

# El Cambio hacia la Movilidad Sostenible es Posible

Ángel Ibeas, Luigi dell'Olio, José Luis Moura  
 Departamento de Transporte y Tecnología de Proyectos y Procesos, Universidad de Cantabria,  
 Avda. De los Castros s/n, Código 39005, Santander, Spain  
 Tel: 34-942-201734; Fax: 34-942-201703; E-mail: ibeasa@unican.es

## RESUMEN

El objetivo principal de este artículo es demostrar que el cambio hacia la movilidad sostenible utilizando modos de transporte público, es posible, aunque tal cambio se realice de forma lenta. Para ello se analiza (en el periodo 2.005-2.008) la evolución de determinados indicadores de movilidad mediante la aplicación de una serie de medidas de planificación de transporte público en la ciudad de Santander (España). Este conjunto de medidas fueron propuestas a través de la calibración y posterior uso de un modelo de optimización binivel, el cual incluye en su nivel superior una función de coste social y en el nivel inferior un modelo combinado de reparto modal y asignación a la red de transporte privado y público. Como primer resultado y con datos del 2008, se ha podido comprobar una leve reducción del modo auto (-2,8%) y un importante crecimiento del modo bus (9,5%). Atendiendo a las predicciones realizadas en el año 2.005, estos resultados confirman el buen grado de precisión alcanzado con el modelo, y sobretodo, que las medidas propuestas están en la línea inicialmente planteada del cambio modal.

*Palabras clave:* Planificación, Transporte Público, Movilidad Sostenible.

## ABSTRACT

The main objective of this article is to demonstrate the possibility of changing to sustainable mobility using public transport modes, but that this change is slow. An analysis was made for the period 2005-2008 on how certain mobility indicators evolved by applying a series of public transport planning measures in the city of Santander (Spain). This group of measures was proposed through the calibration and later application to a bi-level optimization model including a social cost function at the upper level and a combined modal distribution-assignment model at the lower level. Initial results using data from 2008 show a slight reduction in car use (-2.8%) and an important growth in bus use (9.5%). Looking at the predictions made in 2005, these results confirm the high degree of precision reached by the model and above all, the proposed measures are in line with the initially proposed modal change.

*Keywords:* Planning, Public Transport, Sustainable Mobility.

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbanístico sufrido por la mayoría de ciudades del mundo desarrollado o en desarrollo en los últimos años, ha originado que barrios periféricos de inicios de los años 80 ahora estén plenamente integrados con continuidad en el casco urbano. Nuevas demandas de movilidad han de responderse con ampliaciones coherentes de los sistemas, no ya solo viales sino también de transporte público. Por otro lado, el creciente aumento de los niveles de tráfico que congestionan las calles de las ciudades ha provocado que las administraciones públicas se planteen medidas a corto y medio plazo que potencien el uso del Transporte público, bajo criterios de movilidad sostenible, que consigan un mayor trasvase modal de usuarios del modo auto al modo bus. En esta misma línea, también se plantean políticas de promoción del uso de la bicicleta o de aumentar las zonas peatonales o/y semipeatonales con el objetivo de dificultar el uso de coches del centro de las ciudades (Shannon et al, 2006) y (Puchera et al, 1999).

Ante esta situación, las administraciones municipales conscientes de la envergadura del problema y de las posibles medidas a adoptar de cara de lograr objetivos de movilidad sostenible y de la necesidad de una adecuada planificación conjunta e integrada de los distintos modos de transporte que concurren en la ciudad, comienzan a implementar herramientas de planificación y gestión más eficiente del sistema de transporte urbano, acorde a las necesidades reales de la población y optimizando los recursos disponibles, todo ello bajo un enfoque de sostenibilidad económica y medioambiental. Para lograr este objetivo se recurre habitualmente a la creación o desarrollo de modelos matemáticos, algunos de ellos complejos abarcando desde la fase de generación de viajes zonales, distribución zonal, el reparto modal y la asignación a la red, como es (Jovicic and Hansen, 2003). Habitualmente es común que los modelos sean de tipo agregado como en (Wirasinghel and Kumara, 1998), existiendo variantes específicas como las basadas en micro-simulación (Kitamura et al, 2000) o los modelos basados en series temporales (William et al, 2006).

En el caso concreto de la ciudad de Santander (España) el primer paso al respecto fue realizado a través del Servicio Municipal de Transportes Urbanos de Santander, en el año 2.005, licitando el trabajo "Asistencia técnica para la realización del estudio de ordenación de la red de transporte urbano colectivo de Santander", al equipo del Área de Transportes de la Universidad de Cantabria. El trabajo se desarrolló durante un año, presentando medidas de actuación para distintos escenarios temporales (SBO solución base optimizada, solución a corto plazo y solución a medio plazo). Desde la presentación del Plan de Transporte Público hasta la fecha se han puesto en marcha la mayor parte de las propuestas incluidas en el Plan de actuación.

Una vez transcurridos dos años y dado que ha existido un proceso continuo de toma de datos del sistema y análisis de los mismos y las consecuentes decisiones técnicas y políticas al respecto, se presenta en este artículo un análisis de los resultados obtenidos con las medidas de actuación del Plan de Transporte Público.

De esta forma además de comprobar si se están alcanzando los objetivos de cambio modal planteados al inicio del desarrollo del Plan, los datos servirán para certificar que las estimaciones presentadas por los modelos se ven refrendadas por los resultados reales y por ende, que los modelos utilizados resultaron ser eficientes.

El artículo se organiza con un segundo epígrafe donde se detalla la metodología seguida, tanto en la elaboración del Plan de Transporte Público mediante modelización bi-nivel, así como la toma de datos que ha servido para refrendar los modelos y comprobar el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad inicialmente planteados. En el tercer epígrafe se presenta el análisis de datos comparativos del año 2.008 con el año 2.005 estudiando los cambios acontecidos como consecuencia de las medidas implementadas. Finalmente, en un cuarto apartado se presentan las conclusiones más importantes, en especial, el cambio modal logrado mediante la disminución del número de coches en el área urbana y el aumento de viajes en transporte público.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el desarrollo del Plan de Transporte Urbano de Santander, en cuanto a los criterios de diseño empleados, es la sintetizada en la figura 1. Como puede comprobarse, es una actuación secuencial que comprende las siguientes fases:

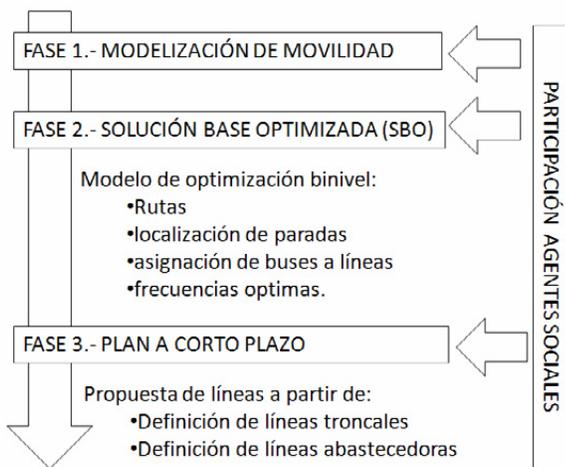


FIGURA 1: Metodología del Plan de Transporte Urbano de Santander

– **FASE 1. Modelización de la movilidad.** Sin duda esta primera fase ha sido de vital importancia, ya que el grado de calidad del modelo desarrollado, así como sus características potenciales de uso, han determinado la eficacia final de las propuestas planteadas. Como en todo estudio de transporte, esta fase es la que más tiempo y recursos ha consumido, ya que requirió realizar un amplio y detallado compendio de la movilidad, donde además del modo transporte público (autobús) se tuvo en cuenta la interacción del transporte privado (autos) con el objetivo de evaluar los posibles cambios de modos de los usuarios como consecuencia de cambio en las distintas variables de servicio de cada modo.

La metodología seguida en esta fase es la sintetizada en la figura 2. A modo de resumen, existe una etapa de toma de datos e información, a su vez compuesta de la fase de caracterización de la oferta y la fase de caracterización de la demanda (Ampt y Ortizar, 2003). Respecto a aquella, se definió el área de estudio, así como la zonificación idónea para la modelación del sistema de transporte urbano. Asimismo, se ratificó las características de la red vial, las variables del nivel de servicio con el objetivo de modelar o generar dicha red vial. Igualmente, se recopiló información relativa al servicio de transporte público, para la generación del modelo de servicio de transporte público. En referencia a la caracterización de la demanda, inicialmente se reunió a 68 Asociaciones vecinales en tres Mega Focus Groups (MFG), para posteriormente realizar dos Focus Groups (FG) y, a partir de ellos, la correspondiente encuesta piloto y la definitiva, que consistió en encuestas en paradas y sobre autobuses (Ibeas et al, 2009). Asimismo se contó con aforos de tráfico provenientes de la importante red de 131 espiras aforadoras en los viales de la ciudad. Posteriormente se llevó a cabo la explotación de las encuestas, obteniendo resultados relativos a caracterización de la demanda del servicio de transporte público (tipología de usuario, distribución temporal, distribución espacial, etc.), así como a la calidad del servicio del mismo.

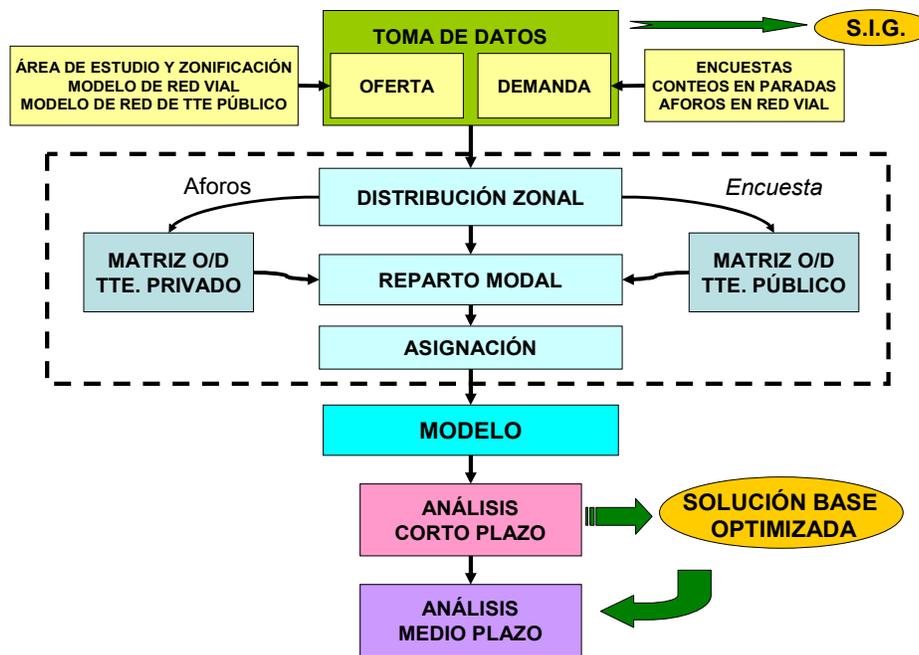


FIGURA 2: Fase 1 del Plan: "Modelización de la Movilidad"

Una vez finalizada la fase de captación de información, se procedió a la obtención de matrices de viaje. Se estimaron 16 matrices desagregadas por periodos de modelación a fin de proponer alternativas de transporte para diferentes épocas y periodos de año. Las matrices de transporte público fueron obtenidas a partir de las encuestas realizadas en ese modo con su correspondiente expansión, para lo cual se hizo uso de los conteos de subidas y bajadas en las paradas. Las matrices de transporte privado se obtuvieron con un modelo de distribución en base a los aforos que se realizaron en aquellas vías más importantes de la ciudad y en el mismo periodo de realización de la encuesta (Ortúzar y Willumsen, 2001).

Con ambas matrices se obtuvo la matriz total de viajes y se calibró el modelo de reparto modal, hasta que se logró reflejar con la mayor exactitud posible las matrices anteriores. Para la calibración de dicho modelo se hizo uso, además de ambas matrices (autobús y auto), de los niveles de servicio de cada modo, de tal forma que se estimaron funciones de utilidad para cada modo función de variables del nivel de servicio como: tiempos de viaje, costes, tarifas, etc.

Por tanto y como aportación fundamental en la metodología empleada en la elaboración del estudio, hay que destacar que se trabajó con una matriz de viajes totales. Esta matriz es suma de la matriz de transporte público y de la de privado, de tal forma que los cambios en las características de los modos implicados (autobús y auto) afecten al reparto modal y proponer sistemas que fomenten el paso de usuarios del modo auto al modo autobús. Se trata de evitar trabajar con matrices fijas de modo bus o simples hipótesis que no se ajustan a la realidad. Por ello una adecuada calibración del modelo de reparto modal fue fundamental en el desarrollo del modelo completo. Posteriormente, las matrices de cada modo de transporte se asignaron a la red (Fernández, 2003; www.eStraus.com), dando por bueno el modelo de simulación en

el momento que se logro reproducir de forma óptima los flujos de vehículos y pasajeros actuales.

– **FASE 2. Solución Base Optimizada.** En esta segunda fase se desarrolló un modelo de optimización matemática bi-nivel junto con la herramienta de simulación creada en la anterior fase sirvió para dar respuesta, tanto a los problemas puntuales detectados como a las propuestas de las asociaciones vecinales, con el fin de resolver los problemas más urgentes y perentorios a muy corto plazo.

El modelo de optimización que se propone consta de un nivel superior con la función de bienestar social que considera los costes de usuario y los costes del operador, sujetos a restricciones tecnológicas y de satisfacción de la demanda, y en el nivel inferior se incluye un modelo combinado de reparto modal-asignación (dell’Olio et al., 2006). El coste de operación es determinado por las características del sistema: número de kilómetros, número de autobuses circulando con sus correspondientes costes de financiación y amortización, número de horas/hombre empleadas, etc., es decir, los costes directos e indirectos de la empresa que ejerce el servicio de transporte público urbano de la ciudad, mientras que el coste del usuario viene representado por el tiempo de viaje total (tiempo de acceso al sistema y tiempo de espera en paradas) que invierte el usuario. La consideración del costo de los usuarios (tiempo) es muy importante pues su omisión (explícita o implícita) provoca serios problemas de diseño (Jara-Díaz, 2009). Los costes de los usuarios se obtienen por simulación (nivel inferior del modelo de optimización bi-nivel), los cuales están afectados por las variables de decisión, constituidas por las frecuencias  $f_i$  de cada una de las  $n$  líneas de la red que se está considerando.

La formulación del nivel superior es la siguiente:

$$\begin{aligned} \min Z = & \phi_a \cdot TAT + \phi_w \cdot TWT + \phi_v \cdot TIVT + \phi_t \cdot TTT + \phi_c \cdot TCTT \\ & + 1.12 \cdot \left\{ \sum_i L_i f_i CK + t_{sb} \sum_i CRY_i + CP \sum_i \left( \frac{tc_i}{h_i} 60 \right) + \sum_i \left( \frac{tc_i}{h_i} 60 \cdot CF \right) \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_i f_i = \sum_i \frac{Y_i}{K} \quad (2)$$

Donde,

$TAT$ , Tiempo Total de Acceso.

$TWT$ , Tiempo Total de Espera.

$TIVT$ , Tiempo Total de Viaje en bus.

$TTT$ , Tiempo Total de Tránsito.

$TCTT$ , Tiempo Total de Viaje en auto.

$\phi_a$ , Valor del tiempo de acceso.

$\phi_w$ , Valor del tiempo de espera.

$\phi_v$ , Valor del tiempo de viaje en bus.

$\phi_t$ , Valor del tiempo de tránsito.

$\phi_v'$ , Valor del tiempo de viaje en auto.

$L_i$  = longitud de la línea  $i$  (km por bus).

$f_i$  = frecuencia de la línea  $i$  (bus por hora).

$CK$  = coste unitario de rodadura (€ por km).

$t_{sb}$  = tiempo medio de subida y bajada en el autobús (min por pasajero).

$CR$  = coste unitario debidos a ralentí (€ por hora).

$Y_i$  = demanda en la ruta  $i$  obtenida por simulación (pasajeros por hora).

$CP$  = coste unitario de personal (€ por hora).

$t_{ci}$  = tiempo de ciclo de la línea  $i$  (min).

$h_i$  = intervalo en la ruta  $i$  (min).

$CF$  = coste fijo unitario del autobús (€ por hora).

$K$  = capacidad del bus (pasajeros).

Los costes del operador se consideran como la suma de los costes directos más los costes indirectos (Ibeas et al., 2006). Los costes directos se componen de tres factores: costes de rodadura (km recorridos) ( $CK$ ), los costes horarios debidos al ralentí ( $CR$ ), los costes de personal ( $CP$ ), y los costes fijos ( $CF$ ). Los costes indirectos ( $CI$ ) por otros estudios realizados se estiman como el 12% de los costes directos. El conjunto de restricciones asegura la satisfacción de la demanda en función de la capacidad de los buses donde  $K$  es la capacidad del autobús, que en este caso se ha considerado constante.

El nivel inferior se modela a través de un modelo combinado de Partición Modal–Asignación. Las condiciones de equilibrio para el problema que se considera pueden formularse mediante una desigualdad variacional del siguiente tipo:

$$c(X^*) \cdot (X - X^*) - g(T^*) \cdot (T - T^*) \geq 0, \quad \forall X, T \in \Omega \quad (3)$$

donde  $c$  es el vector de costes en los arcos de la red,  $g$  es el vector de funciones inversas de demanda,  $X$  es cualquier vector factible de flujos en la red multimodal,  $X^*$  representa la solución de equilibrio en términos de flujos sobre la red multimodal,  $T$  es el vector de viajes entre pares origen-destino de la red multimodal y  $T^*$  es el vector de viajes de equilibrio entre pares origen-destino de la red multimodal.

El problema de optimización equivalente para el problema diagonalizado de Partición Modal y Asignación conjuntas aplicado en este modelo es el siguiente (Fernández, 2003; www.eStraus.com):

$$\min \sum_m \sum_a \int_0^{f_a^m} c_a^m(x) dx + \sum_m \sum_a \int_0^{f_a^m} c_s^m(x) dx + \sum_n \frac{1}{\lambda_w} \sum_w T_w^n (\ln T_w^n - 1) - \quad (4)$$

$$\sum_n \frac{1}{\lambda_w} \sum_w T_w^n (\ln T_w^n - 1) + \sum_n \frac{1}{\lambda_w} \sum_{m \in n} \sum_w T_w^m (\ln T_w^m - 1)$$

s.a.

$$T_w = \sum_n T_w^n \quad \forall w \quad (5)$$

$$T_w^n = \sum_{m \in n} T_w^m \quad \forall w, n \quad (6)$$

$$T_w^m = \sum_{r \in p^m} h_r^m \quad \forall w, m \quad (7)$$

Donde,

$W$ : Conjunto de pares origen-destino O-D.

$w$ : Elemento del conjunto  $W$ , en que  $w = (i, j)$ , con  $i, j$  centroides.

$T_w$ : Número total de viajes entre el par O-D  $w$  para usuarios de transporte público.

$l$ : Índice para designar una línea de transporte público.

$R$ : Conjunto de rutas disponibles para usuarios de transporte público.

$r$ : Índice para designar una ruta en transporte público.

$R_w$ : Conjunto de rutas en transporte público asociado al par O-D  $w$ .

$\bar{h}_r$ : Flujo de pasajeros de transporte público sobre la ruta  $r$ .

$s$ : Índice para designar una sección de ruta en transporte público

$S$ : Conjunto de secciones de rutas disponibles para usuarios de transporte público.

$cs$ : Coste de viaje para usuarios de transporte público sobre la sección de ruta  $s$ .

$\delta_{sr}$ : Elemento de la matriz de incidencia sección de ruta-ruta: toma el valor 1 si la ruta  $r$  pasa por  $s$  y 0 en otros casos.

$V_s$ : Flujo de pasajeros en la sección de ruta  $s$ .

$vls$ : Flujo de pasajeros en la sección de ruta  $s$  que utilizan la línea  $l$ .

$fl$ : Frecuencia de servicio de la línea  $l$ .

$fs$ : Frecuencia total en la sección de ruta  $s$ .

$a$ : arcos de la red.

$m$ : modo de transporte.

$n$ : nido del árbol de decisión.

Obviamente, al conjunto de restricciones aquí descritas se les deberá añadir las restricciones de no negatividad de flujos, las relaciones entre flujos en rutas y flujos en arcos, y las restricciones de repartición de flujos en arcos de transporte público a secciones de línea.

– **FASE 3. Sistema de Transporte Urbano para el Corto Plazo.** En esta tercera fase se definió un primer sistema de transporte público con cambios importantes en cuanto a modificación de recorridos, creación de nuevas líneas y relocalización de paraderos con horizonte tres años. Estos cambios se identificaron preliminarmente de manera heurística considerando criterios técnicos, el interés de la ciudadanía y los desarrollos urbanísticos previstos en el Plan General de Ordenación Urbana de Santander. Todas las propuestas en este sentido fueron comprobadas con el modelo, seleccionando aquellas que mejoraban el coste del sistema (coste de usuario y de operación).

Tal y como se indicó anteriormente, en el modelo de optimización la variable continua ha sido la frecuencia de las líneas de transporte público, si bien es importante destacar que es factible añadir otras variables más como puede ser el tamaño del

autobús y la localización de las paradas. En la definición del Plan que a continuación se detalla, se ha optimizado las frecuencias de todas las líneas, mientras que el tamaño del bus se ha mantenido constante (flota actual).

Se resume a continuación las principales premisas consideradas en la heurística para la modificación de recorridos, creación de nuevas líneas y relocalización de paraderos.

- De un análisis previo de resultados y jerarquización de las actuales líneas de transporte, se seleccionaron aquellas troncales y que en ningún caso era recomendable modificar.
- De todas las actuaciones incluidas en el avance del PGOU se analizaron aquellas de inminente desarrollo y aquellas que estaban ya en construcción.
- Se tuvo en cuenta la ubicación futura de determinados puntos singulares de la ciudad por la capacidad intrínseca de atraer viajes. Entre tales singularidades cabe destacar entre otras, el nuevo edificio del Gobierno Regional.
- Se modificaron actuales rutas del transporte público urbano, tratando de favorecer recorridos que sin colapsar el eje central de la ciudad ofrecieran buenas conexiones entre zonas importantes de atracción de viajes como pueden ser los centros hospitalarios (Centro médico de Valdecilla), los centros intermodales (estaciones de autobuses y ferrocarriles) y algunos edificios singulares previstos como el ya citado de nueva construcción (Gobierno Regional). Estas líneas se denominaron líneas abastecedoras.
- Finalmente, las soluciones propuestas mantuvieron al máximo posible la denominación de las líneas existentes, sin grandes cambios radicales instantáneos (sistema propuesto a corto plazo) partiendo de lo existente.

En base a lo anterior, la propuesta en el corto plazo finalmente implementada, se sintetiza en la tabla 1, incluyendo todas las frecuencias optimizadas. Allí se observan las nuevas líneas (16, 17, 18 y 19), las modificadas (11 y 14) y las que mantienen su recorrido. Las modificaciones significaron un aumento de la red de transporte público de 235,4 a 287,47 kilómetros, es decir un 22% más.

### 3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE PREVISIONES Y RESULTADOS ALCANZADOS

Con este plan y mediante el modelo se predijo (Ibeas et al, 2006b) un aumento de un 15% de los usuarios de bus en hora punta (de 4139 a 4.745) y de más de 8000 pasajeros diarios (de 57.000 a 65.350). Esto significaría un cambio en partición modal en transporte público en la hora punta desde 8,5% a 10%, porcentaje que se vería incrementado si este plan de transporte público se conjugase con otras medidas como integración del sistema con otros modos de transporte público (Servicios interurbanos de autobuses, ferroviarios de RENFE Red Nacional de Ferrocarriles Españoles y FEVE Ferrocarriles Españoles de Vía Estrecha) y creando puntos de conexión de usuarios de auto con el sistema de transporte urbano.

TABLA 1: Sistema Implementado: Líneas y Frecuencias

SISTEMA AÑO 2005		SISTEMA IMPLEMENTADO 2008		
Línea	Frecuencia	Propuesta	Línea	Frecuencia
L1	16	Mantiene recorrido	L1	13
L2	16	Mantiene recorrido	L2	11
L3	20	Mantiene recorrido	L3	18
L4	12	Mantiene recorrido	L4	14
L5-C1	12	Mantiene recorrido	L5-C1	10
L5-C2	12	Mantiene recorrido	L5-C2	8
L6-C1	30	Mantiene recorrido	L6-C1	35
L6-C2	30	Mantiene recorrido	L6-C2	35
L7-C1	16	Mantiene recorrido	L7-C1	12
L7-C2	16	Mantiene recorrido	L7-C2	12
L8	30	Unión L8 y L9	L13	30
L9	30	Nuevo recorrido	L11	35
L10	30	Unión L10 y L 12	L12	25
L11	30	Nuevo recorrido	L14	20
L12	30	Nueva línea	L16	20
L14	20	Nueva línea	L17	30
		Nueva línea	L18	30
		Nueva línea	L19	30

Posteriormente, realizamos una nueva campaña de encuestas en Noviembre de 2008, lo que permitió evaluar los resultados alcanzados como consecuencia de la implementación de la modelación propuesta que constituyó el eje del Plan de Transporte Público. Dicha encuesta tuvo la misma estructura que la realizada inicialmente para el desarrollo del Plan, lo que ha permitido realizar la comparación de resultados de forma inmediata sin la necesidad de procesos de estandarización de resultados.

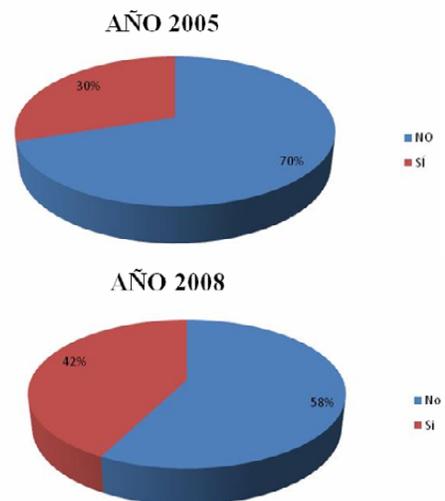
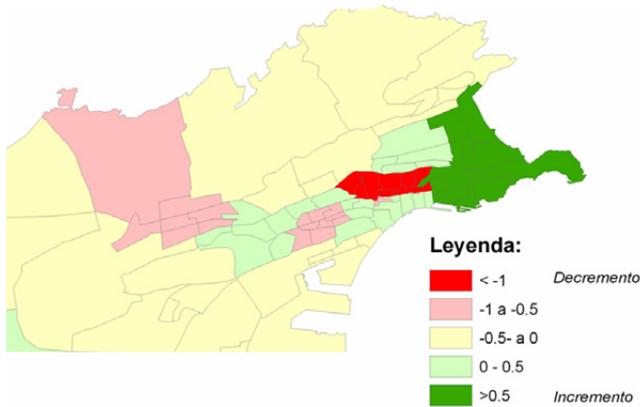


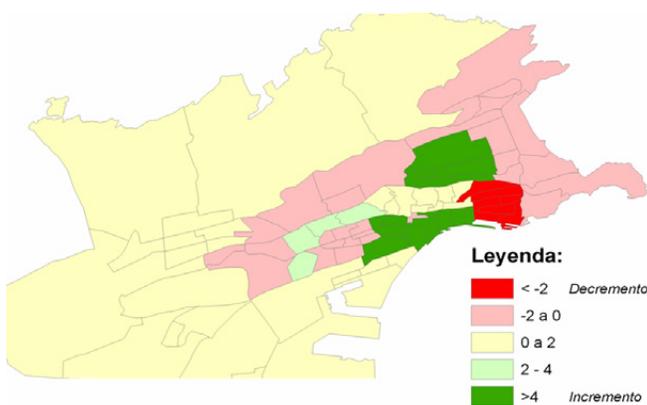
FIGURA 3: Disponibilidad de Auto de Usuarios del Transporte Público

Como primer resultado significativo, se puede comprobar que el porcentaje de usuarios del autobús que lo utilizan y que además disponen de auto, ha crecido, pasando del 30% al 42% (figura 3) disminuyendo el grado de pasajeros cautivos a ese modo de transporte. Esto indica que los nuevos pasajeros ganados al sistema de Transporte público, son usuarios que han dejado de usar el coche, lo cual era uno de los principales objetivos del estudio.

En resumen y en cuanto a las cifras globales de viajeros totales en modo auto y en modo bus, su evolución total y zonal es la mostrada en las figuras 4 y 5. Se puede comprobar que se ha logrado una leve reducción del modo auto (-2,8%) y un importante crecimiento del modo bus (9,5%). Estas importantes cifras demuestran que las medidas obtenidas de la modelación bi-nivel y adoptadas en el Plan, comienzan a arrojar resultados deseados hacia el cambio modal. Estos decrementos de uso del coche e incrementos de uso del autobús se han estudiado por zonas, de forma que ello sirve de guía para continuar la línea de proponer nuevas medidas o corregir las actuales de forma que estos incrementos de cambio modal sean también homogéneos en todas las zonas.



**FIGURA 4: Evolución de Uso del Coche en Porcentaje de Incremento/decremento de Viajes en Hora Punta de Mediodía: Decremento Medio del 2.8%.**



**FIGURA 5: Evolución de Uso del Bus en Porcentaje de Incremento/decremento de Viajes en Hora Punta de Mediodía: Incremento Medio del 9.5%.**

Atendiendo a las predicciones realizadas en el año 2005 y a la toma de datos del año 2.008, el grado de cumplimiento de las previsiones queda comprobado, lo cual demuestra el correcto ajuste, el calibrado del modelo desarrollado y por ello, la bondad del modelo bi-nivel de previsión utilizado. En concreto, observando los pasajeros hora como indicador más importante y

más comúnmente usado en modelización, se ha alcanzado a finales del año 2.008 la cifra de 4.635 viajeros/hora frente a los 4.745 viajeros/hora estimados. Teniendo en cuenta que de todo el Plan de Transporte Público, se ha puesto en marcha aproximadamente un 70% de las medidas, estos resultados confirman el buen grado de precisión alcanzado con el modelo calibrado y, sobretudo, que las medidas propuestas están en la línea inicialmente planteada de trasvase de usuarios del modo auto al modo bus. La estimación realizada relativa a que un 10% de los viajeros serían del modo bus se está alcanzando.

**TABLA 2: Estimaciones y Datos Reales del Año 2.008**

	Sistema actual (2005)	Predicción a Corto Plazo (2008)	Datos reales (2008)
Kilómetros de Red de Autobús	235,4 km.	287,47 km. (+22%)	278,5 km.
Viajeros en Autobús en hora punta	4.139 viajeros/hora	4.745 viajeros/hora (+15%)	4.635 viajeros/hora
Viajeros diarios en Autobús	57.000 viajeros/día	65.345 viajeros/día	63.757 viajeros/día

#### 4. CONCLUSIONES

Una vez expuesta la metodología seguida para el desarrollo del Plan de Transporte Público de Santander, y analizados sus resultados después de dos años de puesta en vigor, es posible extraer una serie de conclusiones.

- Se dispone de un eficiente modelo de simulación de la movilidad total urbana bajo óptimo social, que incluye no solo la movilidad en transporte público, sino también de tráfico privado. Ello constituye una herramienta fundamental del Plan de Transporte Urbano de la ciudad, útil para la toma de decisiones políticas de planificación ante posibles actuaciones en materia de transporte, evaluando los impactos de dichas medidas.
- Los resultados reales obtenidos después de tres años de puesta en marcha de medidas propuestas en el Plan, muestran una leve reducción del modo auto (-2,8%) y un importante crecimiento del modo bus (9,5%).
- Contrastados estos resultados con los predichos por el modelo aquí diseñado, han resultan ser suficientemente coincidentes, lo cual confirma la validez de la modelización utilizada y la eficiencia de las medidas adoptadas como consecuencia de su uso.
- Una de las principales ventajas del modelo diseñado es que ha sido capaz de incorporar la participación ciudadana, la cual por sus experiencias del día a día han aportado ideas que han servido para la definición final del Plan de Transporte Público y que sin duda han llevado a su éxito.
- Otra importante conclusión, es que el modelo únicamente ha tenido como variable de optimización la frecuencia de las líneas, siendo factible optimizar también el tamaño de los autobuses y la localización de las paradas.
- En relación al anterior punto, en la definición del Plan se ha optimizado las frecuencias de todas las líneas, mientras que el tamaño del bus se ha mantenido constante (flota actual). En cuanto a propuestas de cambios de recorrido y de localización de paradas, estos han obedecido a criterios técnicos y de interacción social, pero siempre comprobadas con dicho modelo, seleccionando aquellas que mejoraban el coste del sistema (coste de usuario y de operación).
- Por último, destacar al igual que en el punto anterior, la estrecha colaboración entre técnicos (Universidad de

Cantabria como ejecutores de las labores científicas que incluyen las modelizaciones bi-nivel en las que se sustenta el Plan) y gestores (Ayuntamiento), la cual ha sido fundamental para el desarrollo eficiente del Plan en función de los satisfactorios resultados obtenidos. En este sentido es tan importante el paso dado por el Ayuntamiento de Santander en el camino hacia la confianza en las herramientas matemáticas y modelos de simulación como instrumentos fundamentales en planificación de transporte, como la incorporación en el diseño de elementos aportados por la sociedad y sus representantes.

## REFERENCIAS

Ampt E.S., Ortuzar J. de D. (2004) On best practice in continuos large-scale mobility surveys. **Transport Reviews**, 24, 3, 337-363.

Fernández, J.E., De Cea, J., Dekock, V., Soto, A. y Friesz, T.(2003) ESTRAUS: a computer package for solving supply-demand equilibrium problems on multimodal urban transportation networks with multiple user classes. **82nd Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting**, Washington DC. 12-16 enero de 2003.

Dell'Olio, L., Moura, J.L., Ibeas, A. (2006). Bi-level Mathematical Programming Model to Locate Bus Stops and Optimize Frequencies. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, TRB, National Research Council, Washington, D.C.,

Ibeas, A., Moura, J.L., dell'Olio, L., Ortuzar J.de D. (2006). Costing school transport in Spain. **Transportation Planning and Technology**. Volumen: 29-6, 483 a 501.

Ibeas, A., Moura, J.L., dell'Olio (2006). Presentación del plan de transporte urbano de Santander. **OTUS - Optimizar la gestión del transporte público urbano: hacia la movilidad sostenible**. Ayuntamiento de Santander. <http://www.otus.unican.es/>

Jara-Díaz, S. R. and A. Gschwender (2009). The Effect of Financial Constraints on the Optimal Design of Public Transport Services. **Transportation** 36 (1), 65-75.

Jovicic G. and Hansen C.O. (2003). A passenger travel demand model for Copenhagen. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Volume 37, Issue 4, May 2003, Pages 333-349.

Ortuzar, J. De D. y Willumsen, L.G. (2001) **Modelling Transport**, 3ª edición, John Wiley & Sons, Chichester.

Ortúzar, J. de D. (2000) **Modelos Econométricos de Elección Discreta**. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago.

Puchera J., Komanoff C., and Schimek P. (1999). Bicycling renaissance in North America?: Recent trends and alternative policies to promote bicycling. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Volume 33, Issues 7-8, September-November 1999, Pages 625-654.

Ryuichi Kitamura, Cynthia Chen, Ram M. Pendyala and Ravi Narayanan (2000). Micro-simulation of daily activity-travel patterns for travel demand forecasting. **Transportation** 27: 25-51.

Shannona T., Giles-Cortia B., Pikoraa T., Bulsaraa M., Shiltonb T. and Bulla F. (2006). Active commuting in a university setting: Assessing commuting habits and potential for modal change. **Transport Policy**, Volume 13, Issue 3, May 2006, Pages 240-253.

William H.K. Lam, Y.F. Tang, K.S. Chan and Mei-Lam Tam (2006). Short-term hourly traffic forecasts using Hong Kong Annual Traffic Census. **Transportation** 33: 291-310.

Wirasinghe S. C. and Kumarage A. S. (1998). An aggregate demand model for intercity passenger travel in Sri Lanka. **Transportation** 25: 77-98.