

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, y 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 postgrado; 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. El 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 un curso de postgrado, 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 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 Massachusetts Institute of Technology (MIT). Allí trabajé sobre temas de demanda y operaciones de transporte.

En el campo de demanda, desarrolle con mis estudiantes el modelo estadístico de elección discreta llamado “multinomial probit”.

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

Las ideas mejores en este campo estaban saliendo de la Universidad de California, Berkeley. En 1976 di una charla sobre operaciones en dicha universidad. Allí conocí en persona al profesor y gran pionero de la ingeniería de 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 soporte físico y moral de Valery, y ya con tres hijas (Jenifer, Dana y Sally) acepté un puesto de profesor en la Universidad de California, Berkeley, donde todavía sigo.

En 1977 también empecé una asociación científica con el laboratorio de investigación de la compañía automovilística “General Motors” y el equipo dirigido por el doctor Larry Burns. Larry y yo nos dimos cuenta de que los modelos de redes y teoría de colas para 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 10 años. Estos trabajos sobre la logística de GM redujeron tanto los costos de GM que en la década de los años '80 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, y 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 sobre el tema. 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: Federic 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 con 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 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 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 90, 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 de 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).

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 parón sin poder ver la causa cuando salisteis de él. Eso es bastante corriente. La simulación que ahora vamos a ver explica el fenómeno. Fue la primera que modelizó una intersección de horquilla de autopistas realísticamente.

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 llevan 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 de 9. Para facilitar la visualización, esto lo indicamos poniendo los números en rojo cuando hay congestión, y dejándolos en verde cuando los vehículos circulan de forma libre.

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 como una vez se ha eliminado el cuello de botella el parón se mueve aguas arriba. Así que un conductor con destino en el ramal inferior y demorado por el parón en el ramal izquierdo nunca podría ver la causa de su demora. El fenómeno del movimiento de parones también se ve en realidad, y como ya anticipé, es una de las razones por las cuales es muy corriente el salir de un parón, mirar y no ver una posible causa.

Con el modelo CTM, por primera vez, se podía estudiar una red de cualquier tamaño, con resultados realistas. Debido a esto 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 entradas se pueden evitar demoras importantes en ciudades como Barcelona.

Con la idea de difundir estos descubrimientos, y para que estudiantes que quisiesen seguir en 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 dio 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 con poco efecto en el medio ambiente.

Por lo tanto y 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 el crear políticas de transportes 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 resaltar el profesor Michael Cassidy, que ha descubierto y verificado un sinfín de propiedades del tráfico de carreteras, y que hoy en día yo considero cómo el mejor investigador de tráfico aplicado. Con él, he tratado de aplicar nuevas ideas en lugares que se están motorizando rápidamente:

1. En Kenia: como descongestionar el centro de Nairobi sin reducir el número de viajes por coche y como incentivar el transporte colectivo.
2. En India: como mejorar el tráfico mixto de bicicletas y coches.
3. En China: como 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 relaciona con la práctica os daré tres ejemplos de estas ideas.

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 lo 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 de IESE, utilizó ideas relacionadas con esta teoría para mejorar el control de autopistas de acceso a 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 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 costos 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. Pasa cuando hay mucha demanda, y especialmente si hay disrupciones grandes, como el fallo de algún autobús.

Con varios estudiantes de doctorado he estudiado el emparejamiento y como 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 otros dos exalumnos que aportan diferentes talentos. Hemos desarrollando 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 transportes urbanos. El impacto puede ser global, ya que el autobús es uno de los medios de transporte que mueve más personas en muchísimas ciudades.

Para daros una idea de lo que esto significa os enseño una simulación desarrollada por mis estudiantes que también puede verse en mi página web. 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 sale fuera de servicio. Los puntos que circulan son autobuses. El punto rojo es el autobús que se estropea. Las rayas emanando del círculo son usuarios esperando en las paradas. En el panel de la izquierda se ve como 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 les demora. En el panel de la derecha se ve como uno 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 transportes públicos 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 Miquel Estrada. Gracias a la colaboración de “Serveis de Mobilitat” del ayuntamiento y de “Transports Metropolitans 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 transportes 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 transportes. 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 Beijing y en Shanghái para mejorar el diseño y la explotación conjunta de metros y de bicicletas de alquiler. Me gustaría animar a todos los que sois profesores y responsables de la política de transportes a que probéis cosas nuevas con un espíritu de colaboración. Veo esto 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 ingeniería de caminos, ingeniería industrial, negocios y 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 mi, pero al pasar el tiempo me di cuenta que el aprendizaje es mutuo. Cuando la Universidad de Berkeley me dio un premio recientemente por ser un buen guía para estudiantes casi me entro 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 mejoren sus puntos fuertes, 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 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 en realidad mis sueños iniciales de mejorar el mundo un poquito. Me hace ilusión ver además que dichas mejoras no pararán cuando a mi 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 usar la ocasión para mencionar que el centro CENIT, afiliado con la UPC, dirigido por mi padrino el profesor Robusté, y con el cual yo he cooperado muchas veces, está celebrando este año el decimo 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 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.