

# Síntesis de la investigación y aporte del ISCI en Transporte

## Encendiendo los motores

Pensar el transporte en toda su dimensión es concebir una multiplicidad de problemas complejos que involucran aspectos científicos, sociales, políticos, económicos y culturales, y en cuyas decisiones surgen efectos de variada índole. Pensar el transporte no es sólo imaginar líneas de buses y obras viales, sino a las personas que se dirigen de un lugar a otro y utilizan los sistemas de envío de paquetes por tierra, mar y aire. Es optimización, modelación, regulación, competencia, bienestar, seguridad y tanto más.

Transporte es, para los miembros del Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería que se especializan en esta área, una obsesión; la pasión que les ha arrebatado miles de horas de investigación durante años y gracias a la cual se han implementado proyectos importantes, escrito cientos de *papers* y varios libros, participado y organizado conferencias y *workshops* de primer nivel y obtenido premios y reconocimientos internacionales.

Concretamente, queremos mostrar algunos temas interesantes que representan el quehacer del ISCI en esta materia, destacando la importancia de la sinergia investigativa: el alma de la ciencia postmoderna.

### Tarifas óptimas en transporte

Sergio Jara-Díaz, académico de la División de Transporte de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile e Investigador Asociado del ISCI, se doctoró del Massachusetts Institute of Technology (MIT) en 1981 con una tesis sobre Economía de Transporte. Ha publicado más de noventa artículos en revistas científicas y libros abordando, siempre con una rigurosidad

analítica y una genuina preocupación social, temas como el valor que las personas le asignan a su tiempo, el comportamiento de los usuarios, problemas del transporte público y tarificación óptima.

La tarifa óptima en transporte depende del objetivo que se persiga, que puede ser, para los operadores, maximizar sus ingresos o para el sistema como un todo, maximizar el beneficio social. Lo cierto es que tarificar en transporte tiene una gran dificultad por la dimensión espacial y temporal de los servicios, por lo cual requiere de sofisticadas estrategias de implementación -dice Jara-Díaz en su libro *Transport Economic Theory*-. La multiplicidad de tarifas posibles es enorme. Por ejemplo, en transporte aéreo, se puede tarificar por clase, antelación de compra del boleto y tiempo de permanencia, y en transporte público, es posible cobrar diferenciadamente dependiendo de los distintos pares origen-destino y los períodos del día; existen muchos sistemas en el mundo que funcionan de este modo.

Se debe tomar en cuenta el efecto que un usuario adicional tiene sobre el tiempo de viaje del resto de los usuarios. El profesor Jara-Díaz lo explica de la siguiente manera: Un usuario de automóvil adicional provoca aumentos en el tiempo de desplazamiento de los demás (congestión), por lo tanto la externalidad es negativa, lo que contribuye a fundamentar la tarificación por congestión. Un usuario adicional de transporte público contribuye a disminuir los tiempos de espera de los demás, dado que en los períodos en donde hay más usuarios, la frecuencia de pasada de la locomoción debe ser mayor, disminuyendo los tiempos de espera. Esta externalidad positiva se traduce en una tarifa óptima que normalmente es inferior al costo de los operadores, por lo que se justifica un subsidio óptimo.

### Valor del tiempo

Si bien la Encuesta Origen-Destino EOD 2001 de Santiago estuvo diseñada para describir en detalle los viajes de una muestra representativa de personas en ese año, la información recolectada también permite recuperar, con algún grado de agregación, la forma en que los

individuos asignan su tiempo a diversas actividades, generando bases de datos ricas en varianza interna y diferencias entre grupos. En el *paper* Análisis de Patrones de Actividades a Partir de la EOD 2001, Sergio Jara-Díaz y Marcela Munizaga, académica de la División de Transporte de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile e Investigadora Adjunta del ISCI, identifican la información que les permite estimar modelos de uso de tiempo e identifican las maneras posibles de construir descripciones adecuadas de la asignación que los individuos hacen de su tiempo a diversas actividades. También identifican las características que los describen y que podrían ser usadas como variables de segmentación en modelación.

Sobre la base de información en que la gente asigna tiempo a todas sus actividades, Sergio Jara-Díaz desarrolló un modelo (publicado por primera vez en 2003), en donde se puede calcular el valor del ocio y el valor del trabajo. Cuánto valora una persona su trabajo y tiempo de ocio a la semana, medido en dólares por hora.

La investigación “The role of gender, age and location in the values of work behind time use patterns in Santiago, Chile” de Sergio Jara-Díaz, Marcela Munizaga y Javiera Olgún (SECTRA), aplicó ese modelo microeconómico de asignación de tiempo -que incluye un conjunto completo de definiciones de las diferentes dimensiones del valor del tiempo- a una muestra significativa de más de 9 mil personas, con el fin de comprender la valoración del tiempo de los trabajadores en Santiago de Chile (*Papers of Regional Science*, 2012).

Como antecedente a esta investigación, *Transportation Research* publicó un estudio del mismo grupo de trabajo, que comparaba el valor que personas de un sector de Santiago, una ciudad alemana y un cantón suizo le asignaban a su tiempo de ocio. Los datos mostraron que el chileno pasa casi todo el día en el trabajo y almuerza rápido en algún lugar cercano; el alemán vuelve a la casa a almorzar y empieza el día un poco antes y en el cantón suizo el almuerzo es más prolongado que el chileno pero es fuera de la casa también. En cuanto a las diferencias en las actividades de diversión, a las 9 pm el 45% de la población sueca está fuera de sus casas un sábado; en Alemania es el 30% y en Santiago, el máximo es de un 20%.

Resulta interesante interpretar al respecto. ¿Los santiaguinos salen menos que los de la ciudad alemana y el cantón suizo porque son más fomes? ¿O porque es más caro? ¿O la ciudad es poco atractiva o muy diferente? El problema se formula económicamente pero los resultados

deben interpretarse sabiendo cómo es la gente. En el caso del transporte, los viajes en Santiago son más largos y demorosos que en el de las otras ciudades europeas. ¿Será que Santiago es grande o el sistema de transporte inapropiado?

## Detrás de un Bip!

Con el objetivo de desarrollar métodos para análisis, evaluación y rediseño de Transantiago un equipo de la Universidad de Chile, liderado por Marcela Munizaga, trabaja en la obtención de información a partir de datos de la tarjeta Bip!

Primeramente, Munizaga formuló y aplicó una metodología que permite obtener valiosa información a partir de datos generados de forma automática y continua en el sistema de transporte público de Santiago. La información proviene de las transacciones Bip, único medio de pago en buses y el principal en Metro, y de las posiciones GPS registradas para todos los buses del sistema cada 30 segundos. Para el desarrollo de esta metodología, se gestionó un acuerdo con Transantiago dado el mutuo interés en los desarrollos metodológicos que se pueda lograr como resultado de esta iniciativa. Transantiago entrega información y colabora en las distintas etapas de procesamiento de los datos.

Se logró crear y poblar una base de datos con información validada y detallada que permite el seguimiento de buses y de “Bips” (usuarios) a través del espacio-tiempo. Integrando la información de ambas bases de datos, fue posible complementar la información de transacciones incorporando la posición en que estas se realizan. Asimismo, es posible asociar subidas a las distintas posiciones de los buses, agregando por paradero, y así obtener perfiles de subida con cualquier nivel de desagregación deseado.

Mediante el análisis y procesamiento de datos pasivos se obtiene información fidedigna sobre el movimiento de las personas (que no depende de respuestas verbales de la gente sino de sus acciones) y a un precio muchísimo menor que el que significa hacer cada 10 años una encuesta Origen-Destino. “Además, esta información puede obtenerse cada vez que sea necesaria, garantizando confiabilidad y privacidad en los datos”, agrega Marcela Munizaga.

## ¡Cuidado! Accidentes de tránsito

Luis Rizzi, académico del Departamento de Transporte y Logística de la Pontificia Universidad Católica de Chile e Investigador



**Sergio Jara-Díaz**

Profesor Titular de la División de Transporte del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile



**Marcela Munizaga**

Profesor Asistente de la División de Transporte del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile

Joven del ISCI, estudia desde hace varios años el comportamiento de los automovilistas y peatones en Chile, con el objetivo específico de lograr reducir el número de muertes producidas por accidentes de tránsito.

En su *paper* Cost Effective Measures for Reducing Road Fatalities in the Short Term, publicado en Transport Reviews este 2011, Rizzi y sus coautores proponen un conjunto de medidas para reducir la accidentalidad vial en Chile, con especial énfasis en la seguridad de usuarios vulnerable, peatones y ciclistas, que representan cerca del 50% de los fallecidos en accidentes de tránsito. Para la selección de este conjunto de medidas, se puso énfasis en aquellas que cuentan con probada eficacia en el plano internacional, que fueran técnicamente factibles de aplicar en Chile y que contaran con el mayor potencial en términos de costo-beneficio. Las medidas seleccionadas son las siguientes: uso de elementos reflectantes por parte de peatones y ciclistas, segregación de peatones en puntos viales conflictivos, el uso obligatorio del casco para ciclistas, control de velocidad mediante tecnología, reducción de los límites máximos de velocidad establecidos en horarios nocturnos, controles aleatorios de alcohol, control del uso del cinturón de seguridad en vehículos ligeros y cinturones de seguridad en autobuses inter-urbanos.

Según el estudio realizado, la aplicación de estas medidas podría significar una importante reducción en el número de muertes “a un costo muy razonable”. Si este plan se concretara, se esperaría una reducción aproximada de 460 muertes al año, casi una quinta parte de las fatalidades que ocurren actualmente en accidentes de tránsito.

## Desde el cielo

Londres, París, Chicago, Nueva York, Santiago. Los aeropuertos de todo el mundo están congestionados y las aerolíneas compiten por limitadas pistas de aterrizaje. Sería fácil establecer medidas si sólo se tratara de congestión o implantar políticas si habláramos de competencia. Pero en este caso ocurren ambas. Por eso, Leonardo Basso, académico de la División de Ingeniería en Transporte de la Universidad de Chile, ha trabajado en temas de asignación de capacidad en *transport gateways* o terminales y estudiando medidas alternativas de tarificación y remate, comparándolas e indagando en las maneras de implementarlas.

A veces, construir más capacidad puede ser demasiado caro o incluso ni siquiera factible. Una opción es tarificar; subir los precios a las

aerolíneas por el derecho de usar las pistas y, así, bajar la demanda. Pero no es claro cómo las compañías traspasan sus costos al consumidor final, en esta estructura vertical. Y en un remate, la compañía más grande podría eventualmente comprar más derechos de aterrizaje que los que verdaderamente necesita, con el propósito de que su competencia no tenga esos accesos, no pueda usar las pistas. Para saber si una política va a cumplir o no su efecto es necesario predecir el comportamiento de las compañías, lo que requiere saber cómo las aerolíneas interactúan con los aeropuertos, los usuarios y, sobre todo, entre ellas.

Así, no es solo un problema de congestión, sino de competencia, que es cuando la economía industrial entra mediante teoría de juegos para ayudar a predecir como diferentes ideas y mecanismos de solución se comportarán. ¿Cuál es la manera optima de asignar los cobros por parte del aeropuerto? “Lo que es optimo no es necesariamente lo más “justo” o aceptable. Por eso gran parte de la discusión se basa en encontrar formas inteligentes de implementar medidas difíciles de aplicar”, explica Basso. Su investigación en esta área consiste en comparar y proponer opciones aplicables. Esto con información que el regulador por lo general no conoce, lo que se suma al modelo como variable. Justamente, el problema en la implementación de estas soluciones es que requieren de una gran cantidad de información que las empresas por lo general no están dispuestas a compartir.

## Modelamiento y optimización

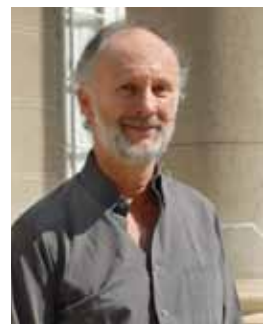
Si de alguien puede decirse que ha sido pionero en el desarrollo de las técnicas de modelación de la demanda de transporte, ese es Juan de Dios Ortúzar, académico de la Pontificia Universidad Católica de Chile e Investigador Asociado ISCI. Ha publicado más de 100 artículos en revistas científicas y es co-autor de *Modelling Transport*, libro que refleja el estado del arte en la disciplina, con aproximadamente 10.000 copias vendidas (hasta su tercera edición). Este texto es parte de la malla curricular de la mayoría de los programas de postgrado en transporte en el mundo y ha sido traducido al italiano, al español y al chino. De hecho, es tal su relevancia que su autor cuenta como anécdota que una vez se topó con ediciones pirata en Malasia.

Una de las últimas publicaciones de quien dirigió los trabajos de diseño e implementación de la encuesta Origen-Destino en Chile (1991 y 2001-2006), es Continuous Mobility Surveys: The State of Practice, publicada en *Transport*



**Luis Rizzi**

Profesor Auxiliar del Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística, Pontificia Universidad Católica de Chile.



**Juan de Dios Ortúzar**

Profesor Titular del Departamento de Ingeniería de Transporte y Logística, Pontificia Universidad Católica de Chile.



**Leonardo Basso**

Profesor Asistente de la División de Transporte del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile

*Reviews* en mayo de 2011. Ortúzar y sus co-autores plantean que los datos de movilidad deben recogerse de forma continua ya que este tipo de información favorece la capacidad de comprensión de los cambios en el comportamiento de los encuestados y el impacto de efectos como el hábito y la inercia. Además, contar con datos de buena calidad es crucial para retratar situaciones existentes y ayudar a identificar problemas relacionados con las operaciones de sistemas de transporte cada vez más complejos, pero también para estimar los modelos que aporten una verdadera dimensión dinámica a la planificación urbana y regional.

En el ámbito de la optimización en transporte, destacan los trabajos de Andrés Weintraub y Rafael Epstein en las industrias minera y forestal durante décadas. Y en la industria naviera, ambos académicos del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile e Investigadores Asociados del ISCI, desarrollaron un sistema en conjunto con un equipo de esta casa de estudios y la Compañía Sudamericana de Vapores, con el objetivo de mejorar la logística de los contenedores que tiene la empresa en todo el mundo, coordinando las operaciones de las oficinas regionales de la compañía más globalizada de Chile. Este proyecto permitió no sólo ahorros millonarios, sino el reconocimiento del Instituto de Ingenieros de Chile con el Premio Ramón Salas Edward 2011 y el de la sociedad estadounidense de I.O., INFORMS, llegando a la final del Premio Franz Edelman de este mismo año.

## Workshops

El Instituto sistemas Complejos de Ingeniería ha organizado una decena de talleres a partir de distintas aproximaciones a la temática del transporte. Entre ellos, el reciente Workshop LAND TRANSLOG II, que se llevó a cabo en diciembre de 2011 en Puerto Varas; la 9ª Conferencia Internacional Métodos de Recolección de Datos de Transporte (ISCTSC), realizado en Puyehue en noviembre de 2011; el workshop Bus Rapid Transit (BRT); el workshop URBANICS y los talleres del Observatorio de Uso del Tiempo (TUO), cuya tercera versión se realizará en marzo de 2012. También se efectuó el lanzamiento de la cuarta edición del libro “Modelling Transport” de Juan de Dios Ortúzar; el taller de difusión del Proyecto PBCT en Transporte (Programa Bicentenario en Ciencia y Tecnología, de Conicyt); varias charlas y conferencias como: “Precios “Justos” en el Transporte Naviero”, “Modelo avanzado de

asignación de transporte público”, “Localización y Ruteo de Vehículos”, “Schedule Competition Revisited” y “El valor del tiempo”, entre otras.

## Capital Humano

“Chile tiene una situación privilegiada en cuanto a recurso humano” dijo Leonardo Basso, Presidente de la Sociedad Chilena de Ingeniería en Transporte, SOCHITRAN, en su discurso inaugural del XV Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, en octubre pasado. “nuestro país está en la vanguardia de la Ingeniería de Transporte mundial. Chile cuenta con un cuerpo académico que compite en creación de conocimiento, sin problema alguno, con los más reputados centros docentes y de investigación del mundo. Importantes avances en modelación y cuantificación de demanda por transporte, en modelación de redes, en la comprensión del comportamiento de los usuarios, en el diseño y operación de sistemas de transporte público, privado y productivo, por mencionar sólo algunas áreas, han surgido de universidades chilenas. Dos de los más importantes libros docentes del área -*Modelling Transport* y *Transport Economic Theory*- han sido escritos por autores chilenos”.

Así es como, en el seno del Instituto Sistemas Complejos de Ingeniería -centro de excelencia que opera gracias a los principales fondos nacionales de la investigación provenientes del Ministerio de Economía, por medio de la Iniciativa Científica Milenio, y de Conicyt, a través del Programa Financiamiento Basal- se desarrolla investigación en transporte, metodologías y aplicaciones que han permitido mejorar continuamente en esta materia. Si bien queda mucho por hacer y es necesario seguir contando con el esfuerzo de este grupo de investigadores, el aporte desde el ISCI no ha sido exiguo y los amplios reconocimientos en todo el mundo dan cuenta de ello.

