s'havien gastat immediatament cobrint necessitats bàsiques peremptòries.

Gordon Frank Newell era un físic que va ser el mentor científic de Carlos. Era alhora catedràtic d'Investigació Operativa i cate-



dràtic de Transport en dos "departaments" o centres diferents de Berkeley. El nostre respecte per ell augmentava quan Carlos ens deia que ell es podia equivocar però que Gordon mai s'equivojava: "The art of modelling consists on analyzing a system with few variables, taking the most relevant ones and throwing the rest to the garbage, and hoping that the selected variables are those that we are able to understand", deia Gordon inexorablement el primer dia de classe... a totes les seves classes... juntament amb "What's the question?" i "Draw a picture!".

Tant Gordon com Carlos ens deixaven treballar fins que els estudiants descobríem la resposta que ells ja coneixien anticipadament... com a bons mestres. Gordon Newell feia servir unes tires de *Peanuts*, les caricatures de Charles Schulz amb el gos que meditava sobre situacions humanes des del sostre de la seva caseta, com a carta de rebutjig a articles mal enfocats que es pretenien publicar a *Transportation Science* quan ell n'era redactor en cap: allò de "lamentem haver-li de comunicar que ens veiem obligats a rebutjar el seu manuscrit... de fet, no ho lamentem gens" i el "no publicaríem el seu article encara que ens pagués per fer-ho" li van comportar l'àlies *The Shark*, el Tauró, i també alguna enemistat d'investigadors amb un sentit de l'humor limitat.

Gordon Newell tenia una dèria en contra de la revolució digital, en particular els PC, que em recordava la novel·la *El nom de la rosa*, d'Umberto Eco: calia ser molt estricte i intransigent contra els primers indicis de relaxació o l'intent de limitar la capacitat d'anàlisi abstracte i conceptual. Per obtenir nombres aleatoris sobre paper mil·limetrat per dissenyar els circuits del viatjant de comerç, feia servir els darrers dígits dels telèfons de la guia telefònica com a coordenades i quan va rebutjar el PC que la universitat oferia a tots els professors el 1987 i li vam demanar que l'acceptés i que si ell no el volia que ens el donés als estudiants de doctorat, va dir que mai podria permetre que constés als registres de la universitat que ell disposava d'un ordinador. Gordon ens va deixar el 2001, però el seu llegat científic perdurà.

En aquells temps del duet Carlos & Gordon, per moltes fórmules que desenvolupéssim, per poder optar a llegir una tesi doctoral com cal calia guanyar aquesta parella... al ping-pong. Us puc assegurar que no era fàcil... Però els estudiants teníem anys per practicar... Alguns molts anys... Les rares vegades que guanyàvem, Carlos canviaava les regles del joc del ping-pong a les del *king-pong*, jugant amb les vegades que botava la pilota a la taula... Alguns estudiants asseguren que el servei de Carlos al ping-pong viola la conservació del moment angular... L'actual parella de ping-pong i alhora de recerca és Mike Cassidy, els quals, com que es cansen de guanyar sempre, de vegades es canvién la identitat amb caretes per desconcertar els estudiants...

La tasca de recerca de Carlos Daganzo ha quedat ben patent; nogensmenys, la seva tasca com a bon docent també ha estat premiada. La seva màxima és "work hard, be smart", malgrat que alguns estudiants han de sentir "this is trivial" massa vegades.

Un dia Carlos va confessar el secret de tenir èxit a un estudiant: "Treballa extremadament dur tota l'estona i utilitz la màxim de la teva intel·ligència a la mateixa vegada, tota l'estona, quan treballies, menges, camines, etc. Qualsevol que faci això tindrà èxit." Malgrat aquests consells, els seus estudiants l'estimen i el van escollir com a millor tutor i va ser guardonat amb el Faculty Mentor Award l'any 2008. La tasca de director de recerca també es plasma amb molt de detall en les correccions dels articles (i de vegades de la mateixa tesi doctoral): sovint és més eficient tornar a escriure el text que no intentar incorporar-hi les seves correccions.

Carlos Daganzo ha dirigit les tesis doctorals de quaranta estudiants de doctorat, que han arribat a posicions altes en la indústria i les universitats de diversos països, com ara vicerectors, degans de facultats i directors de centres de recerca: la UPC i l'IESE a Espanya; el Massachusetts Institute of Technology, la Northwestern University, la University of Illinois, el Georgia Tech, la University of Washington, la University of Maryland, la

University of Arizona i la University of Southern California als Estats Units; l'École Polytechnique Fédérale a Lausana i l'Eidgenössische Technische Hochschule a Zuric; al Canadà; a Xile; a Taiwan; a la Xina; al Brasil...

L'International Symposium of Transportation and Traffic Theory (STTT) és el congrés, ara biennal i abans trienal, de més nivell científic en l'àmbit del transport: el darrer va tenir lloc a Berkeley el juliol passat i es va dedicar a Carlos Daganzo. A banda dels famosos físics fundadors ja desapareguts, Herman i Newell, Carlos Daganzo és l'única persona que ha tingut aquest reconeixement. Això va propiciar una concentració de setze estudiants de Carlos de totes les èpoques...

Com a conclusió, es pot fer recerca de qualitat i descobrir grans coses amb pocs recursos, només aplicant-hi el "work hard" i el "be smart" de Carlos... i disposant d'un sistema àgil, estable, pragmàtic i que reconegui la vàlua, i d'estudiants excel·lents i entusiastes que vulguin aprendre i gaudir mentre ho fan.

Quan diferents *bloggers* escriuen sobre una persona no pública, de forma anònima i per lloar-la, aquesta persona es converteix en un personatge... Voldria fer esment d'una citació anònima d'un

tal Safetea Lu: "Mentioning Carlos Daganzo, I have to take my hat off to salute him! Daganzo does not like to go to conferences and party. That's why you hardly see him accepting invitation to be a guest speaker, be given awards etc. But I think, for a person of his statue, he does not need to care anymore! He really lives the life of a scientist!"

Aquest *logger* anònim té raó: Carlos, gracias por aceptar este reconocimiento que espero que sea especial para ti.... Revisa también las cartas de apoyo porque no todas se han limitado a incluir formalidades... Verás que muchas están escritas con el corazón y desde la más profunda admiración.

El CENIT va començar a operar el gener de 2002 i, per tant, aquest any 2012 celebrem el desè aniversari. La millor manera de donar rellevància acadèmica a aquest esdeveniment era promoure conjuntament amb l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona aquest alt reconeixement de la nostra Universitat Politècnica de Catalunya vers una personalitat científica de primer ordre internacional.

¡Enhorabuena, Carlos, te lo has ganado!

Barcelona, 28 de març de 2012

DISCURS PRONUNCIAT DEL PROFESSOR CARLOS F. DAGANZO

AGRAÏMENTS

Rector magnífic de la UPC, Consell del Govern, distingides autoritats, professors, companys, estudiants, amics:

Estic francament sorprès i molt agraït per aquest gran honor que m'omple d'alegria i satisfacció. M'agrada sobre manera perquè me l'atorga una universitat que és admirada internacionalment, particularment en el meu camp d'especialitat.

Encara que porto ja molts anys de vida professional i he rebut reconeixements, el d'avui té per a mi un significat molt especial, ja que vaig començar els meus estudis a Barcelona i sempre he tingut un vincle especial amb la UPC. Considero aquest honor com el colofó perfecte i un tancament ideal a un cicle de la meva vida. El rebo amb tota la humilitat i la major gratitud de què pugui ser capaç. Aquesta gratitud també l'estenc a totes les persones que m'han ajudat.

Vaig viure a Barcelona els primers disset anys de la meva vida, amb uns pares que tot i que no van tenir educació de batxillerat



van fer el possible perquè el seu fill anés a la universitat. Em vaig decantar per l'enginyeria de camins perquè, parlant francament, era la que ells volien que fes.

Després de fer el primer any comú a Barcelona, a l'escola d'enginyeria industrial que ara és part de la UPC, vaig anar a Madrid per especialitzar-me perquè la vostra escola de camins encara no existia. Allà em vaig especialitzar en transports perquè era un camp general en què es resolien problemes de la societat.

A Madrid vaig conèixer l'amor de la meva vida (Valery Phillips, de Detroit, Michigan), amb qui em vaig casar el 1970, dos anys i mig abans d'acabar la carrera. Ella em va animar a fer estudis de postgrau i, gràcies al seu treball i el seu suport moral, vaig aconseguir acabar la carrera i després fer un doctorat a la Universitat de Michigan (1975).

A Michigan també vaig rebre ajuda del meu supervisor, el professor Donald Cleveland. Ell no només em va ocupar com a investigador, sinó que em va donar carta blanca perquè fes una tesi sobre el tema que jo volguéss.



Aquesta llibertat em va atraure a la vida acadèmica. Donald Cleaveland també em va deixar ensenyant en un curs de postgrau, la qual cosa em va demostrar de forma directa que l'ensenyament em permetria influenciar els alumnes, que podrien multiplicar els meus esforços per millorar la societat. Així és com vaig decidir intentar ser professor universitari.

PRIMERES INVESTIGACIONS I PERSONES QUE EM VAN INFLUENCIAR

A Michigan, hi vaig desenvolupar dos models matemàtics, ambdós basats en la teoria de cues: un sobre autobusos amb rutes flexibles i un altre sobre el trànsit en carreteres de dos carrils.

El 1975, gràcies a la intervenció del professor Nigel Wilson, que s'havia interessat en el meu treball sobre autobusos, vaig aconseguir un lloc de professor a l'Institut Tecnològic de Massachu-

setts (MIT), on vaig treballar sobre temes de demanda i operacions de transport.

En el camp de la demanda, vaig desenvolupar amb els meus estudiants el model estadístic d'elecció discreta anomenat *multinomial probit*.

En el camp de les operacions de transport, vaig començar a estudiar les operacions de xarxes de trànsit amb la teoria de cues. Aquest camp m'atreia més que el de la demanda perquè vaig veure que, en aquest àmbit, podia tenir un impacte en el món més visible i directe.

Les millors idees en aquest camp sortien de la Universitat de Califòrnia a Berkeley. El 1976 vaig fer una xerrada sobre operacions en aquella mateixa universitat. Allà vaig conèixer en persona el professor i gran pioner de l'enginyeria del transport Gordon Newell. En aquell moment va néixer una amistat i una admiració

mútua que perduraria. El 1977, gràcies a la intervenció d'aquest professor, amb el suport físic i moral de Valery i ja amb tres filles (Jenifer, Dana i Sally), vaig acceptar un lloc de professor a la Universitat de California a Berkeley, on encara continuo.

El 1977 també vaig començar una associació científica amb el laboratori d'investigació de la companyia automobilística General Motors (GM) i l'equip dirigit pel doctor Larry Burns. Larry i jo ens vam adonar que els models de xarxes i la teoria de cues per al trànsit es podien modificar i aplicar al moviment intern dels productes de GM. A partir de llavors vam començar una col·laboració que va durar més de deu anys. Aquests treballs sobre la logística de GM van reduir tant els costos d'aquesta empresa que en la dècada dels anys vuitanta l'equip de Larry va rebre nombrosos premis dins i fora de la companyia, pel significat pràctic dels nostres resultats.

PRIMERS ESTUDIANTS DE LA UPC

Alhora, a Berkeley, amb els meus estudiants de doctorat vam començar a desenvolupar sistemàticament i més fonamentalment les teories logístiques del moviment de mercaderies. Aquest era en aquells moments un camp completament verge i, com que podia tenir un impacte directe i mesurable en la vida real, vaig decidir abocar-m'hi. El desig de disseminar les idees em va portar a crear dos cursos i escriure un llibre de logística.

Durant aquella època cal ressaltar dos estudiants magnífics de la UPC que van fer el doctorat sobre els temes esmentats: Federic Sabrià, PhD '86, ara professor de l'IESE, amb un tema de capacitat portuària, i Francesc Robusté, PhD '88, exdirector de l'Escola de Camins i el meu padri avui, amb un tema de moviments d'equipatge a grans aeroports.

El 1987, amb el professor Robusté, vam demostrar amb simulacions que un mètode d'aproximacions contínues que jo havia

propost per gestionar les flotes de vehicles en situacions molt complicades produïa resultats molt bons. Com més gran era la flota més bé funcionava el mètode. Això permet que avui en dia s'usi en aplicacions en temps real.

Les aproximacions contínues també em van permetre desenvolupar models de coordinació de la producció, itineraris i inventari que fins aleshores havien d'estudiar-se separatament. Els mètodes són molt útils perquè milloren pel que fa a precisió com més gran és el sistema. Per exemple, els hem utilitzat amb altres estudiants per analitzar sistemes de distribució a escala nacional i internacional.

TRÀNSIT: LA TRANSMISIÓ DE CÈL·LULES I UN EXEMPLE

En els anys noranta, quan la teoria de la logística madurava, vaig començar a interessar-me una altra vegada pel trànsit, ja que reduir la congestió per al públic en general em semblava un objectiu molt atractiu. En aquells moments existien teories microscòpiques del seguiment d'automòbils que consideraven els vehicles individualment i també altres models en què s'usava la mecànica de fluids. Però la connexió entre ambdues teories no estava ben establerta en un nivell dinàmic –amb l'excepció d'un únic article del ja esmentat G. F. Newell. Els models numèrics de seguiment només es podien usar en sistemes petits (com una illa dins l'àmbit urbà) i els de fluids donaven resultats absurdos. Els algoritmes no convergien.

Per resoldre aquests problemes, vaig desenvolupar una teoria en la qual els carrers o carreteres es dividien en "cèl·lules" de 100 a 200 m, les quals formaven una xarxa orgànica que transmetia cotxes d'una cèl·lula a la següent amb unes fórmules molt senzilles. Aquesta xarxa cel·lular podia representar qualsevol tipus de xarxa real i el model especificava mecanismes de transmissió especials per a les connexions cel·lulars que representaven interseccions. Els mecanismes per a aquestes interseccions havien de

reconèixer que els cotxes tenen destinacions pròpies (a diferència de les molècules de fluids) i per tant les fòrmules es van haver de desenvolupar a partir de zero, sense basar-se en la mecànica de fluids. Aquest model va resoldre els problemes de l'època i es coneix avui en dia com a *model de transmissió de cèl·lules* (CTM, de l'anglès *cell transmission model*).

He esmentat això amb una mica més de detall per posar en context una simulació basada en aquest model que us vull ensenyar perquè el trànsit és una cosa que tots hem viscut i que de vegades sembla misteriós. Per exemple, m'imagino que tots deveu haver estat atrapats alguna vegada en un embús sense poder-ne veure la causa en sortir-ne. Això és força corrent. La simulació que ara veurem explica aquest fenomen. Va ser la primera vegada que es va modelitzar una intersecció de forquilles d'autopistes de manera realista.

El que veureu és gairebé una peça de museu, ja que les simulacions modernes són molt més boniques de veure, encara que moltes inclouen el model CTM com a motor. Una simulació semblant es pot veure per Internet a la meva pàgina web. En aquest exemple el trànsit entra per l'esquerra i surt per la dreta. Noteu com la xarxa es divideix en cèl·lules i que cada cèl·lula conté un nombre de vehicles. En cada "tic" del rellotge, una part d'aquests vehicles, que és determinada pel model, avancen d'una cèl·lula a la següent. És per aquesta raó que els números en les cèl·lules van canviant. En el nostre exemple, el trànsit dins d'una cèl·lula està congestionat si el nombre de vehicles és més gran que nou. Per facilitar-ne la visualització, indiquem el grau de congestió posant els números en vermell quan es dóna aquesta situació i deixant-los en verd quan els vehicles circulen lliurement.

En la simulació hi ha un accident al branc superior que crea temporalment un coll d'ampolla. La cua de cotxes que es forma, que es veu en vermell, es dissipa molt lentament i no es queda fixa. Noteu com una vegada que s'ha eliminat el coll d'ampolla, l'embús es mou aigües amunt. De manera que un conductor la destinació del qual és el branc inferior i que ha estat demorat

per l'embús al branc esquerre mai no podrà veure la causa de la demora. El fenomen del moviment dels embussos també es veu en realitat i, com ja vaig anticipar, és una de les raons per les quals és força corrent sortir d'un embús, mirar i no veure'n la possible causa.

Amb el model CTM, per primera vegada es podia estudiar una xarxa de qualsevol mida amb resultats realistes. A causa d'això, el model ens va permetre descobrir i entendre sistemàticament altres fenòmens peculiares del trànsit.

Potser el més important d'aquests fenòmens és el de la llei del forrellat de xarxes cícliques, que es pot usar per predir i evitar el col·lapse d'autopistes de circumval·lació. Aquest descobriment té molt d'interès pràctic perquè amb un bon control de les entrades es poden evitar demores importants en ciutats com ara Barcelona.



Amb la idea de difondre aquests descobriments i perquè estudiants que volguessin seguir als meus passos poguessin aplicar-los en la realitat, vaig escriure un llibre de text sobre operacions que s'usa a la UPC, a Berkeley i a moltes altres universitats. L'èxit del llibre em va satisfer perquè suggeria que els meus esforços estaven tenint un impacte positiu, encara que una mica indirecte.

ELS TRANSPORTS URBANS: COL·LABORACIONS

En la dècada del 2000, em vaig començar a interessar en problemes més grans, ja que el món s'estava urbanitzant a marxes forçades i jo volia veure si la ciència del transport combinada amb les noves tecnologies podia contribuir que aquesta transició urbanística fos ordenada i tingués poc efecte en el medi ambient.

Per tant, per veure si podia tenir un impacte més directe que amb els treballs teòrics de trànsit que havia fet fins aleshores, vaig fundar amb deu professors de les escoles d'enginyeria i d'urbanisme, i patrocinat per la fundació benèfica de la companyia automobilística Volvo, un centre d'investigació sobre el futur del transport urbà. La missió d'aquest centre, que encara dirigeixo, és crear polítiques de transports noves que explotin al màxim les possibilitats que obren les noves tecnologies. Donem prioritat a projectes que s'apliquin a la pràctica.

Entre els meus col·laboradors cal destacar el professor Michael Cassidy, que ha descobert i ha verificat una infinitat de propietats del trànsit de carreteres i que avui en dia jo considero com el millor investigador de trànsit aplicat. Amb ell he tractat d'implementar noves idees en llocs que s'estan motoritzant ràpidament:

i. A Kenya: com es pot descongestionar el centre de Nairobi sense reduir el nombre de viatges en cotxe i com s'hi pot incentivar el transport col·lectiu.

2. A l'Índia: com es pot millorar el trànsit mixt de bicicletes i cotxes.
3. A la Xina: com es pot augmentar l'eficiència de les interseccions mitjançant semàfors especials a mitja illa.

Aquests treballs pràctics necessitaven que es desenvolupessin teories per resoldre els nous problemes tècnics que sorgien. Perquè us feu una idea de la manera com les idees teòriques es relacionen amb la pràctica us en donaré tres exemples.

El primer és una teoria variacional de trànsit que unifica totes les teories existents de trànsit de primer ordre. Aquesta idea té diverses aplicacions. Per exemple, pot predir la relació entre el nombre de vehicles que circulen en una ciutat i la seva velocitat mitjana, la qual cosa s'ha verificat a Yokohama (Japó). Aquest resultat es pot usar per maximitzar la mobilitat i eliminar la congestió en els centres de les ciutats encara que no se'n tinguin dades de cap tipus. Això és el que hem intentat fer a Nairobi. La teoria també es pot usar per predir i optimitzar el funcionament de carrers amb semàfors i amb carrils dedicats a autobusos o a bicicletes, cosa que és molt útil en molts països. Un alumne de la UPC, Alejandro Lago, que ara és professor de l'IESE, va utilitzar idees relacionades amb aquesta teoria per millorar el control de les autopistes d'accés a les ciutats durant les hores punta.

El segon exemple és una teoria d'estabilització i control de sistemes no lineals. Em vaig adonar que el conegut fenomen d'instabilitat del trànsit en carreteres congestionades era matemàticament semblant al misteriós efecte fuet de les cadenes de subministrament i a l'aparellament d'autobusos. També em vaig adonar que, a diferència del trànsit, aquests dos últims efectes es podien controlar.

L'efecte fuet és important a escala internacional perquè contribueix a magnificar els cicles econòmics. Es nota especialment en països productors de matèries primeres, perquè estan al principi

de les cadenes de subministrament. En molts casos, aquests països estan menys desenvolupats. En vista de la importància del tema, vaig resumir les meves idees en una petita monografia.

L'aparellament d'autobusos és important perquè augmenta els costos de les agències de transports públics i impedeix que es doni un bon nivell de servei a l'usuari. És un fenomen que tota persona que ha usat un autobús ha sofert. Algú espera un autobús molts minuts i, quan arriba, el segueix un altre. Passa quan hi ha molta demanda i especialment si hi ha grans disruptions, com ara l'avaria d'algun autobús.

Amb diversos estudiants de doctorat he estudiat l'aparellament i la manera d'evitar-lo mitjançant la telemàtica. Atès el caràcter prometedor d'aquestes idees teòriques, ara estem tractant de demostrar-les i posar-les a la pràctica en sistemes reals amb un equip que inclou Juan Argote, un altre estudiant de la UPC, i uns altres dos exalumnes, que aporten talents diferents. Hem desenvolupant un producte tecnològic per facilitar-ne l'aplicació. Això hauria estat impossible sense treballar en equip. Si la nostra visió es fa realitat, aquesta nova tecnologia es podrà aplicar en molts sistemes de transport urbans. L'impacte pot ser global, ja que l'autobús és un dels mitjans de transport que mou més persones en moltes ciutats.

Perquè us pugueu fer una idea del que això significa, us ensenyó una simulació desenvolupada pels meus estudiants que també es pot veure a la meva pàgina web (<http://www.ce.berkeley.edu/~daganzo/index.htm>). Explica la física de l'aparellament i també com el mètode de control desenvolupat pel nostre grup l'evita.

La simulació que ara veiem mostra el que passa quan un autobús s'espatlla i queda fora de servei. Els punts que circulen són autobusos. El punt vermell és l'autobús que s'espatlla. Les ratlles que emanen del cercle són usuaris que esperen en les pa-



rades. Al plafó de l'esquerra es veu com un sistema sense control s'aparella ràpidament. Això es deu al fet que els autobusos que es retarden han de processar cues d'usuaris més llargues, la qual cosa implica que es demorin. Al plafó de la dreta es veu com un autobús amb control es recupera i es regularitza gradualment. El tercer i últim exemple d'idees per millorar les ciutats és un mètode basat en les meves velles idees de logística que permet dissenyar òptimament els sistemes de transport públic per cobrir una ciutat de forma completa. Aquesta teoria ha estat verificada recentment a Barcelona amb un treball del centre CENIT liderat pels professors de la UPC Francesc Robusté i Miquel Estrada. Gràcies a la col·laboració dels Serveis de Mobilitat de l'Ajuntament i de Transports Metropolitans de Barcelona, aquest treball ha estat una de les bases per al nou sistema d'autobusos ràpids que ara s'està posant en marxa a Barcelona. Si, com esperem, aquest sistema té èxit, podrà ser un model per a altres ciutats i el seu impacte també podria ser global.

Crec que aquests tres exemples donen una idea de l'esperit dels nostres treballs fins a l'actualitat i dels beneficis de la col·laboració. Per tant, ara conclooc amb un comentari sobre el futur i un altre de retrospectiu.

CONCLUSIÓ

Respecte al futur, veig que l'explosió tecnològica en els mitjans informàtics, socials i de comunicació obre portes per fer coses amb els sistemes de transport que abans semblaven impossibles. Jo tinc la intenció de continuar investigant sobre aquestes noves possibilitats. Per exemple, amb el meu equip estem estudiant la manera com es poden usar les noves tecnologies per dissenyar sistemes que controlin millor el trànsit mixt a les ciutats, i també per crear i aplicar sistemes de tarificació coordinats per a tots els modes de transport.

També crec important que els investigadors científics col·laborin i s'aprofitin de les noves possibilitats tecnològiques. Perquè tinguin un impacte pràctic, aquestes col·laboracions han d'incloure els responsables de la política de transport. La meva experiència en aquest tema m'ha ensenyat que això últim no és fàcil. Per cada èxit hi ha deu errors. Tot i que encara no hem tingut èxit a la Xina, continuem treballant amb col·legues a Pequín i a Xangai per millorar el disseny i l'explotació conjunta del metro i les bicicletes de lloguer. M'agrada animar tots els que sou professors i responsables de la política de transport que proveu coses noves amb un esperit de col·laboració. Considero que aquesta és la millor forma de millorar la mobilitat urbana.

Mirant enrere, veig que he tingut, a més dels ja esmentats, uns altres 35 estudiants de doctorat repartits per tot el món que treballen en els camps de l'enginyeria de camins, l'enginyeria industrial, els negocis i l'economia. Han estat increïbles. La majoria són ara professors com jo i d'altres s'han dedicat al treball apli-

cat. Tots a la seva manera contribueixen a millorar el món i de cada un he après alguna cosa diferent. Jo vaig començar la meva carrera imaginant-me que ells aprendrien de mi, però en passar el temps em va donar que l'aprenentatge és mutu. Quan la Universitat de Berkeley em va donar un premi recentment per ser un bon guia per als estudiants gairebé em poso a riure, perquè francament el premi els l'hauria d'haver donat jo a ells.

Si hi ha una cosa que he après com a educador és que tots els estudiants són diferents. Tots tenen punts forts i febles. Com que crec que no es pot arribar a fer res de gran sense utilitzar els punts forts que un té, sempre he recomanat als meus alumnes que els millorin i que busquin temes de treball que s'hi alineïn. Aquest consell l'he seguit jo en la meva pròpia vida.

Sens dubte, no he après només dels estudiants. També m'he beneficiat increïblement dels meus distingits col·legues Newell i Cassidy. Mai no m'hauria pogut imaginar quan vaig començar la meva carrera que tindria tanta sort.



Vull recalcar que moltes de les meves contribucions haurien estat impossibles sense els meus col·legues i alumnes. És només gràcies a ells que ara s'estan fent realitat els meus somnis inicials de millorar el món una miqueta. Em fa il·lusió veure a més que aquestes millores no s'aturaran quan a mi em faltin les forces, perquè el grup de joves que segueix la meva empremta és del tot capaç de prendre el relleu.

Abans d'acabar, em permeto aprofitar l'avinentesa per esmentar que el centre CENIT, afiliat a la UPC, dirigit pel meu padri el professor Robusté i amb el qual he cooperat moltes vegades, celebra aquest any el desè aniversari de la seva inauguració. A més de donar les gràcies a tots els membres del CENIT per haver-me

inclòs en les seves investigacions, em sembla apropiat desitjar-los en aquest aniversari que la seva trajectòria d'èxits continuï molts anys més.

I ja per tancar, vull donar gràcies una altra vegada a tots els membres de la Universitat (Magnífic Rector, membres del Claustre i el Consell Social, professors i el meu padri, el professor Robusté) per aquest honor que agraeixo profundament. També vull donar les gràcies a tots els presents per venir i especialment a Valery, ja que sense el seu suport tot això no hauria estat possible.

Moltes gràcies per la seva atenció.



PARAULES DEL SENYOR ANTONI GIRÓ ROCA, RECTOR MAGNÍFIC DE LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA · BARCELONATECH

Membres de la nostra comunitat universitària,
digníssimes autoritats acadèmiques,
Sr. secretari general del Consell Interuniversitari de Catalunya,
Dr. Carlos Daganzo,
familiars, amics i companys del professor Daganzo,
senyores i senyors que ens acompanyeu en aquest acte, en què
hem investit doctor honoris causa per la UPC el professor Carlos
Francisco Daganzo.

Vull que les meves primeres paraules siguin de sincer agraïment al professor Daganzo, per fer-nos l'honor de ser avui amb nosaltres i per les seves expressions d'estima cap a la nostra universitat, que té els orígens en els seus estudis i en l'interès per unes disciplines de les quals ha esdevingut expert i mestre.



He d'agrair també el seu interessantíssim discurs, que ens ha fet conèixer una mica més un camp de la investigació tan proper i quotidià com és la logística del transport, el misteri de les cues sense motiu apparent, la teoria del trànsit, les cadenes de subministrament de mercaderies i el transport públic.

Poca cosa puc afegir a la laudatio de mèrits que ha fet el professor Robusté, company i deixeble del Dr. Daganzo, amb el qual es van conèixer a la Universitat de Califòrnia, on el professor Francesc Robusté es va doctorar. És per aquest motiu que avui el professor Robusté, amb el seu vestit acadèmic de doctor per Berkeley, posa una nota de color a aquesta cerimònia.

El Dr. Daganzo és probablement un dels millors científics del transport del món –per no dir el millor– i el científic internacional de més impacte que hem tingut al voltant de la nostra Escola de Camins. Al llarg de la seva vida professional, ha mantingut una estreta relació amb la UPC. Són molts els vincles que ens uneixen: l'enginyeria civil, la logística, la matemàtica aplicada, els mètodes numèrics... A l'Escola de Camins ha impartit cursos i seminaris de forma continuada. Ja el 1984 va impartir el Curso Internacional de Logística, que possiblement va ser el primer

d'àmbit internacional a Espanya. Ha dirigit tesis doctorals de professors i exalumnes de la UPC, ha participat en tribunals de tesis doctorals defensades a la nostra universitat, ha estat tutor d'alumnes de doctorat que han fet estades a Berkeley i ha acollit professors quan hi han fet estades sabàtiques. Darrerament, ha participat amb el CENIT (Centre d'Innovació del Transport) en la remodelació de la xarxa d'autobusos de la ciutat de Barcelona, que aviat es començarà a aplicar.

El transport és una disciplina molt arrelada a l'enginyeria, però també té una forta repercussió econòmica, social, ambiental i política. Com ens ha comentat el Dr. Daganzo, és aquest un dels motius pels quals va decantar les seves activitats cap a aquest àmbit d'expertesa: el desig de contribuir a la millora constant de la qualitat de vida dels ciutadans i de tenir l'oportunitat de mesurar i visualitzar a la vida real l'impacte de la seva recerca. El professor Daganzo va cursar la carrera de Camins per poder retornar als seus pares el fruit del seu esforç. Podia haver escollit uns altres estudis i se n'hagués sortit igual de bé, perquè té clar que, a banda de l'elecció que un pugui fer en un moment determinat, el més important és aplicar-hi una filosofia de vida. Ell ens ha dit que la seva és millorar els propis punts forts i cercar unes línies de treball que hi lliguin.

En escoltar la seva lliçó m'he sentit rejuvenit en camps diferents. El professor Daganzo també ha estat utilitzant la modelització i la simulació com a tercera via per al progrés científic, progrés que ha anat molt lligat al fet que la potència dels ordinadors ha anat millorant seguint la llei de Moore. Els models de la mecànica de fluids per interpretar el moviment dels vehicles es varen poder substituir per models discrets que consideraven els vehicles individualment. Altres feiem el mateix en introduir la dinàmica molecular per estudiar la física de líquids o, més endavant, els creixements bacterians. En definitiva, dividir l'espai en cel·les i augmentar la complexitat del sistema a mesura que la potència de càlcul dels ordinadors ens ho va permetent.

Fruit d'aquesta manera de fer, ha produït notables contribucions científiques, que avui són una referència bàsica en el camp de la demanda, la logística i la gestió de les cadenes de subministrament, les operacions del transport i els sistemes de transport públic. Moltes d'aquestes contribucions han representat canvis paradigmàtics respecte dels coneixements científics precedents.

Durant el seu recorregut, el professor Daganzo va descobrir una altra de les seves passions: l'ensenyament. Perquè tot mestre sap com n'és, de gratificant, poder transmetre coneixements i cercar l'estímul d'aquells que hauran de seguir els camins marcats pels seus predecessors.

El professor Daganzo ha exercit una tasca de mestratge i de referent entre les joves generacions d'estudiants. I ho ha fet tenint molt clar que descobrir i entendre els problemes és el primer pas per resoldre'ls. I, com ens ha explicat el professor Robusté, ho sap fer amb una gran qualitat humana, proximitat, enginy i alegria.

Per tots aquests motius, el professor Daganzo ha rebut diversos premis i reconeixements científics; però, si no m'equivoco, és la primera vegada que rep el reconeixement com a doctor *honoris causa* per una universitat, la qual cosa representa un orgull per a la nostra institució, perquè nosaltres hem estat els primers, però de ben segur que no serem els últims.

Aquest és també un acte transcendent perquè, més enllà del seu simbolisme, amb aquesta distinció la UPC fa justícia a una fructífera trajectòria professional, desenvolupada en estreta i cordial relació amb la nostra universitat.

Per tot això vull expressar el meu sincer agraïment i reconeixement als dos centres que han promogut conjuntament aquesta candidatura: l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, i el Centre d'Innovació del Transport, que enguany celebra el desè aniversari.

Faig extensiu aquest reconeixement a les persones i entitats que hi ha donat suport, que, com ja ens ha dit el professor Robusté, són un total de 107 (29 de les quals són d'àmbit internacional). Crec que m'agraireu que no les esmenti una a una, però, en tot cas, vull que consti el nostre agraïment a totes i cadascuna, i molt especialment a les que avui ens honoreu amb la vostra presència.

I, finalment, també al Consell de Govern de la nostra universitat, que va acollir i aprovar la proposta per unanimitat.

És, doncs, un motiu d'orgull i de satisfacció incorporar el professor Carlos Daganzo al Claustre d'Honor de la Universitat.

Clouremon ara aquest acte acadèmic amb el *Gaudemus igitur*, que com és habitual interpreta la Coral d'Arquitectura i l'Orquestra de la UPC, a qui agraïm l'actuació, i d'una manera especial al seu director, Lluís Carné.

Vull també agrair la tasca de totes les persones que han participat en l'organització d'aquest acte i dels que heu facilitat que es transmeti en direkte, a través del canal UPCtv, a tots els campus de la nostra universitat.

Finalment, siguin les meves darreres paraules per demanar i agrair per endavant al Dr. Carlos Daganzo que continuï treballant de costat amb els investigadors de la UPC, per continuar millorant, i fent més sostenible, el trànsit de les nostres ciutats. La seva experiència i els seus coneixements seran també inestimables per definir tots els temes logístics i de transport que són tan decisius per al nostre país, especialment en aquests moments en què els treballs sobre les *smart cities* per una banda i els estudis sobre el corredor del Mediterrani per l'altra han d'esdevenir, sens dubte, uns dels elements dinamitzadors de la nostra economia i dels nostre territori.

Moltes gràcies.



ORDEN DEL ACTO DE INVESTIDURA

Canticorum iubilo, del oratorio de *Judas Maccabaeus* (Georg Friedrich Händel).

Bienvenida del rector magnífico de la **Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech**.

Lectura del acuerdo del Consejo de Gobierno, por parte de la secretaria general.

La calma del mar, de Nicolau Guanyabés (armonización de Enric Ribó).

Laudatio del padrino, el profesor Francesc Robusté.

Acto solemne de investidura del profesor Carlos F. Daganzo como doctor *honoris causa* por la **Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech**.

Discurso del nuevo doctor, el profesor Carlos F. Daganzo.

El rossinyol (armonización de Antoni Pérez Moya).

Palabras del rector.

Gaudemus Igitur (himno universitario, armonización de Cornel Arany).

Interpretaciones musicales a cargo de la Coral Arquitectura y la Orquesta de la UPC, bajo la dirección de Lluís Carné i Miguélez.

ELOGIO DE LOS MÉRITOS DEL PROFESOR CARLOS F. DAGANZO

Francesc Robusté

Rector Magnífico de la Universitat Politècnica de Catalunya, distinguidos miembros del Claustro y del Consejo Social, autoridades y representantes de instituciones y empresas, profesores, estudiantes, personal de administración y servicios, familiares y amigos, apreciado Dr. Daganzo.

Es un motivo de gran satisfacción celebrar este acto solemne para dar la bienvenida a nuestro Claustro a un nuevo doctor *honoris causa* por la Universitat Politècnica de Catalunya, en cumplimiento del acuerdo del Consejo de Gobierno de 9 de febrero de 2012, promovido por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona y el Centro de Innovación del Transporte (CENIT), que me honra dirigir. La candidatura del profesor Daganzo ha obtenido el apoyo de veinticinco unidades y grupos de investigación de la UPC, quince organismos, empresas y personalidades de Cataluña, treinta y ocho del resto de España y veintinueve de ámbito internacional: un total de ciento siete cartas de apoyo a la candidatura testimo-



nian la alta estima y la relevancia de la persona a la que la UPC otorga esta distinción.

El profesor Carlos F. Daganzo es catedrático de Ciencia del Transporte de la Universidad de California en Berkeley, ocupa la cátedra (*endowed Chair*) Robert Horonjeff y es director del Centro de Excelencia de la Fundación Volvo sobre el Futuro del Transporte Urbano en la Universidad de California en Berkeley. Estas palabras tratan de resumir la extensa y fructífera labor llevada a cabo por el Dr. Daganzo a lo largo de sus cuarenta años de actividad académica e investigadora.

El Dr. Carlos Francisco Daganzo Rodríguez, *Carlos* para los amigos, nació en Barcelona en mayo de 1948, en una familia de artistas (su madre, *Nena*, es una cotizada pintora) y artesanos, y en el barrio de Gracia, lo que le facilitaba acceder al Club de Tennis de La Salut, donde se forjó como un deportista de élite, categoría que todavía conserva en los torneos de tenis seniors en los que participa.

Se graduó como Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos en 1972 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, conoció a su inseparable compañera Valery e inmediatamente se trasladó a los Estados Unidos, a la Universidad de Michigan en Ann Arbor, donde disfrutó de una beca que en aquel momento otorgaba el Colegio de Ingenieros de Caminos para fomentar la formación de posgrado y la internacionalización. Allí recibió el doctorado en 1975, con una tesis doctoral sobre modelos estocásticos del tráfico en carreteras de dos carriles. Tras vincularse al Massachusetts Institute of Technology (MIT) durante un par de cursos académicos, se trasladó a la Universidad de California en Berkeley en 1977 y allí continúa su tarea docente e investigadora.

Carlos es autor de cinco libros científicos que son referencia básica de las asignaturas de doctorado relacionadas con la demanda, la logística y la gestión de las cadenas de suministro, las operaciones de transporte y los sistemas de transporte público, y de más de ciento cincuenta artículos científicos en las mejores revistas internacionales como *Transportation Science* y *Transportation Research*.

Pero el aspecto diferencial del profesor Daganzo no es la cantidad sino la calidad de sus artículos y su repercusión: la mitad de los artículos científicos, que incluyen las aportaciones más significativas, son como autor único. Con un factor $h = 40$ (tiene cuarenta artículos que han recibido un mínimo de cuarenta citaciones), de los más elevados que podemos encontrar en cualquier especialidad de ingeniería civil y ambiental, ha sido calificado por varios evaluadores de la National Science Foundation norteamericana y muchos miembros clave del mundo académico internacional como el investigador individual más significativo a escala mundial en el ámbito de la ciencia del transporte.

La mayor parte de la investigación de Carlos Daganzo se ha desarrollado en el campo de los modelos de comportamiento de la demanda de transporte, la teoría del tráfico, la logística y ges-

tión de la cadena de suministro, las operaciones en ferrocarriles, puertos, aeropuertos y terminales de transporte, la tarificación (*pricing*) y en el ámbito urbano de la movilidad. Como vemos, varias de sus contribuciones científicas han tenido una gran relevancia, puesto que han establecido claramente un antes y un después no sólo en la práctica profesional sino también en la comunidad científica internacional.

La primera publicación de Carlos Daganzo se produjo en el año 1972, unos apuntes y un formulario de taludes en la Escuela de Caminos de Madrid, que avalan la hipótesis aún no suficientemente contrastada empíricamente de que muchos de los investigadores que realizan grandes aportaciones en el ámbito del transporte nunca hicieron la especialidad de transporte en la carrera. Pero, ¿qué es el transporte? En sus propias palabras, "es la ciencia que estudia cómo las personas, los objetos y la información superan el tiempo y la distancia". Estas dimensiones físicas confieren al transporte una perspectiva primordialmente funcional, pero forjada y al mismo tiempo condicionada también por componentes psicológicos de comportamiento, principios económicos y aspectos sociales, energéticos y ambientales.

Su segunda publicación, la tesis doctoral sobre modelos estocásticos del tráfico en carreteras de dos carriles (1975) inició un periodo de aportaciones en el ámbito de la **teoría del tráfico**: demoras en intersecciones no semafORIZADAS, asignación estocástica de tráfico con costes dependientes del flujo, paradojas del flujo de tráfico y el seminal "modelo analítico aproximado para el transporte a demanda de muchos orígenes a muchas destinas" (1978), que abría una vía a las aproximaciones continuas basadas en la probabilidad geométrica que desarrollarían los principios del diseño de los sistemas logísticos durante un decenio más, que sería generalizado más tarde, en 1984, en los *check-point dial-a-ride systems*.

En paralelo a los desarrollos en el ámbito del tráfico, la investigación de Carlos empezaba a dar importantes frutos en el campo

de la **modelización de la demanda**. Ya el *Chicago Area Transportation Study* (CATS, 1960) había definido una metodología sencilla de cuatro etapas para simular el comportamiento de la demanda de transporte de personas, pero fue durante aquella década de los años setenta cuando se formularon los modelos de elección discreta o la teoría de la utilidad aleatoria, basados en la suposición de que la gente escoge una alternativa (un modo de transporte, una ruta, etc.) según su utilidad percibida, una variable aleatoria. La utilidad percibida puede suponerse equivalente a una utilidad mesurable y determinista más un error aleatorio, que tendría su distribución probabilística. Lo que tiene interés para la modelización es considerar distribuciones de los errores sencillas y que posean sentido físico al mismo tiempo; desgraciadamente eso es parecido a encontrar cosas que sean a la vez buenas, bonitas y baratas, y algunos científicos se decantaron por distribuciones de extremos con escaso sentido físico pero que conducían a fórmulas cerradas sencillas: éste es el origen de los modelos logit de reparto modal y por esta contribución le fue concedido el premio Nobel de Economía a Daniel McFadden en el año 2000.

La sencillez analítica tenía un precio, la independencia de las alternativas irrelevantes suponía que un gran número aplicaciones obtuvieran resultados erróneos al estar correlacionadas, como el ejemplo que aparece en todos los libros de texto sobre demanda de la "paradoja" de los autobuses azules y rojos, donde el modelo logit los considera como alternativas independientes aunque debamos suponer que la gente no escoge un modo de transporte basado en el color del vehículo. La verdad es que hoy en día, rodeados por las sutilezas del efecto mariposa, no podemos estar completamente seguros de que eso sea así...

Carlos prefirió desarrollar modelos causales a pesar de la creciente complejidad analítica, suponiendo que los errores tenían una distribución normal multivariante. Así derivó los modelos probit, que no admiten un tratamiento analítico sino numérico. Y como en aquellos tiempos, a finales de la década de los años

setenta, los ordenadores tenían todavía muchas limitaciones, también desarrolló aproximaciones para calibrar los modelos. Aquellos modelos son más precisos (y más complejos) que la mayoría de los modelos de demanda que se utilizan aún hoy, a excepción de algunos modelos logit mixtos, que todavía poseen una escasa aplicación práctica en nuestro país. Los modelos probit se utilizan actualmente en otros campos distintos al transporte, como la psicometría y el marketing empresarial.

Considerando la investigación acumulada, era el momento de publicar el libro *Multinomial Probit: Its Theory and its Application to Demand Forecasting* (1979), una referencia fundamental sobre los modelos de demanda que acuña varias fórmulas usadas habitualmente y que llevan el nombre de Carlos, como la definición de *satisfacción*. Durante esta época relacionada con la demanda, publicó varios artículos clave sobre muestreo óptimo que permiten ahorrar muchos recursos en la toma de los datos necesarios para calibrar esos modelos de comportamiento complejos. Por último, también elaboró programas en Fortran para la calibración de modelos logit (CHOMP), modelos probit (TROMP) y la asignación de tráfico en redes con una capacidad finita de arcos (PEANUT).

Mientras la investigación sobre tráfico y demanda iba goteando, la investigación en el ámbito de la **logística** se inicia con un artículo fundamental que aparece en 1984 en la parte metodológica de la revista *Transportation Research*, "la longitud de circuitos en zonas de formas diferentes", una aplicación de probabilidad geométrica para resolver el problema del viajante de comercio, un problema de complejidad no polinómica que en el campo de la teoría de la complejidad es calificado como *NP-hard*. Posteriormente generaliza la metodología al problema del diseño de rutas de vehículos con capacidad, obteniendo fórmulas analíticas cerradas que permiten predecir los costes esperados independientemente de la realización concreta del problema, definiendo variables adimensionales intrínsecas al problema físico y guías de diseño para la construcción manual de rutas de vehículos.

Mientras los problemas de logística eran abordados habitualmente, entonces y ahora, con formulaciones de programación matemática discreta y simulaciones y no permitían desarrollar la "intuición ingenieril" de cómo debe diseñarse el sistema (la simulación, cuando está bien hecha, es sólo descriptiva, no normativa), se demostraba que estas guías de diseño eran robustas cuando se aplicaban a los primeros metaheurísticos, como el recocido simulado en problemas tipificados, tal como mostramos en *Implementing vehicle routing models* en 1987. En la UPC tuvimos la oportunidad de recibir de forma pionera esos conocimientos que se estaban desarrollando durante un curso sobre logística que Carlos impartió en la antigua Escuela de Caminos, ahora Rectorado de la UPC, en el año 1984.

Los problemas de diseño del sistema de distribución física eran cada vez más complejos, abordando la heterogeneidad de las fuentes, la integración del coste de transporte con el de inventario, la integración de los costes de producción, las restricciones de capacidad, la distribución física de productos perecederos, la geometría de las calles, las ventanas temporales, etc. Las formulaciones o eran novedosas o representaban una revisión de las ya existentes desde una perspectiva sistémica y científica. Aquí podemos citar como anécdota que incluso en modelos conocidos y publicados en todos los textos de economía, como el del lote económico de pedido, *economic order quantity* (EOQ), se corrigen errores como la incorporación del coste del inventario en destino (hasta entonces olvidado al considerar que una vez llegaba la entrega a su destino, el pedido era consumido de forma instantánea), lo que significaba que se debía operar con lotes de pedido un 40 % menores.

Carlos fue el alma científica del Laboratorio de Logística de General Motors, que catapultó a su director Larry Burns a la Vicepresidencia de dicha empresa. Aquel trabajo de equipo recibió también el reconocimiento científico del premio TIMS Edelman Award for Management Science en el año 1986, con tres premios McCuen, y se plasmó en el artículo de valoración de la



investigación "Reducing Logistics Costs at General Motors" en la revista *Interfaces* en el año 1986. No todos los artículos eran iguales y algunos agrupaban todos los conocimientos y a su vez la madurez que se iba gestando, como un *suquet* (guiso) que se cuece lentamente, como una reacción química que transforma reactivos en un nuevo producto: "Configuration of physical distribution networks", publicado en *Networks* en el año 1986 con Gordon Newell, y "The Break-Bulk Role of Terminals in Many-to-Many Logistics Networks", publicado en *Operations Research* en 1987, son claros ejemplos de esos productos acabados.

A todos nos sorprendía la facilidad y rapidez con las que Carlos definía un artículo científico o una tesis: una aportación concreta que mejoraba el mundo o la práctica habitual... Recuerdo que cuando en 1987 se impartió en Barcelona el que seguramente

sería el primer curso internacional de logística de toda España de la mano del ICIL, Instituto Catalán de Logística (en aquel momento yo era doctorando y ayudaba a Carlos con los ejercicios y problemas), visitamos un nuevo centro de distribución de unos grandes almacenes: Carlos miraba y escuchaba las explicaciones como todos los demás y realizó un par de preguntas aparentemente inocentes... Al oír la respuesta, me dijo: "Lo hacen mal; ya tengo el tema de otro artículo". Y, efectivamente, al poco tiempo se publicaba en *Transportation Research B* (la parte metodológica) "Shipment composition enhancement at a consolidation center".

Una vez acumulados los conocimientos desarrollados durante una década, era el momento de escribir otro libro científico clave, *Logistics Systems Analysis* (1991), que debido a su éxito ha sido reeditado cuatro veces, un hecho muy singular en libros científicos de transporte.

Una década más tarde y siguiendo con su investigación en el ámbito de la logística pero esta vez más vinculada a los procesos de fabricación, tras un paréntesis dedicado a reformular la teoría del tráfico que veremos más adelante, Carlos presenta en *Operations Research* (2004) el artículo sobre la estabilidad de cadenas de suministro, una nueva **teoría de las cadenas de suministro** (*supply chains*) que suavizan el pernicioso efecto "látigo" (*bullwhip effect*) a partir de condiciones de control que garantizan su estabilidad. Carlos fue el primero en darse cuenta de las similitudes entre el comportamiento del seguimiento de vehículos en condiciones de congestión y la gestión de los inventarios en las cadenas de suministro.

La extensión natural del sistema de distribución física al sistema de fabricación ya había empezado hacia tiempo en el marco de la colaboración con GM, con principios de secuenciación de trabajos en una cadena de ensamblaje en el año 1987, y continuaba con la sincronización de horarios de transporte y producción en el año 1991. La nueva teoría de gestión de las cadenas de suministro se plasma en el libro *A Theory of Supply Chains* (2003).

La investigación de Carlos en el ámbito del tráfico no era nueva, pero durante la década de los años noventa recibió un revulsivo al cuestionar la analogía hidráulica o de mecánica de fluidos que imperaba: esa analogía funcionaba bien en carreteras poco congestionadas y redes poco cohesivas, pero no era capaz de describir redes de colas como las que aparecen en las carreteras metropolitanas y calles urbanas. Su famoso artículo "Requiem for high-order fluid approximations of traffic flow", publicado en *Transportation Research B*, en el año 1995, fue seguramente uno de los artículos más revisados y citados en el campo del transporte, de modo similar a cuando alguien asegura que ha demostrado alguna conjeta matemática hasta ese momento nunca probada o algún experimento que parece contradecir algún principio clave de la teoría de la relatividad... pero con mucha menor relevancia mediática, claro. De hecho, este cambio de paradigma



no obtuvo ninguna repercusión mediática, aunque cambiaba completamente la filosofía de la modelización del tráfico abandonando la analogía hidráulica de conservación de trayectorias y estableciendo una nueva teoría basada en las redes de colas.

Mientras que la crítica es un pilar fundamental en la aplicación del método científico, no corresponde al talante ingenieril ceñirse a la crítica sin proponer soluciones que superen los aspectos que se están criticando. Conduciendo hacia el Claremont Hotel de Berkeley, donde Carlos juega un partido de tenis semanalmente, se le ocurrieron los principios del modelo de transmisión de celdas que permiten analizar el tráfico en estado de congestión y en red correctamente. A continuación se publica *The Cell Transmission Model* (1995) en dos partes, una aplicada a una carretera aislada y otra al tráfico en red. Estos modelos de transmisión de celdas poseen un interés matemático y por lo que respecta a métodos numéricos mucho más amplio que en el campo del transporte. En este sentido, quisiera mencionar la anécdota de una investigadora visitante de otro campo de la ingeniería que, en su entrevista de cortesía con Carlos hace pocos años, deseaba explicarle que en su investigación utilizaba unos métodos numéricos llamados *modelos de transmisión de celdas* y que no sabía si él había oído hablar de ellos. Carlos respondió: "Yes, of course, you may not be aware that I invented them."

Carlos formula una teoría variacional de las ondas cinemáticas del tráfico que permite tratar correctamente situaciones de congestión del tráfico en red mediante ecuaciones diferenciales parciales con condiciones de contorno no previamente estudiadas por su dificultad. Aparte de su alto contenido matemático y utilidad general en el ámbito de las matemáticas aplicadas, esta teoría facilita el análisis del tráfico, ya que unifica las ocho versiones existentes de modelos de tráfico de un carril, demostrando sorprendentemente que son matemáticamente equivalentes. La teoría también permite mejorar notablemente los métodos numéricos utilizados por estos tipos de problemas matemáticos, incluyendo los de tráfico. Por último, Carlos demuestra también

que en la teoría del tráfico las ondas cinemáticas son equivalentes a autómatas celulares (*cellular automata*) y desarrolla los métodos numéricos adecuados, en diferencias finitas, del modelo de onda cinemática del tráfico.

A partir de ese momento, Carlos realiza un gran número de aportaciones al análisis del tráfico que explican casi todos los fenómenos hasta la fecha "misteriosos" asociados a cuellos de botella dinámicos en las carreteras: colas móviles en la carretera, cuellos de botella móviles, la naturaleza del atasco en red (*gridlock*) de las carreteras y cómo puede prevenirse, una teoría de la dinámica del tráfico en carreteras con carriles especiales, los cambios de carril en corrientes de tráfico y los efectos de los carriles VAO y su papel de suavizado (*smoothing*) de los cuellos de botella en las carreteras. Muchas de estas aportaciones han disfrutado de la investigación empírica del profesor Michael Cassidy, que ha consistido en análisis de datos que han permitido contrastar las teorías.

Carlos también formula una teoría sobre el comportamiento del flujo de tráfico multi-carril, que trata de forma coherente y con contrastación empírica el comportamiento del tráfico en situaciones de cambios de carril por incorporaciones, fusión (*merging*) y trenzado (*weaving*). Con Alejandro Lago (graduado de la UPC, hoy profesor del IESE) estudió cómo controlar el tráfico en una autopista de acceso a una ciudad reconociendo los aspectos físicos de las colas y que los conductores pueden escoger el momento de empezar sus viajes.

Pero lo más sorprendente es que en sus clases explica de forma clara sólo los puntos clave, el meollo, las reglas para su aplicación y los principales resultados de tal forma que consigue que nos parezca que incluso entendemos los conceptos, una extraña habilidad que ya detecté de Stephen Hawking tras escuchar una conferencia sobre la historia del tiempo: nuestras caras sonrientes al pensar que lo habíamos entendido todo se transformaron cuando el anfitrión, un eminente físico, nos dijo: "Ahora creéis

que le entendéis, por su excepcional habilidad en simplificar y comunicar, pero cuando salgáis de la sala os daréis cuenta de que los conceptos son más difíciles de entender de lo que aparentan".

Antes de describir la última y quizás más prometedora etapa de investigación de Carlos, la movilidad urbana, cabe mencionar que entre las dos últimas etapas realizó varias aportaciones sobre la mejora de las operaciones de todos los modos de transporte. De hecho, cada vez somos más los que pensamos que cuando hablamos de transporte por defecto estamos hablando de operaciones. En el ámbito de los **ferrocarriles** propuso estrategias de clasificación estáticas y dinámicas para el transporte de mercancías por ferrocarril.

En el campo de los **puertos** estudió la productividad y programación de las grúas en las terminales portuarias, los sistemas de colas con horarios de llegada y orden de servicio establecidos (aplicables a los barcos, con el profesor Fede Sabrià, del IESE, también graduado en la UPC), la productividad de las terminales portuarias, la tarificación óptima de las campas de contenedores, el *trade-off* entre espacio de almacenaje y el coste de la manipulación de los contenedores portuarios, la carga y descarga en los buques porta-contenedores y la operativa de doble ciclo en las grúas en puertos de contenedores.

Desde la desregulación del transporte aéreo en EE. UU. a finales de la década de los años setenta, las grandes aerolíneas operaban en servicios tipo *hub & spoke* y consolidaban los vuelos en uno o varios aeropuertos de transferencia, que, naturalmente, estaban sujetos a la autocongestión durante los bancos horarios de concentración y dispersión de vuelos. Carlos, con sus estudiantes de doctorado, realizó contribuciones sobre la red de servicios *hub & spoke*, la clasificación del equipaje a fin de ahorrar la congestión en el aeropuerto *hub*, la recogida del equipaje cuando se da congestión en la cinta de entrega de equipajes o el diseño geométrico de los aeropuertos *hub*, donde introdujo el *concepto solar* de dichas terminales singulares: nadie hubiera podido decir que

las formas teóricas óptimas de esos aeropuertos *hub* tendrían relación alguna con las espirales de Arquímedes o sinusoides complejas...

Carlos también analiza las operaciones en terminales de transporte mediante la coordinación de los horarios de llegada y salida, y el diseño de sistemas de terminales de transporte con aproximaciones continuas. Tras toda esa investigación en el ámbito de las operaciones de transporte, llegó el momento de publicar su libro *Fundamentals of Transportation and Traffic Operations* en 1997.

Carlos desarrolló modelos mixtos de tarificación y restricciones del tráfico metropolitano, demostrando en *A Pareto optimum congestion reduction scheme* (1995) que el óptimo de Pareto (aquel que no puede ser mejorado por los usuarios implicados sin perjudicar a los demás) no es una tarificación de congestión (*congestion charging*) como en Londres (en este caso fija, cuando ya Arthur C. Pigou estableció hace cien años que la tarifa debe depender del flujo de vehículos y, por tanto, del nivel de congestión), ni una restricción como el *pico y placa* colombiano (donde los lunes no pueden entrar en el centro los vehículos con matrículas acabadas en 0 o 1, por ejemplo), sino un *mix* entre restricciones y tarificación. No es de extrañar que las mejores soluciones entre los dos extremos, blanco o negro, sea una tonalidad de gris. Por el desarrollo de la tarificación de la congestión a finales de la década de los años sesenta (más técnicamente, por la teoría de incentivos en condiciones de información asimétrica) le fue concedido el premio Nobel de Economía de 1996 a William Vickrey.

La última época, ya como director del Centro de Excelencia de la Fundación Volvo sobre el Futuro del **Transporte Urbano**, es quizás la más productiva y prometedora, con el descubrimiento de la relación fundamental macroscópica del tráfico en las ciudades (*macroscopic fundamental diagram*, MFD, en colaboración con el profesor Nikolas Geroliminis, de Lausana), que permite determinar el nivel de congestión del tráfico adecuado en una

ciudad y que cambiará la forma de operar de los semáforos en las ciudades y también de los programas de simulación de tráfico (actualmente basados en matrices origen-destino de viajes, cuando el MFD no depende de las matrices de viaje sino de las densidades zonales de los vehículos). La perspectiva de la ciudad como "fábrica de movilidad" permite considerar los aparcamientos como stock de materias primas y los semáforos como reguladores de una cadena de suministro. La aplicación de esta nueva perspectiva a la movilidad de una ciudad como Barcelona seguramente supondría aportaciones muy interesantes.

A partir de la petición del Ayuntamiento de Barcelona al CENIT para la reforma de su red de autobuses, Carlos desarrolla la estructura de redes competitivas de transporte colectivo urbano. Esta investigación conceptual se ha aplicado en forma de doce corredores, que se presentaron en la UPC hace dos años con el nombre de RetBus, algunos de los cuales empezarán a estarope



rativos pasado el verano. La investigación conjunta entre Carlos y el CENIT ha seguido con la implementación y comparación de las redes actuales, la RetBus y una red ortogonal muy accesible que pasaría cada tres manzanas del Eixample, cuya conclusión es que la eficiencia social de la RetBus es mayor ("Design and implementation of efficient transit networks", publicado hace pocos meses en *Transportation Research*). El número de corredores de autobús exprés en Barcelona debe mantener un equilibrio con el espacio dedicado al tráfico: a partir del primer diagrama fundamental macroscópico del tráfico de Barcelona obtenido con modelos de simulación desarrollados por el profesor Jaume Barceló, de la UPC, hemos podido obtener que la dimensión óptima de la red de autobuses exprés de Barcelona sería en torno a quince corredores. Los condicionantes políticos de una implementación pueden supeditarla, pero siempre es positivo conocer los principios científicos subyacentes y los resultados objetivos que se obtienen de ella.

Con el equipo de transporte colectivo urbano del CENIT, dirigido por el Dr. Miquel Estrada, hemos implementado medidas *low cost* de mejora de la operativa de los autobuses, como la doble parada en el tramo central de la avenida Diagonal de Barcelona o la coordinación semafórica pensada para los autobuses aplicada a la calle Aribau.

Carlos ha formulado también aspectos dinámicos del transporte en la ciudad, como las ecuaciones de comportamiento de los cambios de carril o los carriles de autobús con prioridad intermitente (BLIP, de *bus lane with Intermittent priority*).

Por último, la investigación de Carlos en el ámbito de la movilidad urbana incluye estrategias para eliminar el aparejado de los autobuses y su implementación en los autobuses vía TIC (tesis doctoral en curso de Juan Argote, otro graduado de la UPC y que ha trabajado en el CENIT), y se está dirigiendo hacia la incorporación de todos los elementos, transporte público, tráfico, principios tarifarios y comportamiento de la demanda, para alcan-

zar el diseño conjunto (*conjoint design*) de la movilidad urbana, cuestión de la que tratará el seminario que impartirá esta misma tarde. Carlos, cuando acabes con esto, ya solo té quedará incorporar la distribución urbana de mercancías y la ecomovilidad de peatones y bicicletas.

En esta época de comunicación en la que nos encontramos, los conceptos mediáticos pueden facilitar el interés institucional y social. Recuerdo haber comentado a Carlos en el año 1990 la necesidad de tratar de forma sistemática y científica todos los servicios que son suministrados y gestionados por una ciudad (entre ellos, la movilidad, pero también los suministros y el diseño urbanístico). Su respuesta fue que era una buena idea y que escribiera un libro sobre *logística urbana* antes de que otros se adelantaran... A finales de los años noventa ya se acuñó el concepto *city logistics* a partir de un libro japonés. Durante mi periodo sabático, en el año 2008, comentamos con Carlos ideas que, con la ayuda de las TIC, constituirían la *smart urban mobility*... Actualmente,

cuando todas las ciudades quieren ser una *smart city* (como decía Joan Clos en el primer congreso internacional que se celebró en Barcelona a principios del pasado diciembre, por contraposición a que nadie desea ser una *stupid city*) y todo el mundo quiere que Barcelona sea un gran escaparate y laboratorio de sensores y aplicaciones *smart city*, seguramente deberíamos de hablar de *mobility in smart cities*... Pero, si nos distraemos un poco, con el impacto del Mobile World Congress celebrado también recientemente en Barcelona, con este concepto de *mobility* se entenderá simplemente pasear con un *smartphone* por la ciudad... Para utilizar el calificativo *smart* se debería requerir utilidad y eficiencia y no solo la conectividad o accesibilidad a la información en tiempo real que pueden aportar chips, satélites, sensores y la red. El papel de la I+D+i es, más que nunca, fundamental.

El profesor Carlos F. Daganzo ha mantenido una estrecha **relación con la UPC** y concretamente con la Escuela de Caminos y el CENIT, donde ha impartido de forma continua cursos y semi-



narios, ha dirigido tesis doctorales de profesores y exalumnos de la UPC (Dr. Frederic Sabrià, Dr. Francesc Robusté, Dr. Alejandro Lago y Juan Argote, que la está elaborando), ha participado en tribunales de tesis doctorales defendidas en la UPC y en congresos de ingeniería del transporte organizados en la UPC (Congreso de Ingeniería del Transporte, 1998), y ha sido tutor de estancias sabáticas de varios profesores de la UPC.

Hasta aquí la trayectoria científica del profesor Carlos Daganzo. Déjenme unos minutos más para hablar sobre su vertiente personal.

Carlos es muy deportista y le gustan los deportes en general, como el esquí de fondo y el *ping-pong*. Ya he mencionado el alto nivel de Carlos como jugador de élite de tenis, pero también cabe citar de forma diferencial su pasión por la bicicleta... Fue campeón de tenis de Cataluña por equipos *junior* jugando con el Club Tennis de La Salut en la época de Manuel Orantes y tuvo que escoger entre una carrera profesional de tenis y entrar en el Instituto Blume o hacer ingeniería... Todavía hoy sigue jugando a tenis a nivel competitivo en torneos... También ha participado en carreras de bicicletas... Les aseguro que es muy difícil ganar a Carlos en estos deportes... De hecho, asegura: "Yendo en bicicleta es cuando me vienen las mejores ideas".

Es, como su esposa Valery, un fan de la *bluegrass music* (también denominada *hillbilly*), un estilo de música *country* con raíces en la música tradicional inglesa, irlandesa y escocesa, traída por los inmigrantes de las Islas Británicas a la región de los Apalaches y que ha incorporado influencias del *jazz* y el *blues*. Otra característica de Carlos es llevar siempre la funda de las gafas colgada del cuello... gafas que gasta literalmente, como podemos observar en la foto de su mesa.

Carlos y Valery se conocieron en Madrid muy jóvenes y desde entonces han sido una pareja cómplice y enamorada... Carlos reconoce que Valery le desconcentró inicialmente en la carrera, pero que cuando ya empezaron a tener familia recuperó la

concentración: acabó el máster en un año y el doctorado en un año y cuatro meses... A Valery le gusta viajar y es una experta cocinera... Quizás ayuda a mantener esta relación estable el papel premeditado que adopta Carlos de sabio distraído en casa...

Fruto de la relación nacieron sus hijas Jenifer, Dana y Sally. Frente a un golpe de mala suerte, que a veces nos depara la vida, encontró refugio en el trabajo y en el deporte... Su postura frente a temas trascendentales como la ausencia es pragmática, como corresponde a un científico: no queda otra salida inteligente que hacerse fuerte y encarar el futuro condicionado por la nueva situación: "La muerte no existe, las personas solo mueren cuando se las olvida", citó en la esquina de su madre, Nena... "En el fondo, vivimos de recuerdos", me dijo en noviembre de 2002. Tanto Jenifer como Sally son también doctoras (en audiológia y en medicina) y les han hecho abuelos de seis nietos y nietas.

"Mi nombre, Charles, se debe a mi avanzada edad... Nací en tiempos de Napoleón, cuando en Barcelona se hablaba francés", comentó con naturalidad a los caprichos de las traducciones automáticas de su invitación al inglés... Carlos siempre está bromеando... El sentido del humor es una válvula de escape de su concentración y meticulosidad prolongadas en el tiempo...

Siempre que le es posible, pone una nota de humor en los nombres de programas o ideas, como CHOMP, TROMP, PEANUT, BLIP... O el Berkeley University Logistics Laboratory: Shipping, Handling, Inventory and Transportation, que me permitió utilizar como logo (en este humor falso de sutileza debo confesar que se han juntado el hambre con las ganas de comer) del software CALHOP de diseño de rutas de vehículos en un día de puertas abiertas de la Industrial Liason en Berkeley. A veces me parece que el sentido del humor ha ido aumentando con los años...

Recuerdo también la nota que me hizo añadir a los agradecimientos de un artículo sobre un problema del viajante de comercio de 240 puntos cuando dediqué mucho tiempo ("Are you still connec-

ting the dots?", me preguntaban) a ganar la apuesta de 10 \$ que cada año hacía el profesor Gordon Newell a sus estudiantes como reto de que no seríamos capaces de ganarle: "The first author will graciously return the \$10 after presentation of a tour shorter than 112 inches". Por suerte Gordon no se "picó" con aquella provocación, especialmente porque los 10 \$ ya se habían gastado inmediatamente cubriendo necesidades básicas perentorias.

Gordon Frank Newell era un físico que fue mentor científico de Carlos. Era al mismo tiempo catedrático de Investigación Operativa y catedrático de Transporte en dos "departamentos" o centros distintos de Berkeley. Nuestro respeto por él aumentaba cuando Carlos nos decía que él podía equivocarse pero que Gordon nunca se equivocaba. "The art of modeling consists on analyzing a system with few variables, taking the most relevant ones and throwing the rest to the garbage, and hoping that the selected variables are those that we are able to understand", decía Gordon inexorablemente el primer día de clase... en todas sus clases... junto a "What's the question?" y "Draw a picture!".

Tanto Gordon como Carlos nos dejaban trabajar hasta que los estudiantes descubríramos la respuesta que ellos ya conocían de antemano... como buenos maestros. Gordon Newell utilizaba unas tiras de *Peanuts*, las caricaturas de Charles Schulz con el perro que meditaba sobre situaciones humanas desde el techo de su caseta, como carta de rechazo a artículos mal enfocados que pretendían publicarse en *Transportation Science* cuando él era redactor jefe: aquello de "lamentamos tener que comunicarle que nos vemos obligados a rechazar su manuscrito..." a decir verdad, no lo lamentamos en absoluto" y "no publicaríamos su artículo aunque nos pagase por ello" le generó el alias de The Shark, el Tiburón, y también alguna que otra enemistad de investigadores con limitado sentido del humor.

Gordon Newell tenía una manía en contra de la revolución digital, en particular los PC, que me recordaba la novela *El nombre de la rosa*, de Umberto Eco: se tenía que ser muy estricto e in-

transigente contra los primeros indicios de relajación o intento de limitar la capacidad de análisis abstracto y conceptual. Para obtener números aleatorios sobre papel milimetrado para diseñar los circuitos del viajante de comercio, utilizaba los últimos dígitos de los teléfonos de la guía telefónica como coordenadas y cuando rechazó el PC que la universidad ofrecía a todos sus profesores en 1987 y le pedimos que lo aceptara y que si él no lo quería nos lo diera a los estudiantes de doctorado, respondió que nunca podría permitir que en los registros de la universidad constara que él disponía de un ordenador. Gordon nos dejó en 2001, pero su legado científico perdurará.

En aquellos tiempos del dúo Carlos & Gordon, por muchas fórmulas que desarrollásemos, para poder optar a leer una tesis doctoral como es debido había que ganar a esta pareja... al *ping-pong*. Les puedo asegurar que no era fácil. Pero los estudiantes teníamos años para practicar... algunos muchos años. Las raras veces que ganábamos, Carlos cambiaba las reglas del juego de *ping-pong* a las de *king-pong*, jugando con el número de veces que botaba la pelota en la mesa... Algunos estudiantes aseguran que el servicio de Carlos al *ping-pong* viola la conservación del momento angular... La actual pareja de *ping-pong* y al mismo tiempo de investigación es Mike Cassidy, quienes, cansados de ganar siempre, a veces se cambian la identidad con caretas para desconcertar a los estudiantes...

La tarea de investigación de Carlos Daganzo ha quedado bien patente; no obstante, su tarea como buen docente también ha sido premiada. Su máxima es "work hard, be smart", aunque algunos estudiantes tienen que oír "this is trivial" demasiado a menudo.

Un día Carlos confesó el secreto de tener éxito a un estudiante: "Trabaja extremadamente duro a cada momento y utiliza al máximo tu inteligencia a la vez, a cada momento, cuando trabajas, comas, andes, etc. Cualquiera que haga eso tendrá éxito". A pesar de estos consejos, sus estudiantes le tienen mucha estima y lo escogieron como mejor tutor y fue galardonado con el Faculty Mentor

Award en el año 2008. La tarea de director de investigación también se plasma con gran detalle en las correcciones de los artículos (a veces de la propia tesis doctoral): a menudo es más eficiente volver a escribir el texto que intentar incorporar sus correcciones.

Carlos Daganzo ha dirigido las tesis doctorales de cuarenta estudiantes de doctorado, que han llegado a altas posiciones en la industria y las universidades de varios países, como vicerrectores, decanos de facultades y directores de centros de investigación: la UPC y el IESE en España; el Massachusetts Institute of Technology, la Northwestern University, la University of Illinois, el Georgia Tech, la University of Washington, la University of Maryland, la University of Arizona y la University of Southern California en los Estados Unidos; la École Polytechnique Fédérale en Lausana i la Eidgenössische Technische Hochschule en Zúrich; en Canadá; en Chile; en Taiwán; en China; en Brasil...

El International Symposium of Transportation and Traffic Theory (STTT) es el congreso, actualmente bienal y anteriormente trienal, de mayor nivel científico en el ámbito del transporte: el último tuvo lugar en Berkeley el pasado julio y se dedicó a Carlos Daganzo. Aparte de los famosos físicos fundadores ya desaparecidos,

Herman y Newell, Carlos Daganzo es la única persona que ha obtenido este reconocimiento. Este acto propició una concentración de diecisésis estudiantes de Carlos de todas las épocas...

Como conclusión, puede llevarse a cabo investigación de calidad y descubrir grandes cosas con pocos recursos, sólo aplicando el "work hard" y el "be smart" de Carlos... y disponiendo de un sistema ágil, estable, pragmático y que reconozca la valía, y estudiantes excelentes y entusiastas que deseen aprender y disfrutar mientras lo hacen.

Cuando distintos *bloggers* escriben sobre una persona no pública, de forma anónima y para su encomio, dicha persona se está convirtiendo en un personaje. Desearía mencionar una citación anónima de un tal Safetea Lu: "Mentioning Carlos Daganzo, I have to take my hat off to salute him! Daganzo does not like to go to conferences and party. That's why you hardly see him accepting invitation to be a guest speaker, be given awards etc. But I think, for a person of his stature, he does not need to care anymore! He really lives the life of a scientist!"

Este *blogger* anónimo lleva razón: Carlos, gracias por aceptar este reconocimiento que espero que sea especial para ti... Revisa también las cartas de apoyo porque no todas se han limitado a incluir formalidades... Verás que muchas están escritas con el corazón y desde la más profunda admiración.

El CENIT empezó a operar en enero de 2002 y, por lo tanto, este año 2012 estamos celebrando su décimo aniversario. La mejor forma de dar relevancia académica a este acontecimiento era promover conjuntamente con la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona este alto reconocimiento de nuestra Universitat Politècnica de Catalunya hacia una personalidad científica de primer orden internacional. ¡Enhorabuena, Carlos, te lo has ganado!

Barcelona, 28 de marzo de 2012



DISCURSO PRONUNCIADO POR EL PROFESOR CARLOS F. DAGANZO



AGRADECIMIENTOS

Rector magnífico de la UPC, Consejo del Gobierno, distinguidas autoridades, profesores, compañeros, estudiantes, amigos:

Estoy francamente sorprendido y muy agradecido por este gran honor que me llena de alegría y satisfacción. Me agrada sobremanera porque me lo otorga una universidad que es admirada internacionalmente, particularmente en mi campo de especialidad.

Aunque llevo ya muchos años de vida profesional y he recibido reconocimientos, el de hoy tiene para mí un significado muy especial, dado que empecé mis estudios en Barcelona y siempre he tenido un vínculo especial con la UPC. Veo este honor como el colofón perfecto y un cierre ideal a un ciclo de mi vida. Lo recibo con toda la humildad y la mayor gratitud de la que pueda ser capaz. Esta gratitud también la extiendo a todas las personas que me han ayudado.

Viví en Barcelona los primeros diecisiete años de mi vida, con unos padres que aunque no tuvieron educación de Bachillerato

hicieron lo posible para que su hijo fuese a la universidad. Me decanté por ingeniería de caminos porque, francamente hablando, era lo que ellos querían que yo hiciese.

Después de hacer el primer año común en Barcelona, en la escuela de ingeniería industrial que ahora es parte de la UPC, marché a Madrid para especializarme porque vuestra escuela de caminos todavía no existía. Allí me especialicé en transportes porque era un campo general donde se resolvían problemas de la sociedad.

En Madrid conocí al amor de mi vida (Valery Phillips, de Detroit, Michigan), con quién me casé en 1970, dos años y medio antes de acabar la carrera. Ella me animó a hacer estudios de posgrado y, gracias a su trabajo y su apoyo moral, conseguí acabar la carrera y luego hacer un doctorado en la Universidad de Michigan (1975).

En Michigan también recibí ayuda de mi supervisor, el profesor Donald Cleveland. Él no solamente me empleó como investigador, sino que me dio carta blanca para que hiciese una tesis

sobre el tema que yo quisiese. Esta libertad me atrajo a la vida académica. Donald Cleveland también me dejó enseñar en un curso de posgrado, lo cual me demostró de forma directa que la enseñanza me permitiría influenciar a alumnos, quienes podrían multiplicar mis esfuerzos para mejorar la sociedad. Así es como decidí intentar ser profesor universitario.

PRIMERAS INVESTIGACIONES Y PERSONAS QUE ME INFLUENCIARON

En Michigan desarrollé dos modelos matemáticos, ambos basados en la teoría de colas: uno sobre autobuses con rutas flexibles y otro sobre el tráfico en carreteras de dos carriles.

En 1975, gracias a la intervención del profesor Nigel Wilson, que se había interesado en mi trabajo sobre autobuses, conseguí un puesto de profesor en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), donde trabajé sobre temas de demanda y operaciones de transporte.

En el campo de la demanda, desarrollé con mis estudiantes el modelo estadístico de elección discreta llamado *multinomial probit*.

En el campo de las operaciones de transporte, empecé a estudiar las operaciones de redes de tráfico con la teoría de colas. Este campo me atraía más que el de la demanda porque vi que en él yo podía tener un impacto en el mundo más visible y directo.

Las mejores ideas en este campo estaban saliendo de la Universidad de California en Berkeley. En 1976 di una charla sobre operaciones en dicha universidad. Allí conocí en persona al profesor y gran pionero de la ingeniería del transporte Gordon Newell. En aquel momento nació una amistad y una admiración mutua que perduraría. En 1977, gracias a la intervención de dicho profesor, con el apoyo físico y moral de Valery y ya con tres hijas (Jenifer,

Dana y Sally), acepté un puesto de profesor en la Universidad de California en Berkeley, donde todavía sigo.

En 1977 también empecé una asociación científica con el laboratorio de investigación de la compañía automovilística General Motors (GM) y el equipo dirigido por el doctor Larry Burns. Larry y yo nos dimos cuenta de que los modelos de redes y la teoría de colas para el tráfico se podían modificar y aplicar al movimiento interno de los productos de GM. A partir de entonces empezamos una colaboración que duró más de diez años. Estos trabajos sobre la logística de GM redujeron tanto los costos de dicha empresa que en la década de los años ochenta el equipo de Larry recibió numerosos premios dentro y fuera de la compañía, por el significado práctico de nuestros resultados.

PRIMEROS ESTUDIANTES DE LA UPC

Al mismo tiempo, en Berkeley, con mis estudiantes de doctorado empezamos a desarrollar sistemáticamente y más fundamentalmente las teorías logísticas del movimiento de mercancías. Éste era en aquellos momentos un campo completamente virgen y, ya que podía tener un impacto directo y medible en la vida real, decidí volcarme en él. El deseo de diseminar las ideas me llevó a crear dos cursos y escribir un libro de logística.

Durante esa época caben resaltar dos estudiantes magníficos de la UPC que hicieron su doctorado sobre dichos temas: Frederic Sabriá, PhD '86, ahora profesor del IESE, con un tema de capacidad portuaria, y Francesc Robusté, PhD '88, ex director de la Escuela de Caminos y mi padrino hoy, con un tema de movimientos de equipaje en grandes aeropuertos.

En 1987, con el profesor Robusté demostramos mediante simulaciones que un método de aproximaciones continuas que yo había propuesto para gestionar las flotas de vehículos en situaciones muy complicadas producía resultados muy buenos. Cuanto

más grande era la flota mejor funcionaba el método. Esto permite que hoy en día se use en aplicaciones en tiempo real.

Las aproximaciones continuas también me permitieron desarrollar modelos de coordinación de la producción, ruteo e inventario que hasta aquel momento tenían que estudiarse separadamente. Los métodos son muy útiles porque mejoran en precisión cuanto más grande es el sistema. Por ejemplo, los hemos utilizado con otros estudiantes para analizar sistemas de distribución a nivel nacional e internacional.

TRÁFICO: LA TRANSMISIÓN DE CÉLULAS Y UN EJEMPLO

En los años noventa, cuando la teoría de logística iba madurando, empecé a interesarme otra vez por el tráfico, ya que reducir la congestión para el público en general me parecía un objetivo muy atractivo.

En aquellos momentos existían teorías microscópicas del seguimiento de automóviles que consideraban los vehículos individualmente, y también otros modelos dónde se usaba la mecánica de fluidos. Pero la conexión entre ambas teorías no estaba bien establecida a un nivel dinámico –con la excepción de un único artículo del ya mencionado G. F. Newell. Los modelos numéricos de seguimiento sólo podían usarse en sistemas pequeños (como una manzana dentro del ámbito urbano) y los de fluidos daban resultados absurdos. Los algoritmos no convergían.

Para remediar estos problemas, desarrollé una teoría en la que las calles o carreteras se dividían en “células” de 100 a 200 m. Estas células formaban una red orgánica que transmitía coches de una célula a la siguiente con unas fórmulas muy sencillas. Esta red celular podía representar cualquier tipo de red real y el modelo especificaba mecanismos de transmisión especiales para las conexiones celulares que representaban intersecciones. Los mecanismos para estas intersecciones tenían que reconocer que los coches tienen destinos propios (a diferencia de las

moléculas de fluidos) y por lo tanto las fórmulas tuvieron que ser desarrolladas partiendo de cero, sin basarse en la mecánica de fluidos. Este modelo resolvió los problemas de la época y se conoce hoy en día como el *modelo de transmisión de células* (CTM, del inglés *cell transmission model*).

He mencionado esto con algo más de detalle para poner en contexto una simulación basada en este modelo que os quiero enseñar porque el tráfico es algo que todos hemos vivido y a veces parece misterioso. Por ejemplo, me imagino que todos habréis estado atrapados alguna vez en un atasco sin poder ver la causa al salir de él. Eso es bastante corriente. La simulación que ahora vamos a ver explica este fenómeno. Fue la primera que se modelizó una intersección de horquillas de autopistas de modo realista.

Lo que vais a ver es casi una pieza de museo, ya que las simulaciones modernas son mucho más bonitas de ver, aunque muchas de ellas incluyen el modelo CTM como motor. Una simulación parecida se puede ver por internet en mi página web. En este ejemplo el tráfico entra por la izquierda y sale por la derecha. Notad cómo la red se divide en células y que cada célula contiene un número de vehículos. En cada “tic” del reloj, una parte de estos vehículos, que es determinada por el modelo, avanzan de una célula a la siguiente. Es por esta razón que los números en las células van cambiando. En nuestro ejemplo, el tráfico dentro de una célula está congestionado si su número de vehículos es mayor que nueve. Para facilitar la visualización, indicamos el grado de congestión poniendo los números en rojo cuando existe dicha situación y dejándolos en verde cuando los vehículos circulan libremente.

En la simulación hay un accidente en el ramal superior que crea temporalmente un cuello de botella. La cola de coches que se forma, que se ve en rojo, se disipa muy lentamente y no se queda fija. Notad cómo una vez se ha eliminado el cuello de botella el atasco se mueve aguas arriba. Así que un conductor cuyo destino

es el ramal inferior y que ha sido demorado por el atasco en el ramal izquierdo nunca podrá ver la causa de su demora. El fenómeno del movimiento de los atascos también se ve en realidad y, como ya anticipé, es una de las razones por las cuales es muy corriente salir de un atasco, mirar y no ver su posible causa.

Con el modelo CTM, por primera vez se podía estudiar una red de cualquier tamaño con resultados realistas. Debido a ello, el modelo nos permitió descubrir y entender sistemáticamente otros fenómenos peculiares del tráfico.

Quizá el más importante de estos fenómenos es el de la ley del cerrojo de redes cíclicas, que puede usarse para predecir y evitar el colapso de autopistas de circunvalación. Este descubrimiento es de gran interés práctico porque con un buen control de las entradas se pueden evitar demoras importantes en ciudades como Barcelona.

Con la idea de difundir estos descubrimientos y para que estudiantes que quisiesen seguir mis pasos pudiesen aplicarlos en la realidad, escribí un libro de texto sobre operaciones que se usa en la UPC, en Berkeley y en muchas otras universidades. El éxito del libro me produjo satisfacción porque sugería que mis esfuerzos estaban teniendo un impacto positivo, aunque algo indirecto.

LOS TRANSPORTES URBANOS: COLABORACIONES

En la década del 2000, me empecé a interesar en problemas más grandes, ya que el mundo se estaba urbanizando a marchas forzadas y yo quería ver si la ciencia del transporte, combinada con las nuevas tecnologías, podía contribuir a que esta transición urbanística fuese ordenada y tuviera poco efecto en el medio ambiente.



Por lo tanto, para ver si podía tener un impacto más directo que con los trabajos teóricos de tráfico que había hecho hasta aquel momento, fundé con diez profesores de las escuelas de ingeniería y de urbanismo, y patrocinado por la fundación benéfica de la compañía automovilística Volvo, un centro de investigación sobre el futuro del transporte urbano. La misión de este centro, que todavía dirijo, es crear políticas de transporte nuevas que exploten al máximo las posibilidades que abren las nuevas tecnologías. Damos prioridad a proyectos que se apliquen en la práctica.

Entre mis colaboradores cabe destacar al profesor Michael Cassidy, que ha descubierto y verificado un sinfín de propiedades del tráfico de carreteras y que hoy en día yo considero como el mejor investigador de tráfico aplicado. Con él he tratado de implementar nuevas ideas en lugares que se están motorizando rápidamente:

- i. En Kenia: cómo descongestionar el centro de Nairobi sin reducir el número de viajes en coche y cómo incentivar el transporte colectivo.



2. En India: cómo mejorar el tráfico mixto de bicicletas y coches.
3. En China: cómo aumentar la eficiencia de las intersecciones usando semáforos especiales a media manzana.

Estos trabajos prácticos necesitaban que se desarrollasen teorías para resolver los nuevos problemas técnicos que estaban surgiendo. Para que os hagáis una idea de cómo las ideas teóricas se relacionan con la práctica os daré tres ejemplos de éstas.

El primero es una teoría variacional de tráfico que unifica todas las teorías existentes de tráfico de primer orden. Esta idea tiene varias aplicaciones. Por ejemplo, puede predecir la relación entre el número de vehículos que circulan en una ciudad y su velocidad media, lo cual se ha verificado en Yokohama (Japón). Este resultado puede usarse para maximizar la movilidad y eliminar la congestión en los centros de las ciudades aunque no existan datos de ningún tipo. Esto es lo que hemos intentado hacer en Nairobi. La teoría también puede usarse para predecir y optimizar el funcionamiento de calles con semáforos y con carriles dedicados a autobuses o bicicletas, lo cual es útil en muchos países. Un alumno de la UPC, Alejandro Lago, que ahora es profesor del IESE, utilizó ideas relacionadas con esta teoría para mejorar el control de las autopistas de acceso a las ciudades durante las horas punta.

El segundo ejemplo es una teoría de estabilización y control de sistemas no lineales. Me di cuenta que el conocido fenómeno de inestabilidad del tráfico en carreteras congestionadas era matemáticamente parecido al misterioso efecto látigo de las cadenas de suministro y al emparejamiento de autobuses. También me di cuenta de que, a diferencia del tráfico, estos dos últimos efectos se podían controlar.

El efecto látigo es importante a escala internacional porque contribuye a magnificar los ciclos económicos. Se nota especialmente en países productores de materias primas, porque ellos están al principio de las cadenas de suministro. En muchos casos, estos países están menos desarrollados. En vista de la importancia del tema, resumí mis ideas en una pequeña monografía.

El emparejamiento de autobuses es importante porque aumenta los costes de las agencias de transportes públicos e impide que se dé un buen nivel de servicio al usuario. Es un fenómeno que toda persona que ha usado un autobús ha sufrido. Uno espera un autobús muchos minutos y, cuando llega, viene seguido de otro. Esto ocurre cuando hay mucha demanda y especialmente si hay grandes disruptoras, como la avería de algún autobús.

Con varios estudiantes de doctorado he estudiado el emparejamiento y cómo evitarlo usando la telemática. Dado lo prometedor de estas ideas teóricas, ahora estamos tratando de demostrarlas y ponerlas en práctica en sistemas reales con un equipo que incluye a Juan Argote, otro estudiante de la UPC, y a otros dos ex alumnos, que aportan distintos talentos. Hemos desarrollado un producto tecnológico para facilitar su aplicación. Esto hubiese sido imposible sin trabajar en equipo. Si nuestra visión se hace realidad esta nueva tecnología se podrá aplicar en muchos sistemas de transporte urbanos. Su impacto puede ser global, ya que el autobús es uno de los medios de transporte que mueve más personas en muchísimas ciudades.

Para que os hagáis una idea de lo que esto significa, os enseño una simulación desarrollada por mis estudiantes que también puede verse en mi página web (<http://www.ce.berkeley.edu/~daganzo/index.htm>). Explica la física del emparejamiento y también cómo el método de control desarrollado por nuestro grupo lo evita.

La simulación que ahora vemos muestra lo que pasa cuando un autobús se estropea y queda fuera de servicio. Los puntos que circulan son autobuses. El punto rojo es el autobús que se estropea. Las rayas queemanan del círculo son usuarios esperando en las paradas. En el panel de la izquierda se ve cómo un sistema sin control se empareja rápidamente. Esto es debido a que los autobuses que se retrasan tienen que procesar colas de usuarios más largas, lo cual implica que se demoren. En el panel de la derecha se ve cómo un autobús con control se recupera y regulariza paulatinamente.

El tercer y último ejemplo de ideas para mejorar las ciudades es un método basado en mis viejas ideas de logística que permite diseñar óptimamente los sistemas de transporte público para cubrir una ciudad de forma completa. Esta teoría ha sido verificada recientemente en Barcelona con un trabajo del centro CENIT liderado por los profesores de la UPC Francesc Robusté y Miguel Estrada. Gracias a la colaboración de Servicios de Movilidad del Ayuntamiento y de Transportes Metropolitanos de Barcelona, este trabajo ha sido una de las bases para el nuevo sistema de autobuses rápidos que ahora se está poniendo en marcha en Barcelona. Si, como esperamos, este sistema tiene éxito, podrá ser un modelo para otras ciudades y su impacto también podría ser global.

Creo que estos tres ejemplos dan una idea del espíritu de nuestros trabajos hasta la actualidad y de los beneficios de la colaboración. Por lo tanto, ahora concluyo con un comentario sobre el futuro y otro retrospectivo.

CONCLUSIÓN

Con respecto al futuro, veo que la explosión tecnológica en los medios informáticos, sociales y de comunicación abre puertas para hacer cosas con los sistemas de transporte que antes parecían imposibles. Yo tengo intención de seguir investigando sobre estas nuevas posibilidades. Por ejemplo, con mi equipo, estamos estudiando cómo usar las nuevas tecnologías para diseñar sistemas que controlen mejor el tráfico mixto en las ciudades, y también para crear y aplicar sistemas de tarificación coordinados para todos los modos de transportes.

También creo importante que los investigadores científicos colaboren y se aprovechen de las nuevas posibilidades tecnológicas. Para que tengan un impacto práctico, estas colaboraciones deben incluir a los responsables de la política de transporte. Mi experiencia en este tema me ha enseñado que esto último no es fácil.

Por cada éxito hay diez fallos. Aunque todavía no hemos tenido éxito en China, continuamos trabajando con colegas en Pequín y en Shanghái para mejorar el diseño y la explotación conjunta de metro y bicicletas de alquiler. Me gustaría animar a todos los que sois profesores y responsables de la política de transporte a que probéis cosas nuevas con un espíritu de colaboración. Considero ésta como la mejor forma de mejorar la movilidad urbana.

Mirando atrás, veo que he tenido, además de los ya mencionados, otros 35 estudiantes de doctorado repartidos por todo el mundo trabajando en los campos de la ingeniería de caminos, la ingeniería industrial, los negocios y la economía. Han sido increíbles. La mayoría son ahora profesores como yo y otros se han dedicado al trabajo aplicado. Todos a su manera están contribuyendo a mejorar el mundo y de cada uno he aprendido algo diferente. Yo empecé mi carrera imaginándome que ellos iban a aprender de mí, pero al pasar el tiempo me di cuenta que el aprendizaje es mutuo. Cuando la Universidad de California en Berkeley me otorgó un premio recientemente por ser un buen guía para estudiantes casi me entra risa, porque francamente el premio se lo debería haber dado yo a ellos.

Si hay una cosa que yo he aprendido como educador es que todos los estudiantes son distintos. Todos tienen sus puntos fuertes y débiles. Como creo que no se puede llegar a hacer algo grande sin usar los puntos fuertes que uno tiene, siempre he recomendado a mis alumnos que los mejoren y que busquen temas de trabajo que se alineen con ellos. Este consejo lo he seguido yo en mi propia vida.

Por supuesto, no he aprendido solamente de los estudiantes. También me he beneficiado increíblemente de mis distinguidos colegas Newell y Cassidy. Nunca me hubiese podido yo imaginar cuando empecé mi carrera que iba a tener tanta suerte.

Quiero recalcar que muchas de mis contribuciones hubiesen sido imposibles sin mis colegas y alumnos. Es solamente gracias

a ellos que ahora se estén haciendo realidad mis sueños iniciales de mejorar el mundo un poquito. Me hace ilusión ver además que dichas mejoras no se pararán cuando a mí me falten las fuerzas, porque el grupo de jóvenes que me sigue la estela es más que capaz de tomar el relevo.

Antes de acabar, me permito aprovechar la ocasión para mencionar que el centro CENIT, afiliado a la UPC, dirigido por mi padrino el profesor Robusté y con el cual yo he cooperado muchas veces, está celebrando este año el décimo aniversario de su inauguración. Además de darles las gracias a todos los miembros del CENIT por haberme incluido en sus investigaciones, me parece apropiado desearles en este aniversario que su trayectoria de éxitos siga por muchos años más.

Y ya para cerrar, quiero dar gracias otra vez a todos los miembros de la Universidad (Magnífico Rector, miembros del Claustro y el Consejo Social, profesores y a mi padrino, el profesor Robusté) por este honor que agradezco profundamente. También quiero dar las gracias a todos los presentes por venir y especialmente a Valery, ya que sin su apoyo todo esto no hubiese podido ser.

Muchas gracias por su atención.



PALABRAS DEL SEÑOR ANTONI GIRÓ ROCA, RECTOR MAGNÍFICO DE LA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA • BARCELONATECH

Miembros de nuestra comunidad universitaria, dignísimas autoridades académicas, Sr. secretario general del Consejo Interuniversitario de Cataluña, Dr. Carlos Daganzo, familiares, amigos y compañeros del profesor Daganzo, señoras y señores que nos acompañan en este acto, en el que hemos investido doctor honoris causa por la UPC al profesor Carlos Francisco Daganzo.

Quiero que mis primeras palabras sean de sincero agradecimiento al profesor Daganzo, por hacernos el honor de estar hoy con nosotros y por sus expresiones de estima hacia nuestra universidad, cuyos orígenes están en sus estudios y en el interés por unas disciplinas en las que se ha convertido en experto y maestro.

Deseo agradecer también su interesantísimo discurso, que nos ha permitido conocer algo más un campo de la investigación tan próximo y cotidiano como la logística del transporte, el misterio de las colas sin motivo aparente, la teoría del tráfico, las cadenas de suministro de mercancías y el transporte público.

Poco puedo añadir a la *laudatio* de méritos que ha hecho el profesor Robusté, compañero y discípulo del Dr. Daganzo, con el que se conocieron en la Universidad de California, donde el profesor Francesc Robusté se doctoró. Este es el motivo de que el profesor Robusté, con su vestido académico de doctor por Berkeley, ponga hoy una nota de color a esta ceremonia.

El Dr. Daganzo es probablemente uno de los mejores científicos de transporte del mundo –por no decir el mejor– y el científico internacional de más impacto que hemos tenido en torno a nuestra Escuela de Caminos. A lo largo de su vida profesional, ha mantenido una estrecha relación con la UPC. Son muchos los vínculos que nos unen: la ingeniería civil, la logística, la matemática aplicada, los métodos numéricos... En la Escuela de Caminos ha impartido cursos y seminarios de forma continua.

Ya en 1984 impartió el Curso Internacional de Logística, que posiblemente fuese el primero de ámbito internacional en España. Ha dirigido tesis doctorales de profesores y exalumnos de la UPC, ha participado en tribunales de tesis doctorales defendidas en nuestra universidad, ha sido tutor de alumnos de doctorado que cién de la red de autobuses de la ciudad de Barcelona, que pronto se empezará a aplicar.

El transporte es una disciplina muy vinculada a la ingeniería, pero también tiene una fuerte repercusión económica, social, ambiental y política. Como nos ha comentado el Dr. Daganzo, es éste uno de los motivos por los que decantó sus actividades hacia este ámbito de pericia: el deseo de contribuir a la mejora constante de la calidad de vida de los ciudadanos y de tener la oportunidad de medir y visualizar en la vida real el impacto de su investigación.



Fruto de esta forma de trabajar, ha producido notables contribuciones científicas, que hoy son referencia básica en el campo de la demanda, la logística y la gestión de las cadenas de suministro, las operaciones del transporte y los sistemas de transporte público. Muchas de ellas han representado cambios paradigmáticos respecto a los conocimientos científicos precedentes.

Durante su recorrido, el profesor Daganzo descubrió otra de sus pasiones: la enseñanza. Porque todo maestro sabe cuán gratificante es poder transmitir conocimientos y buscar el estímulo de aquellos que seguirán los caminos marcados por sus predecesores.

El profesor Daganzo ha ejercido una tarea de maestría y de referente entre las jóvenes generaciones de estudiantes. Y lo ha hecho teniendo muy claro que descubrir y entender los problemas es el primer paso para su resolución. Y, como nos ha explicado el profesor Robusté, sabe hacerlo con una gran calidad humana, proximidad, ingenio y alegría.

Por todos estos motivos, el profesor Daganzo ha recibido varios premios y reconocimientos científicos, pero, si no me equivoco, es la primera vez que recibe el reconocimiento como doctor *honoris causa* por una universidad, lo cual es un orgullo para nuestra institución, porque nosotros hemos sido los primeros, pero a buen seguro no seremos los últimos.

Éste es también un acto trascendente porque, más allá de su simbolismo, con esta distinción la UPC hace justicia a una fructífera trayectoria profesional, desarrollada en estrecha y cordial relación con nuestra universidad.

Por todo ello deseo expresar mi sincero agradecimiento y reconocimiento a los dos centros que han promovido conjuntamente esta candidatura: la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, y el Centro de Innovación del Transporte, que este año celebra su décimo aniversario.

Quisiera hacer extensivo este reconocimiento a las personas y entidades que han ofrecido su apoyo a la misma, cuyo número total, como ya ha indicado el profesor Robusté, es de 107 (29 de ellas de ámbito internacional). Creo que me agraderán que no las mencione una a una, pero, en todo caso, quiero que conste nuestro agradecimiento a todas y cada una de ellas, y muy especialmente a aquellas que hoy nos honran con su presencia.

Y, por último, también al Consejo de Gobierno de nuestra universidad, que acogió y aprobó la propuesta por unanimidad.

Es, pues, un motivo de orgullo y satisfacción incorporar al profesor Carlos Daganzo en el Claustro de Honor de la Universidad.

Clausuraremos ahora este acto académico con el *Gaudemus igitur*, que como es habitual interpreta la Coral de Arquitectura y la Orquesta de la UPC, a quien agradecemos su actuación, y de una forma especial a su director, Lluís Carné.

Deseo también agradecer la tarea de todas las personas que han participado en la organización de este acto y las que han facilitado su transmisión en directo, a través del canal UPCtv, a todos los campus de nuestra universidad.

Para acabar, sean mis últimas palabras para pedir y agradecer en primer lugar al Dr. Carlos Daganzo que siga trabajando codo a codo con los investigadores de la UPC, para continuar mejorando, y haciendo más sostenible, el tráfico de nuestras ciudades. Su experiencia y sus conocimientos serán también inestimables para definir todos aquellos temas logísticos y de transporte tan decisivos para nuestro país, especialmente en estos momentos, en que los trabajos sobre las *smart cities* por un lado y los estudios sobre el corredor del Mediterráneo por otro serán, sin duda alguna, algunos de los elementos dinamizadores de nuestra economía y de nuestro territorio.

Muchas gracias.



ORDER OF INVESTITURE ACT

Canticorum iubilo, from the *Judas Maccabaeus* oratorio by Georg Friedrich Händel.

Welcome from the rector of the **Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech**.

Reading of the Governing Council's agreement by the general secretary.

La calma del mar, by Nicolau Guanyabés (arranged by Enric Ribó).

Oration by the sponsor, Professor Francesc Robusté.

Conferral of the honorary doctorate on Professor Carlos F. Daganzo by the **Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech**.

Honorary Degree Speech by Professor Carlos F. Daganzo.

El rossinyol (arranged by Antoni Pérez Moya).

Rector's speech.

Gaudemus Igitur (university anthem, arranged by Cornel Arany).

The music will be performed by the School of Architecture Choir and the UPC Orchestra and conducted by Lluís Carné i Miguélez.

ORATION FOR PROFESSOR CARLOS F. DAGANZO

Francesc Robusté



Distinguished rector of the Universitat Politècnica de Catalunya, rectors of other universities , distinguished members of the University Senate and Board of Trustees, authorities and representatives of institutions and companies, lecturers, students, administrative staff, family and friends, and dear Dr. Daganzo.

I am very pleased to be here today at this solemn ceremony to welcome to the University Senate a new doctor *honoris causa* of the Universitat Politècnica de Catalunya, pursuant to the Governing Council agreement of 9 February 2012, sponsored by the Barcelona School of Civil Engineering and the Centre for Innovation in Transport (CENIT), of which I am proud to be the director. Professor Daganzo's nomination was supported by 25 UPC units and research groups; 15 organisations, companies and public figures from Catalonia; 38 from elsewhere in Spain; and 29 from other countries. The 107 letters submitted in sup-

port of Professor Daganzo's nomination attest to the prominence and high repute of the person receiving this distinction from the UPC.

Professor Carlos F. Daganzo is a professor of transport science at the University of California at Berkeley, where he holds the Robert Horonjeff Chair in Civil and Environmental Engineering and directs the UC Berkeley Centre for Future Urban Transport, a Centre of Excellence supported by the Volvo Research and Educational Foundations. Today, I will attempt to summarise the extensive and fruitful work carried out by Dr. Daganzo in the course of his 40-year academic and research career.

Dr. Carlos Francisco Daganzo Rodríguez –Carlos, to his friends– was born in May 1948, into a family of artisan and artists –his mother, Nena, is a well-known painter– in Barcelona's Gràcia neighbourhood. This proximity to the La Salut tennis club

enabled him to develop into an elite athlete, which he remains to this day by competing in senior tennis tournaments.

In 1972, he graduated from the Technical University of Madrid's School of Civil Engineering , where he met Valery, who would become his inseparable partner. Immediately thereafter, he moved to the United States, to the University of Michigan at Ann Arbor, on a scholarship awarded by the civil engineers' association to promote postgraduate training and internationalisation. It was there, in 1975, that he received his doctoral degree, with a thesis on stochastic models of traffic on two-lane roads. He then spent a couple of years on the faculty of the Massachusetts Institute of Technology (MIT) before moving to the University of California at Berkeley in 1977, where he has taught and conducted research ever since.

Carlos has written five science books that are basic reference works for doctoral subjects related to demand, logistics and supply chain management, transport operations and public transport systems, respectively. He has also published more than 150 scientific articles in leading international journals, such as *Transportation Science* and *Transportation Research*.

But what sets Professor Daganzo apart is not the quantity of his articles but their quality and impact: for half of his scientific articles, including some of his most significant contributions, he is the sole author. His h-index of 40 –meaning that 40 of his articles have been cited at least 40 times– is among the highest in any speciality of civil and environmental engineering. He has been described by several reviewers of the US National Science Foundation and by many leading international academics as the world's single most important transport science researcher.

The bulk of Carlos Daganzo's research has focused on behavioural models of transport demand, traffic theory, logistics and supply chain management, railway operations, ports, airports and transport terminals, pricing, and urban mobility. As we

shall see, many of his scientific contributions have had a huge impact, clearly marking turning points not only in professional practice but in the international scientific community.

Carlos Daganzo's first publication, in 1972, was some notes and slope formulas that he developed at the civil engineering school in Madrid. This fact supports the hypothesis –not yet proven empirically– that many researchers who make major contributions in the field of transport do not specialise in transport at university. But what is transport? As Carlos has said, transport is the science that studies how people, objects and information move across time and distance. Because of these physical dimensions, transport adopts a perspective that is primarily functional but is also shaped and conditioned by psychological components of behaviour, by economic principles, and by social, environmental and energy-related factors.

Carlos's second publication, a doctoral thesis on stochastic models of traffic on two-lane roads (1975), marked the beginning of several years of contributions to **traffic theory**: delays at unsignalised intersections, stochastic traffic assignment with flow-dependent costs, paradoxes of traffic flow, and his seminal paper, "An Approximate Analytic Model of Many-to-Many Demand Responsive Transportation", published in 1978. This paper paved the way for continuous approaches based on geometric probability, which a decade later would give rise to principles for the design of logistics systems and which, in 1984, Carlos generalised in his article "Check Point Dial-a-Ride Systems".

In parallel to his developments in the field of traffic, Carlos's research began to yield major results in the area of **demand modelling**. In 1960, the Chicago Area Transportation Study defined a simple four-step methodology for simulating people's transport demand behaviour. But it wasn't until the 1970s that discrete choice models and random utility theory incorporated the supposition that people choose a particular alternative –a mode of transport, a route, etc.– according to its perceived utili-

ty, which is a random variable. Perceived utility can be assumed to be equivalent to a measurable and deterministic utility, plus random error, which has its own probability distribution. For modelling purposes, it's best to keep error distribution both simple and physically meaningful; unfortunately, that's quite a tall order. As a result, some scientists favoured extreme value distributions that made little physical sense but yielded simple closed formulas: hence the logit modal split models, for which Daniel McFadden received the Nobel Prize in Economics in 2000.

Analytical simplicity comes at a price: the independence of irrelevant alternatives. Many applications have obtained erroneous results by correlating alternatives as in the red bus/blue bus "paradox", the example that appears in all textbooks on demand. In this example, the logit model treats the alternatives as independent, even though we have to assume that people don't choose a mode of transport based on the colour of the vehicle. The truth is that today, surrounded by the subtleties of the butterfly effect, we cannot be completely sure that this is the case.

Carlos decided to develop causal models that assume multivariate normal distributed random errors. These probit models were more analytically complex, but they allowed for numerical rather than analytical treatment. And because back then, in the late 1970s, computers still had many limitations, he also developed approaches for calibrating the models. These models are more accurate (and more complex) than most demand models used nowadays, except for some mixed logit models, which have yet to see widespread adoption in practical applications in this country. Probit models are currently used in several fields not related to transport, including psychometrics and business marketing.

With this research behind him, in 1979 Carlos published *Multinomial Probit: The Theory and Its Application to Demand Forecasting*, an essential reference book on demand modelling that introduced several commonly used formulas that bear his

name, among them the definition of "satisfaction". During this demand modelling period, he also published several key articles on optimal sampling. The strategies described in these articles allow the necessary data for calibrating complex behavioural models to be collected with considerably fewer resources. Finally, he also developed programs in Fortran for calibrating logit models (CHOMP) and probit models (TROMP), and for assigning traffic in finite-capacity networks (PEANUT).

While continuing to churn out research on traffic and demand, Carlos began his research on **logistics** with a fundamental article, "The Length of Tours in Zones of Different Shapes", published in 1984 in the methodology section of the journal *Transportation Research*. The article introduced a geometric probability application for solving the travelling salesman problem, a problem of non-polynomial complexity, which in complexity theory is described as *NP-hard*. Later, in order to generalise the methodology to address the problem of routing design with finite-capacity vehicles, he developed closed analytical formulas that make it possible to forecast costs independently of the specific case of the problem by defining dimensionless variables that are intrinsic to the physical problem and design guides for the manual construction of vehicle routes.

Whereas logistical problems, then as now, were usually addressed with discrete mathematical programming formulations and simulations, and did not allow for the development of "engineering intuition" to decide how a system should be designed –simulation, when done correctly, is merely descriptive, not normative– these design guides proved robust upon application of early metaheuristics such as simulated annealing to standardised problems, as Carlos and I showed in our 1987 paper, "Implementing Vehicle Routing Models". In 1984, we at the UPC had the ground-breaking opportunity to receive this knowledge that was being developed during a course on logistics that Carlos taught at what was then the School of Civil Engineering, now the Office of the Rector.

The problems of designing physical distribution systems were becoming increasingly complex, dealing as they did with a wide range of sources, the integration of transport costs with inventory, the integration of production costs, capacity constraints, the physical distribution of perishable products, street geometry, time windows, etc. The formulations were either novel or were revisions of existing formulations derived from a systemic and scientific perspective. Here I must mention, anecdotally, that even in models that were well known and appeared in all economics textbooks, such as economic order quantity (EOQ), the errors he corrected –for example, the incorporation of the cost of inventory at the destination (hitherto neglected, as it was considered that an order, once delivered at its destination, would be consumed immediately)– made it possible to work with batch orders that were 40% smaller.

Carlos was the scientific soul of the General Motors logistics laboratory that catapulted its director, Larry Burns, to the vice

presidency of GM. The laboratory's teamwork received scientific recognition in the form of the 1986 TIMS Edelman Award for Management Science and three McCuen Awards. An article entitled "Reducing Logistics Costs at General Motors", published in the journal *Interfaces* in 1986, described the implementation of the group's research. Not all articles are equal: some managed to capture all the knowledge and maturity that was brewing, like a slow-cooking stew, like a chemical reaction that transforms reagents into a new product. Carlos and Gordon Newell's "Configuration of Physical Distribution Networks", which was published in *Networks* in 1986, and Carlos's "The Break-Bulk Role of Terminals in Many-to-Many Logistics Networks", which appeared in *Operations Research* in 1987, are clear examples of polished products of this sort.

We were all surprised by the ease and brevity with which Carlos defined a scientific paper or a thesis: a specific contribution that improved the world or common practice. In 1987, when what



was surely Spain's first international logistics course was being taught at the Catalan Institute of Logistics (ICIL) in Barcelona –as a doctoral student at the time, I would help Carlos with exercises and problems– we visited a department store's new distribution centre. Like the rest of us, Carlos watched and listened to the explanations, and asked a couple of seemingly innocent questions. After hearing the answers, he turned to me and said, "They're doing this wrong. I've got an idea for another article." And sure enough, "Shipment Composition Enhancement at a Consolidation Centre" appeared shortly thereafter in *Transportation Research B* (the journal's methodology section).

Having accumulated knowledge over the course of a decade, it was time for Carlos to write another key science book: *Logistics Systems Analysis* (1991). The book was so successful that it has been reprinted four times, which is highly unusual for a scientific book on transport.



A decade later, in 2004, continuing with his research in logistics but now with a greater emphasis on the manufacturing process –and following a detour to reformulate traffic theory, as I will discuss in a moment– Carlos published an article entitled "On the Stability of Supply Chains" in *Operations Research*. This article proposed a new **supply chain theory** aimed at mitigating the harmful "bullwhip" effect by implementing control conditions to ensure stability. Carlos was the first to notice the similarities between the behaviour of vehicle-tracking systems under congestion conditions and inventory management in supply chains.

The natural extension from physical distribution systems to manufacturing systems had begun some time earlier, in the context of Carlos's collaboration with GM, first with task sequencing in assembly lines in 1987, and later with the synchronisation of transport and production schedules in 1991. Carlos presented his new supply chain management theory in a book, *A Theory of Supply Chains*, in 2003.

Carlos was no stranger to **traffic** research. Even so, in the 1990s he received a shock upon questioning the prevailing analogy to hydraulics or fluid mechanics: he found that this analogy works well on roads with little congestion and in networks with low cohesion but was unable to describe networks of queues of the sort found on metropolitan highways and city streets. His famous article "Requiem for High-Order Fluid Approximation of Traffic Flow", published in *Transportation Research B* in 1995, is surely one of the most-reviewed and most-cited articles in the field of transport. It is as if someone were to prove a hitherto unproven mathematical conjecture or carry out an experiment that seems to contradict a key tenet of the theory of relativity –but with much less media coverage, naturally. In fact, this paradigm shift received no media attention, even though it completely changed the philosophy of traffic modelling, dispensing with the hydraulic analogy of path conservation and establishing a new theory based on networks of queues.

Criticism is a fundamental pillar of the application of the scientific method. But engineers know they mustn't merely submit criticism without proposing solutions to overcome the issues being criticised. One day, while driving towards Berkeley's Claremont Hotel, where he plays tennis once a week, Carlos had a flash of insight: the principles of the cell transmission model, which would make it possible to properly analyse congested traffic networks. He soon published *The Cell Transmission Model* (1995) in two parts: one applied to an isolated road and the other to traffic in a network. These cell transmission models are of much broader interest in the fields of mathematics and numerical methods than in the field of transport. I am reminded of the story, from a few years back, of a visiting researcher from another field of engineering. In a conversation with Carlos, she started telling him that in her research she used numerical methods called cell transmission models, and she asked if he had heard of them. Carlos replied, "Yes, of course. You may not be aware that I invented them."

Carlos formulated a variational theory of kinematic waves in traffic that properly reflects congestion situations in traffic networks by means of partial differential equations with boundary conditions that, due to their difficulty, had not previously been studied. In addition to its high-level mathematical content and general utility in applied mathematics, this theory facilitates traffic analysis by unifying the eight existing versions of one-lane traffic models. Carlos demonstrated that those eight models were, surprisingly, mathematically equivalent. The theory also enabled considerable improvements to be made in the numerical methods used for mathematical problems of this sort, including traffic problems. Finally, he showed that, in traffic theory, kinematic waves are equivalent to cellular automata, and he developed finite-difference numerical methods that are appropriate for the kinematic wave model of traffic flow.

Around this time, Carlos started to make many contributions to traffic analysis that explained nearly all of the formerly "mysterious" phenomena associated with dynamic bottlenecks on roads: mobile queues on roads, mobile bottlenecks, the nature of gridlock and how to prevent it, a theory of traffic dynamics on highways with special lanes, lane changes in traffic flows, and the effects of high-occupancy vehicle lanes and their role in smoothing bottlenecks on highways. Many of these contributions were supported by the empirical research of Professor Michael Cassidy, whose data analysis has upheld the theories.

Carlos also formulated a theory of the behaviour of multi-lane traffic flow that is consistent with the empirical traffic behaviour observed in lane-change situations caused by entering, merging and weaving. With Alejandro Lago, a UPC graduate who is now a professor at IESE, Carlos studied how traffic could be controlled on city-access routes. This research recognised the physical aspects of queues and the fact that drivers are able to choose their departure times.

But what is most surprising is that, in his classes, Carlos is able to clearly explain just the key points –just the skeleton, the rules of application and the main results– leaving listeners feeling that they have truly understood the concepts. He has an uncanny ability of the sort I noticed in Stephen Hawking, at a lecture on the history of time. The beaming faces of the audience members, proud of having understood everything, fell when the host, an eminent physicist, told us: "Now you think you understand, but when you leave this room you'll realise that the concepts are harder to grasp than they first seem, due to Professor Hawking's exceptional ability to simplify and communicate."

Before describing the latest and perhaps most promising stage of Carlos's research –urban mobility– let me mention several contributions he made along the way that have improved the operations of all modes of transport. In fact, a growing number of us now believe that when we talk about transport, we are essentially talking about operations. In **railway transport**, Carlos proposed static and dynamic classification strategies for freight rail transport.

In the field of **ports**, he studied the productivity and programming of cranes at port terminals as well as queuing systems with scheduled arrivals and established service order –applicable to cargo ships– with Professor Fede Sabrià of IESE, also a graduate of the UPC. He also studied port terminal productivity, optimal pricing of container storage, the trade-off between storage space and container port handling costs, loading and unloading of container ships, and crane double-cycling in container ports.

Ever since air transport was deregulated in the United States in the late 1970s, the major airlines have operated according to the hub-and-spoke model, with most flights leaving from or arriving at one or more transfer **airports**. These hubs, of course, are subject to self-imposed congestion at times of maximum concentration and dispersal of flights. Carlos and his doctoral students made contributions related to hub-and-spoke service networks, baggage-sorting schemes to reduce hub airport congestion, strategies to reduce baggage claim area congestion, and the geometric design of hub airports. On this last point, he and I introduced the “sun concept” for terminals of this sort. Who would have thought that the theoretically optimal shapes for hub airports had any connection to Archimedean spirals or complex sinusoids?

Carlos also analysed operations at transport **terminals** in terms of coordinating arrival and departure times and applied a continuous approximation approach to the design of transport-terminal systems. After all this research on transport operations, he published his book on the topic, *Fundamentals of Transportation and Traffic Operations*, in 1997.

Carlos developed mixed models of **pricing** and restrictions on metropolitan traffic. In “A Pareto Optimum Congestion Reduction Scheme”, published in 1995, he showed that the Pareto optimum –the situation in which no improvement can be made without making someone else worse off– is not congestion charging, as in London (which applies a fixed rate, despite the

fact that Arthur C. Pigou established 100 years ago that rates should depend on traffic flow and, therefore, congestion level) or restrictions such as Colombia’s “peak and plate” scheme, under which, for example, vehicles with number plates ending in 0 or 1 are restricted from entering the city centre on Mondays. Instead, Carlos demonstrated, the Pareto optimum is a mix of restrictions and pricing. It’s no surprise that the best solution, between the black and white extremes, is a shade of gray. In 1996, for the development of congestion charging schemes in the late 1960s –or, more technically, the theory of incentives under asymmetric information– William Vickrey was awarded the Nobel Prize in Economics.

Carlos’s most recent career stage, as the director of the Centre for Future **Urban Transport**, a Volvo-sponsored Centre of Excellence, is perhaps his most productive and promising. He discovered the fundamental macroscopic relationship between traffic and cities’ macroscopic fundamental diagram (MFD) and has worked alongside Professor Nikolaos Geroliminis of Lausanne to apply it. This diagram makes it possible to determine the appropriate level of traffic congestion in a city. It has the potential to transform the operation of city traffic lights and traffic simulation programs, which are currently based on origin-destination trip matrices. The MFD, in contrast, does not depend on trip matrices but rather on the spatial distribution of vehicle density. The view of the city as a “mobility factory” enables us to consider car parks as raw material inventory and traffic lights as supply chain controllers. This new perspective would surely yield highly interesting results if applied to mobility in a city like Barcelona.

After the Barcelona City Council asked the CENIT to redesign the city’s bus network, Carlos developed the structure of competitive transit networks for collective urban transport. This conceptual research was applied in the form of 12 transport corridors that were presented two years ago here at the UPC under the name RetBus. Some of these lines are expected to begin running



shortly after this summer. The joint research between Carlos and the CENIT covered aspects of implementation and included a comparison of the current networks, the RetBus network and a highly accessible orthogonal network with lines running on every third street of the Eixample district. The team concluded that RetBus was the most socially efficient option and published their findings in an article entitled “Design and Implementation of Efficient Transit Networks”, which appeared in *Transportation Research* a few months ago. The number of express bus corridors in Barcelona must be balanced against the space dedicated to traffic: from the first MFD of traffic in Barcelona, obtained using simulation models developed by Professor Jaume Barceló of the UPC, we determined that the optimal length of the express bus network in Barcelona would be approximately 15 corridors. Political factors may influence real-life implementation, but it’s always good to be familiar with the underlying scientific principles and the objective results they yield.

With the CENIT collective urban transport group led by Dr. Miguel Estrada, we implemented low-cost measures to improve bus operations, such as double stops along the central section of Barcelona’s Avinguda Diagonal and traffic-light coordination designed for buses on Carrer Aribau.

Carlos has also formulated dynamic aspects of city transport, such as equations describing lane-change behaviour and bus lanes with intermittent priority (BLIPs).

Finally, Carlos’s urban mobility research includes strategies to prevent bus bunching and their ICT-based implementation. One of Carlos’s doctoral students, Juan Argote, a UPC graduate who has also worked at the CENIT, is currently working on a doctoral thesis on this topic. Carlos is also working to incorporate all of these elements –public transport, traffic, pricing principles and demand behaviour– to achieve the conjoint design of

urban mobility, which is the topic of the seminar he will be giving this afternoon. Carlos, when you're done with all that, you'll have nothing left to work on but urban goods distribution and pedestrian and bicycle ecomobility.

In today's communication age, media-friendly concepts can help spark the interest of society and institutions. I remember talking with Carlos in 1990 about the need to address, systematically and scientifically, all the services a city provides and manages—including mobility, but also utilities and urban design. Carlos said it was a good idea, and that I should write a book on urban logistics before somebody else got around to it. Sure enough, by the late 1990s, a Japanese author had coined the phrase "city logistics" and published a book about it. During my sabbatical in 2008, Carlos and I discussed ICT-based ideas for smart urban mobility. Now that all cities want to be "smart cities"—because, as Joan Clos observed at the first Smart City Expo World Congress, held in Barcelona in early December, no city wants to be "stupid"—and everyone wants Barcelona to be a great showcase and laboratory for smart-city sensors and applications, surely we should be talking about mobility in smart cities. But, given the impact of the Mobile World Congress—also held recently in Barcelona—if we aren't careful, the concept of "mobility" might be reduced to simply carrying a smartphone in the city. If we are going to use the label "smart", it should refer to utility and efficiency, not just to the real-time connectivity and information accessibility that comes from chips, satellites, sensors and the Internet. The role of research, development and innovation is more essential than ever.

Professor Carlos F. Daganzo has maintained a **close relationship with the UPC**, and in particular with the Barcelona School of Civil Engineering and the CENIT, where he has regularly taught courses and seminars, supervised doctoral theses of numerous UPC lecturers and alumni, including Dr. Frederic Sabrià, Dr. Francesc Robusté, Dr. Alejandro Lago and, now, Juan Argote. In addition, he has sat on doctoral thesis examination panels at the

UPC, he attended a transport engineering conference organised by the UPC in 1998, and he has been a sabbatical supervisor to several UPC lecturers.

So that's the scientific career of Professor Carlos Daganzo. I hope you'll allow me a few more minutes to describe his personal side.

Carlos is very athletic. He loves all kinds of sports, from cross-country skiing to ping-pong. I've already mentioned Carlos's status as an elite tennis player, and I would be remiss to omit his passion for cycling. He became a junior tennis champion of Catalonia during his time at the La Salut tennis club, back when Manuel Orantes was also there. In fact, Carlos found himself having to choose between pursuing a professional tennis career by attending Institut Blume (a high school for elite athletes in training) and studying engineering. Even today, he continues to play competitive tennis. He has also competed in cycling events. It is not easy to beat Carlos at these sports, I



can assure you. In fact, he says that he gets his best ideas while riding his bike.

Like his wife Valery, Carlos is a fan of bluegrass—or hillbilly—music, a style of country music with roots in the English, Irish and Scottish folk music brought over by immigrants from the British Isles to the Appalachian region, and which has been influenced by jazz and blues. Another of Carlos's quirks is that he always wears his eyeglass case hanging around his neck. He gets a lot of mileage out of those glasses, as you can see from the photo on his table.

Carlos and Valery met in Madrid when they were very young, and they have been a loving, devoted couple ever since. Carlos admits that, at first, Valery distracted him from his studies, but he regained his concentration as their family started to grow: he finished his master's degree in one year and his doctorate in another year and four months. Valery loves to travel and is an excellent cook. And I'm sure that the fact that Carlos consciously adopts the role of absent-minded professor at home has gone a long way towards keeping their relationship solid...

The couple had three daughters: Jenifer, Dana and Sally. When faced with bad luck, Carlos was known for taking refuge in his work and in sports. His attitude towards transcendental issues such as absence is pragmatic, as befits a scientist: there is no other intelligent path but to be strong and face the future, however it is affected by the new situation. "There is no death; people only die when they are forgotten," he wrote in the death notice for his mother, Nena. "Ultimately, our lives are made up of memories," he told me in November 2002. Jenifer and Sally are also doctors, of audiology and medicine, respectively, and between them they have given Carlos six grandchildren.

He deadpanned, "My name, Charles, is an indication of my advanced age... I was born in the time of Napoleon, when French was spoken in Barcelona," in reaction to the vagaries of machine

translation found in the English version of his invitation. Carlos is always joking around. His sense of humour provides an outlet to offset his sustained concentration and meticulousness.

Whenever he can, he adds a little humour to the names of his programs or ideas: CHOMP, TROMP, PEANUT, BLIP, etc. Or "Berkeley University Logistics Laboratory: Shipping, Handling, Inventory and Transportation", which he let me use as a logo for the CALHOP vehicle route design software at an industrial liaison open-house in Berkeley. (In this brand of unsubtle humour, I'm afraid he and I are two peas in a pod.) Sometimes I think that one's sense of humour grows stronger with age.

I also remember the note he made me put in the acknowledgments of an article on a 240-point travelling salesman problem after I spent a very long time—people would ask me, "Are you still connecting the dots?"—trying to win the \$10 bet that Professor Gordon Newell would make each year with his students, challenging them to outdo him: "The first author will graciously return the \$10 after presentation of a tour shorter than 112 inches." Luckily, Gordon didn't take the bait, because the \$10 had been spent right away to cover urgent basic needs.

Gordon Frank Newell was a physicist who was Carlos's scientific mentor. He was, simultaneously, a professor of operations research and a professor of transport engineering, in two different departments at Berkeley. Our respect for him grew when Carlos told us that he could be wrong but that Gordon was never wrong. In every subject he ever taught, Gordon would always, without fail, say on the first day of class, "The art of modelling consists in analysing a system with several variables, taking the most relevant ones and throwing the rest in the garbage, and hoping that the selected variables are the ones that we are able to understand." That, and "What's the question?" and "Draw a picture!"

Both Gordon and Carlos—good teachers that they were—would let us work until we discovered the answer, which they of course

knew all along. Gordon Newell would use *Peanuts* comic strips, by Charles Schulz, featuring a dog who meditates on human situations from the roof of his doghouse, as rejection letters to authors of sub-par articles vying for publication in *Transportation Science*, of which he was editor-in-chief. The captions said things like, “We regret to inform you that we must reject your manuscript... Actually, we don’t regret it at all” and “We wouldn’t publish your article even if you paid us.” He created an alias, The Shark, and earned the enmity of more than one humourless researcher.

Gordon Newell was staunchly opposed to the digital revolution, and PCs in particular, in a way that recalled Umberto Eco’s novel *The Name of the Rose*: he was very strict and always on the lookout for the first signs that anyone was getting lazy or losing their capacity for abstract conceptual analysis. In order to obtain random numbers on graph paper to use as coordinates in the design of travelling-salesman tours, he would take the last few digits of numbers listed in the telephone directory. In 1987, when the university wanted to give each faculty member a PC, he refused. We begged him to accept the computer and to let the doctoral students use it if he didn’t want it. But he said there was no way he’d ever let the university have any record of his having a computer. Gordon passed away in 2001, but his scientific legacy lives on.

Back in the heyday of the Carlos and Gordon duo, no matter how many formulas you developed, if you wanted to defend a doctoral thesis, you had to beat them... at ping-pong. I can assure you that this was no small task. But as students, we had years to prepare –many years, in some cases. On the rare occasions that he was outmatched, Carlos would change the rules from ping-pong to “king-pong”, which had to do with the number of times you bounced the ball on the table. Some students swore that Carlos’s serve violated the principle of conservation of angular momentum. When Carlos and Mike Cassidy, his current ping-pong (and research) partner, grew bored of winning all the

time, they put on masks to switch identities and throw the students off their game.

The quality of Carlos Daganzo’s research work is evident, but let’s not forget his award-winning teaching work. His motto is “work hard, be smart”, and his students have heard him say “this is trivial” entirely too many times.

One day Carlos shared with a student the secret to success: “Work extremely hard all the time and, at the same time, maximise the use of your intelligence at all times –while working, eating, walking, etc. Anyone who does that will be successful.” Despite his habit of giving this kind of advice, his students love him and consider him the best tutor; he even won the UC Berkeley Faculty Mentor Award in 2008. As a research supervisor, he is known for being very meticulous when he corrects articles or doctoral theses: you’re often better off rewriting the text entirely than trying to incorporate his corrections.

Carlos Daganzo has supervised the theses of 40 doctoral students, who have gone on to occupy important positions in industry and academia –including rectors, deans, and directors of research centres– in several countries: at the UPC and IESE in Spain; at MIT, Northwestern, Illinois, Georgia Tech, Washington, Maryland, Arizona and USC in the United States; at EPFL Lausanne and ETH Zurich in Switzerland; and also in Canada, Chile, Taiwan, China and Brazil.

The biennial (formerly triennial) International Symposium of Transportation and Traffic Theory (ISTTT) is the world’s premier gathering for academics in the field of transport. The most recent edition, held in Berkeley last July, was dedicated to Carlos Daganzo. Apart from famous and now-departed pioneering physicists such as Herman and Newell, Carlos Daganzo is the only person to be recognised in this manner. Sixteen of Carlos’s former students, from different points in his career, travelled to Berkeley to attend the event in his honour.

In short, it’s possible to do top-notch research and discover great things with limited resources if you apply Carlos’s mottos –“work hard” and “be smart”– and have a flexible, stable, pragmatic system that recognises the real-life value of your work, and if you have excellent, enthusiastic students who are eager to learn and have fun doing it.

When bloggers start publishing anonymous praise about someone who is not a public figure, you can be sure that that person has become quite a character. Here’s one such example, from a blogger who goes by the alias of Safetea Lu: “Mentioning Carlos Daganzo, I have to take my hat off to salute him! [...] Daganzo does not like to go to conferences and parties. That’s why you hardly see him accepting invitations to be a guest speaker, be given awards, etc. But I think, for a person of his stature, he does not need to care anymore! He really lives the life of a scientist!”

Here’s another anonymous blogger who hits the nail on the head: “Carlos, thank you for accepting this honour, which I hope will be special to you. You should also read the letters of support, some of which contain much more than mere formalities. You’ll see that many are written from the heart, with profound admiration.”

The CENIT opened its doors in January 2002, so this year we are celebrating the Centre’s 10th anniversary. The best way to give this anniversary a dose of academic relevance, we felt, was to team up with the Barcelona School of Civil Engineering to jointly sponsor the Universitat Politècnica de Catalunya’s highest honour for a world-class scientific figure. Congratulations, Carlos. You earned it!

Barcelona, 28 March 2012



HONORARY DEGREE SPEECH BY PROFESSOR CARLOS F. DAGANZO

ACKNOWLEDGEMENTS

Rector of the UPC, Governing Council, distinguished authorities, professors and lecturers, colleagues, students and friends, I am genuinely surprised and extremely grateful to receive this great honour, which fills me with joy and satisfaction. It gives me special pleasure, because it comes from a university that is internationally admired, particularly in my field of specialisation.

My professional career now spans many years, and I have received awards during this time, but this one has a very special significance for me, since I began my studies in Barcelona and I have always felt a special bond with the UPC. I see this honour as the perfect culmination to a cycle in my life, and the ideal way in which to close this cycle. I accept it with all the humility and the gratitude I can muster. I would also like to extend this gratitude to all the people who have helped me.

I lived in Barcelona for the first seventeen years of my life. Although my parents had no secondary education, they did everything possible to ensure that their son went to university. I



chose civil engineering because, quite honestly, it was what they wanted me to do.

After completing the first year in Barcelona at the industrial engineering school, which is now part of the UPC, I went off to Madrid to specialise, because your civil engineering school didn't exist at that time. I specialised in transport, because it was a general field in which efforts were being made to find solutions to some of society's problems.

In Madrid I met the love of my life (Valery Phillips from Detroit, Michigan), who I married in 1970, two and a half years before completing my degree course. She encouraged me to pursue postgraduate studies, and thanks to her work and moral support, I completed my bachelor's degree and went on to do a doctoral degree at the University of Michigan (1975).

In Michigan I also received help from my supervisor, Professor Donald Cleveland. He not only employed me as a researcher, but he also gave me complete freedom to do a thesis on the subject of my choice. It was this freedom that attracted me to academic

life. Donald Cleveland also let me teach a postgraduate course, which gave me direct proof that through teaching I would have an influence on students, who could intensify my efforts to improve society. This is how I decided to try to become a university teacher.

FIRST RESEARCH AND PEOPLE WHO INFLUENCED ME

In Michigan, I developed two mathematical models, both of which were based on queuing theory: one for buses with flexible routes and another for traffic on two-laned roads.

In 1975, thanks to the support I received from Professor Nigel Wilson, who had taken an interest in my work on buses, I was offered a teaching post at the Massachusetts Institute of Technology (MIT). There, I worked on subjects related to demand and transport operations.

In the field of demand, together with my students I developed the discrete choice statistical model called the multinomial probit model.

In the field of transport operations, I began to study traffic network operations with queuing theory. This field attracted me more than the field of demand, because I saw that it offered me the opportunity to make a more noticeable and a more direct impact on the world.

The best ideas in this field were emerging from the University of California, Berkeley. In 1976, I gave a talk on operations at this university. There, I met the professor and great pioneer in transportation engineering, Gordon Newell, in person. This marked the beginning of a friendship and a mutual respect that would endure. In 1977, with the help of this professor and the physical and moral support of Valery, with whom I now had three

daughters (Jenifer, Dana and Sally), I accepted a teaching position at the University of California, Berkeley, where I continue to teach today.

In 1977, I also began a scientific association with the research laboratory of the automobile company General Motors and the team led by Dr. Larry Burns. Larry and I realised that the traffic network and queuing theory models could be modified and applied to the internal movement of GM products. This was the beginning of a collaboration that lasted more than 10 years. The work on GM's logistics reduced the company's costs so much that in the 1980s Larry's team received numerous awards both inside and outside the company in recognition of the practical significance of our results.

FIRST STUDENTS FROM THE UPC

At the same time, in Berkeley, together with my doctoral degree students I began to develop the logistic theories of goods movement systematically and in greater depth. At that time, this field was totally unexplored, and seeing that a direct and quantifiable impact could be made on real life, I decided to devote great attention to it. My desire to publicise ideas in this field led me to create two courses and to write a book on logistics.

With respect to that period, I would like to single out two magnificent students from the UPC who did their doctoral degree on subjects within this field: Federic Sabrià, PhD '86, now a professor at IESE, who focused on port capacity, and Francesc Robusté, PhD '88, former director of the School of Civil Engineering and my sponsor here today, whose chosen subject was luggage movement in large airports.

In 1987, together with Professor Robusté, we demonstrated with simulations that a continuous approximation method that I had

proposed for the management of vehicle fleets in highly complicated situations produced very good results. The larger the fleet, the better the method worked. Consequently, it is used today in real-time applications.

The continuous approximations also allowed me to develop production coordination, routing and inventory models which, up until that time, it had been necessary to study separately. The methods are very useful, because they become more accurate as the system increases in size. For example, we have used them with other students to analyse national and international distribution systems.

TRAFFIC: CELL TRANSMISSION AND AN EXAMPLE

In the 1990s, when the logistics theory was maturing, I began to take an interest in traffic once again, since reducing congestion for the general public struck me as a highly attractive objective. At that time, there were microscopic theories for monitoring cars that considered the vehicles individually, and there were also other models in which fluid mechanics was used. However, the connection between these theories was not well established at a dynamic level, with the exception of one article written by G.F.Newell, who I mentioned earlier. The numerical monitoring models could only be used in small systems (one block in the urban environment, for example) and the fluid models yielded absurd results. The algorithms failed to converge.

To solve these problems, I developed a theory in which the streets or roads were divided into «cells» of 100 to 200 m. These cells formed an organic network that transmitted cars from one cell to the next with some very simple formulae. This cell network could represent any type of actual network and the model specified special transmission mechanisms for the cell connections that represented intersections. The mechanisms for these intersections had to recognise that the cars have destinations of

their own (unlike fluid molecules), and therefore the formulae had to be developed from scratch, without being based on fluid mechanics. This model solved the problems of the time and it is known today as the Cell Transmission Model (CTM).

I have referred to this in a little more detail in order to put into context a simulation based on this model that I would like to show you, because traffic is something that we all have experience of, and at times it appears to be a mystery. For example, I imagine that at some time or other you have all been trapped in a jam, and on emerging from it you were unable to see what caused it. This is quite frequent. The simulation that we are going to look at now explains this phenomenon. It was the first one that modelled a forked motorway intersection realistically. What you are going to see is almost a museum piece, since modern simulations are much prettier to look at, but many of them are driven by the CTM model. A similar simulation can be found on my website.

In this example, the traffic enters from the left and leaves to the right. Note how the network is divided into cells and each cell contains a number of vehicles. With every tick of the clock, some of these vehicles, as established by the model, progress from one cell to the next. This is why the numbers in the cells keep changing. In our example, the traffic inside a cell is congested if the number of vehicles in it is greater than 9. To make this easier to see, when there is congestion the numbers are shown in red, and when the traffic circulates freely, the numbers are left in green.

In the simulation, there is an accident in the upper branch that temporarily creates a bottleneck. The queue of cars that forms, shown in red, takes a very long time to clear and does not remain stationary. Note how once the bottleneck has been eliminated, the jam moves upstream. Thus a driver whose destination is in the lower branch and who is delayed by the jam in the left branch would never be able to see the cause of the delay. The way in which jams move can also be seen in real life, and as I men-



tioned, it is one of the reasons why it is very common to emerge from a jam, look around and fail to see what may have caused it. Using the CTM model, for the first time it was possible to study a network of any size with realistic results. Thus this model enabled us to systematically discover and understand other peculiar traffic phenomena.

Perhaps the most important of these phenomena is the law of gridlock relating to cyclic networks, which can be used to predict and prevent the collapse of ring road motorways. This discovery is of great practical interest, because if the entry points are well controlled, serious delays in cities such as Barcelona can be prevented.

With a view to publicising these discoveries and in order that students wishing to follow in my footsteps might apply them to real situations, I wrote a textbook on operations that is used at the UPC, Berkeley, and many other universities. The book's

success brought me satisfaction, because it suggested that my efforts were having an impact that was positive, albeit somewhat indirect.

URBAN TRANSPORT: COLLABORATIONS

In the first decade of the 21st century, I began to take an interest in weightier problems, since the world was urbanising rapidly and I wanted to see whether transportation science, combined with the new technologies, could play a part in bringing order to this urban development and in ensuring that the environment was not greatly affected.

Therefore, to see whether I could make a more direct impact than with the theoretical traffic work I had been doing up until then, together with ten teachers from the engineering and city planning schools, I founded a research centre into the future of

urban transport sponsored by the charitable foundation of the Volvo car company. The mission of this centre, of which I am still director, is to create new transport policies that make the very most of the possibilities opened up by the new technologies. We give priority to projects that are put into practice.

Among my collaborators, I would like to single out Professor Michael Cassidy, who has discovered and verified a host of road traffic properties, and who I consider to be the best applied traffic researcher at this time. With Professor Cassidy I have tried to apply new ideas in places where the number of motor vehicles is rapidly increasing:



1. In Kenya: how to decongest the centre of Nairobi without reducing the number of car journeys and how to promote collective transport.
2. In India: how to improve mixed car and bicycle traffic.
3. In China: how to increase the efficiency of intersections by using special traffic lights halfway along blocks.

This practical work needed theories to be developed in order to solve the new technical problems that were emerging. To explain how theoretical ideas are related to practice, I will give you three examples of these ideas.

The first is a variational traffic theory that synthesises all the most important traffic theories in existence. This idea has several applications. For example, it can predict the relationship between the number of vehicles moving around a city and their average speed, which has been verified in Yokohama (Japan). This result can be used to maximise mobility and eliminate congestion in city centres, although no data of any kind exist. This is what we have tried to do in Nairobi. The theory can also be used to predict and optimise the way in which streets with traffic lights and bus and bicycle lanes function, which is useful in many countries. A UPC student, Alejandro Lago, who now teaches at IESE, used ideas related to this theory to improve the control of access motorways in cities during rush hours.

The second example is a theory relating to the stabilisation and control of non-linear systems. I realised that the well-known phenomenon of traffic instability on congested roads was mathematically similar to the mysterious bullwhip effect in supply chains and to bus bunching. I also realised that, unlike the traffic, in both these cases the effects could be controlled.

The bullwhip effect is important on an international scale because it contributes to magnifying economic cycles. It is particularly noticeable in countries that produce raw materials,

because they are at the beginning of the supply chains. In many cases, these countries are less developed. In view of the importance of this subject, I summarised my ideas in a short monographic work.

Bus bunching is important because it increases the costs of public transport agencies and it prevents the user from receiving a good standard of service. It is a phenomenon with which everyone who has used a bus service is familiar. You wait a long time for a bus, and when it arrives, it is followed by another. This occurs when demand is high, and especially if there are big disruptions, such as when a bus has broken down.

Together with several doctoral degree students, I have studied bus bunching and how to avoid it using telematics. Since these theoretical ideas are promising, we are now trying to demonstrate them and to put them into practice in actual systems with a team that includes another UPC student, Juan Argote, and another two alumni who offer different talents. We are developing a technological product to facilitate its application. This would have been impossible without working in a team. If our vision becomes a reality, this new technology will be applied in many urban transport systems. Its impact is potentially global, since buses are a means of transport that move large numbers of people in many cities.

To give you an idea of what this means, I will show you a simulation developed by my students that can also be viewed on my website (<http://www.ce.berkeley.edu/~daganzo/index.htm>). It explains the physics of bunching and also how the control method developed by our group prevents it.

The simulation that we can now see shows what happens when a bus breaks down and is removed from the service. The moving dots are buses. The red dot is the bus that breaks down. The rays emanating from the circle are passengers waiting at the stops.

In the panel on the left you can see how an uncontrolled system rapidly creates bunching. This is because the buses that are delayed have to attend to longer queues of passengers, which holds them up. In the panel on the right you can see how a controlled system gradually recovers and returns to normal.

The third and final example of ideas to improve cities is a method based on my old logistics ideas. Its objective is the optimum design of public transport systems, so that they cover a city in its entirety. This theory has recently been verified in Barcelona with work conducted by the Centre for Innovation in Transport, the CENIT, led by the UPC professors Francesc Robusté and Miquel Estrada. Thanks to the collaboration of the city council's Mobility Services and Barcelona Metropolitan Transport, this work has been one of the bases for the new rapid bus system that is now being set up in Barcelona. If, as we hope, this system is successful, it can serve as a model for other cities and its impact could also be global.

I believe that these three examples provide an idea of the spirit of our work to date, in addition to the benefits of collaboration. In conclusion, I would like to make two observations: one regarding the future and another that looks back over the past.

CONCLUSION

With respect to the future, I can see that the technological explosion in computing, social and communication media opens up opportunities to do things with transport systems that appeared to be impossible in the past. It is my intention to continue to conduct research into these new possibilities. For example, my team is currently studying how to use new technologies to design systems that offer an improved control of mixed traffic in cities, as well as to create and apply coordinated fare systems for all forms of transport.

28 de març de 2012



I also believe it is important for scientific researchers to work together and take advantage of new technological possibilities. In order to have a practical impact, these collaborations must include those responsible for transport policy. My experience in this area has shown me that this is not easy. For every success, there are ten failures. Although we are yet to be successful in China, we are continuing to work with colleagues in Beijing and Shanghai to improve the design and the joint operation of underground train services and rental bicycles. I would like to encourage all those of you who are teachers or who are responsible for transport policy to try out new things with a spirit of collaboration. In my opinion, this is the best way to improve urban mobility.

Looking back, besides the students I have already mentioned, I have had another 35 doctoral degree students spread around the world, working in the fields of civil or industrial engineering, business and economics. They have been incredible. Most of

them now teach like myself, and others have focused on applied work. In their own way, all of them are helping to improve the world, and I have learnt something different from each one of them. I began my teaching career thinking that they were going to learn from me, but as time went on, I realised that learning is mutual. When the University of Berkeley gave me an award recently for being a good guide for students, I almost felt like laughing, because quite frankly it should have been me giving them the award.

If there is one thing I have learnt as a teacher, it is that all students are different. They all have their strengths and weaknesses. Since I believe that you can't succeed in doing anything of note without using your strengths, I have always advised my students to improve their strengths and to look for subjects to work on that are suited to them. I have followed this advice myself in my own life.

Of course, it is not only from students that I have learnt. I have also benefited enormously from my distinguished colleagues Newell and Cassidy. When I began my career, I could never have imagined that I was going to be so lucky.

I would like to stress that many of my contributions would not have been possible without my colleagues and students. It is only thanks to them that my initial dreams of changing the world a little are now being realised. Moreover, I am excited to see that these improvements will not come to a halt when I begin to lose strength, because the group of young people following in my wake is more than capable of continuing where I leave off.

Before I close, I would like to take this opportunity to mention that the CENIT –affiliated with the UPC and directed by my sponsor Professor Robusté, with whom I have collaborated on many occasions– is celebrating the tenth anniversary of its founding this year. Besides thanking all the members of the CENIT for having included me in their research, on the occasion of this anniversary I think it would be appropriate for me to say to them: long may their successes continue.

And in closing, I would like, once again, to thank all the members of the University (rector, members of the Senate and the Board of Trustees, teaching staff and my sponsor, Professor Robusté) for this honour, for which I am profoundly grateful. I would also like to thank all of you here for coming, and especially Valery, for without her support, none of this would have been possible.

THANK YOU VERY MUCH FOR YOUR ATTENTION.

BRIEF SPEECH BY ANTONI GIRÓ ROCA, RECTOR OF UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA · BARCELONATECH

Members of our university community,
Distinguished academics,
General secretary of the Interuniversity Council of Catalonia,
Dr. Carlos Daganzo,
Relatives, friends and colleagues of Dr. Daganzo,
Ladies and gentlemen attending this ceremony, during which we have awarded the title of doctor *honoris causa* of the UPC to Dr. Carlos Francisco Daganzo.

I would like to start by expressing my sincere gratitude to Dr. Daganzo for honouring us with his presence today and for his kind words about our university –a cornerstone of his education– and of his interest in disciplines in which he has become an expert and teacher.

I must also thank Dr. Daganzo for his fascinating speech, which has brought us a little closer to a field of research with such a strong bearing on daily life, encompassing as it does transport logistics, the mystery of traffic jams with no apparent cause, transit theory, goods supply chains and public transport.



I can add little to the oration given by Dr. Francesc Robusté, a colleague and disciple of Dr. Daganzo. The two met at the University of California, where Dr. Robusté obtained his PhD. This explains why Dr. Robusté –who is wearing his doctoral gown from Berkeley– has been able to bring a little colour to today's ceremony.

Dr. Daganzo is probably one of the foremost transport researchers in the world –if not the foremost– and one of the most prestigious international scientists we have had at the Barcelona School of Civil Engineering. He has maintained close links with the UPC throughout his professional life, and the ties that bind us are many: civil engineering, logistics, applied mathematics, numerical methods... Dr. Daganzo has taught courses and led seminars at the Barcelona School of Civil Engineering. As far back as 1984 he taught the International Course on Logistics, which was possibly the first international course of its type in Spain. He has supervised the doctoral theses of UPC lecturers and alumni, served as an examiner for doctoral theses read at our university, tutored doctoral students during research periods at Berkeley,

and acted as host to lecturers on sabbaticals. He has recently worked with the Centre for Innovation in Transport (CENIT) on its plan to redesign the Barcelona bus network, which will shortly be put into action.

As a discipline, transport is deeply rooted in engineering, but it also has a profound impact on economics, society, the environment and politics. As Dr. Daganzo has remarked, this is one of the reasons he chose to focus his work on this area of expertise: the desire to contribute to the continual improvement of our quality of life and to have the opportunity to witness and gauge the impact of his research in real life.

Dr. Daganzo took his degree in civil engineering to repay the hard work of his parents. He could have chosen a different course of study, and would no doubt have been equally successful, but he is clear in his view that, while an individual can make a certain choice at a certain moment, the key to success is to approach life with a particular philosophy. He himself has told us that his own philosophy is to build on his strengths and to find areas of work that allow him to do so.

From listening to his speech, I feel my knowledge of a number of fields has been refreshed. Dr. Daganzo has worked on the use of modelling and simulation as a third way of achieving scientific progress, closely bound to the continual increase in computer power stated in Moore's law. The use of fluid mechanics models to interpret the movement of vehicles has been replaced by discrete models capable of processing vehicles individually, and other scientists have adopted the same approach, incorporating molecular dynamics into the study of fluid physics or, at a later date, bacterial growth –dividing space into cells and increasing the complexity of the system as improvements in computer power have allowed.

Through this approach, Dr. Daganzo has made notable contributions to science that are now considered basic references in

the fields of supply chain demand, logistics and management, transport operations and public transport systems. Many of his contributions have changed the established paradigms of earlier scientific knowledge.

As his career developed, Dr. Daganzo discovered another of his passions: teaching. All teachers know how rewarding it is to be able to transmit their knowledge and to inspire those who will follow in the footsteps of their predecessors.

Dr. Daganzo has been a teacher and a figurehead for generations of young students and has done so with the conviction that identifying and understanding problems is the first goal to accomplish. As Dr. Robusté has explained, he is able to do this with great warmth, inventiveness and good humour.

For these many reasons, Dr. Daganzo has received numerous scientific awards and honours, but I believe I am correct in stating that this is the first time he has been awarded an honorary degree. This is a great source of pride for our institution, as we are the first to do so, although I am certain we will not be the last.

Beyond its symbolic value, this event is also important because by awarding the *honoris causa* distinction the UPC is granting the acknowledgement warranted by such a fruitful professional career, which has developed alongside a close and cordial relationship with our university.

With all this in mind, I would like to express my sincere gratitude to the two centres that were jointly responsible for the nomination of Dr. Daganzo: the Barcelona School of Civil Engineering and the Centre for Innovation in Transport (CENIT), which is celebrating its tenth anniversary this year.

I should like to extend this acknowledgement to those people and organisations who have lent their support, who, as Dr. Robusté has told us, constitute a group of some 107 individuals

(29 of them outside Spain). I am sure they would prefer not to be mentioned individually, but I would nevertheless like to express our gratitude to every single one of them, and particularly to those of you who have honoured us by attending today.

Finally, thanks must also be given to the Governing Council of our university, which admitted and approved the nomination by unanimous decision.

It is, then, a source of pride and satisfaction to welcome Dr. Carlos Daganzo onto the Roll of Honorary Doctors of the UPC.

We will close the ceremony with the *Gaudemus igitur*, which, as is customary on such occasions, will be performed by the School of Architecture Choir and the UPC Orchestra, to whom we are also grateful. Particular thanks must go to their conductor, Lluís Carné.

I would also like to acknowledge the work of all those who have taken part in organising this event and have made it possible to broadcast the ceremony live on UPCtv to all of our university campuses.

To conclude, I would like to end by asking Dr. Carlos Daganzo –and thanking him in advance for agreeing– to continue working closely with UPC researchers, to continue improving the traffic situation in our cities and making it more sustainable. His experience and his knowledge will be invaluable in defining the many logistics and transport issues that are set to be so decisive for the future of our country, particularly at a time when work on smart cities and studies concerning the Mediterranean rail corridor must serve as a catalyst for the growth of our economy and the growth of the region.

Thank you.



Ceremony d'investidura Doctor Honoris Causa
Carlos F. Daganzo

28 de març de 2012





UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH