

**TRANSPORTE Y SU INTERACCION CON EL SUELO URBANO:
UN MODELO PARA SANTIAGO.¹**

Francisco J. Martínez
Universidad de Chile
Casilla 228/3, Santiago.

RESUMEN

En este artículo se presenta un modelo teórico original para el mercado del suelo urbano, desarrollado a partir de la conciliación de dos modelos teóricos tradicionales. El nuevo modelo permite el tratamiento espacial del fenómeno de localización de actividades en forma consistente con la base microeconómica que lo sustenta. Se complementa el modelo con la incorporación de una característica propia del suelo como bien económico, llamada casi-unicidad de los predios, con lo cual el precio de la tierra queda tratado explícitamente como resultado de las fuerzas imperantes en el mercado. Además, el concepto de valoración por atributos del suelo, tomado de la teoría de precios hedónicos (o implícitos), más la interpretación de la accesibilidad del suelo como un atributo asociado a su localización, permite establecer un vínculo económico consistente entre: el suelo, el sistema de actividades y el sistema de transporte.

En su segunda parte, el artículo se concentra en la presentación y discusión de los resultados obtenidos de aplicar el modelo a la ciudad de Santiago. Se muestra, por ejemplo: el impacto esperado de la inversión en transporte sobre el valor del suelo urbano, su efecto sobre la localización de actividades y el grado en que los beneficios dirigidos a los usuarios de transporte serán finalmente captados por el dueño de la tierra.

Este trabajo está principalmente dirigido a presentar, en forma resumida, el modelo utilizado y las conclusiones que el modelo arroja en términos de políticas de inversión en transporte urbano.

¹ Este trabajo es una versión revisada, mejorada y traducida del artículo de igual título presentado en 19 PTRC Summer Annual Meeting, Brighton, Septiembre 1991.

1. INTRODUCCION.

Los métodos actuales para evaluar proyectos de inversión en transporte urbano están orientados a estimar la magnitud y destinatarios del impacto directo ocasionado por el proyecto en la forma de beneficios a usuarios y a operadores. Los impactos sobre el uso del suelo y su valor son considerados como indirectos y no forman parte de la evaluación tradicional de proyectos, a pesar que se ha intentado interpretar ciertos resultados como una medida del impacto en el valor del suelo (Williams y Senior, 1978).

Se reconoce, sin embargo, la existencia de los impactos indirectos y que ellos ocurren como consecuencia del cambio en la accesibilidad de la zona, lo que induce un cambio en la demanda por suelo y, en por ende, en el precio de la tierra. Se supone además, que los cambios en demanda generan un potencial desarrollo urbano derivado de un cambio en el uso del suelo, argumento muy usado para fomentar la economía de ciertas áreas deprimidas, mientras que el cambio en el valor de la tierra implica una capitalización (o extracción) de los beneficios a usuarios por parte de los dueños de la tierra, lo que indica una redistribución de los beneficios finales del proyecto.

Así, la importancia de los beneficios indirectos en la planificación de transporte es doble. Primero, porque los impactos en el desarrollo urbano, de existir, afectan las predicciones de generación y distribución de viajes entre pares O/D y, como consecuencia, el uso del sistema de transporte. Segundo, la capitalización de beneficios conlleva la pregunta de finalmente quién gana y quién pierde con el proyecto, que es relevante en la toma de decisiones, especialmente si la autoridad desea beneficiar ciertos grupos o cobrar impuestos a la plusvalía del suelo.

Para investigar los impactos indirectos, se presenta a continuación una metodología capaz de simular las relaciones causa-efecto entre los sistemas de transporte y uso de suelo. Para ello se creó el modelo llamado BID-CHOICE (oferta-elección) que, siendo consistente con la teoría economía neoclásica, ha sido diseñado de forma que sea compatible con las técnicas modernas de análisis de transporte, en particular con el modelo ESTRAUS de Santiago, por lo que puede ser pensado como una extensión del modelo de transporte que permite el análisis del uso del suelo urbano y la evaluación económica del impacto urbano.

El modelo es presentado en el capítulo siguiente en dos partes. Primero, se resume el modelo de uso de suelo. Luego se presenta una interpretación original de los conceptos accesibilidad y atraktividad, la que ofrece un enfoque más ajustado al proceso de decisiones de localización de actividades y al modelo económico. El tercer capítulo reporta la aplicación del modelo al caso de la ciudad de Santiago, donde se experimentó en el uso de los resultados (outputs) de ESTRAUS'1986. Luego, en el capítulo cuarto se discuten resultados preliminares de interés para la definición de políticas de transporte.

2. EL MODELO TEORICO

La base teórica usada en este estudio para investigar la interacción entre uso del suelo y el sistema de transporte, es producto de una discusión profunda sobre las bases de la Economía Urbana tradicional y la forma de representar e interpretar las fuerzas que gobiernan el mercado del suelo (ver Martínez, 1992). De esa discusión se formula una teoría que integra, por una parte, los principios básicos propuestos por el modelo de Alonso (1964), que supone un mercado con comportamiento del tipo remates de terrenos (bid-auction), y por otra, el modelo más típico de demanda basado en la elección de alternativas de máxima utilidad (choice) propuesto por McFadden (1978) y Anas (1982), entre otros. Esta integración teórica concilia ambos modelos y permite formular el modelo BID-CHOICE, que se enriquece con el aporte de ambos.

El sistema de transporte, por otra parte, se representa en el modelo de uso de suelo bid-choice a través de medidas económicas de accesibilidad y atractividad, donde son tratadas como un importante atributo a considerar en las decisiones de localización de actividades urbanas. Esta formulación se basa en la teoría de precios hedónicos (Lancaster, 1966 y en particular Rosen, 1974 para el caso del suelo urbano), que supone que el precio de la tierra resulta de la valoración individual de sus atributos por parte de los consumidores. En consecuencia, en principio es posible identificar el valor que los diversos consumidores otorgan a los atributos accesibilidad y atractividad, es decir a las ventajas del sistema de transporte.

Llamaremos consumidores a todo potencial comprador de suelo urbano: hogares o familias, empresas productivas, instituciones, etc. y asumiremos que cada uno de ellos (o grupo de ellos llamados categorías) tiene una valoración distinta de cada atributo del suelo, pudiendo ocurrir, por ejemplo, que algún atributo sea sólo valorado por algunos consumidores y no por el resto. Por ejemplo, esperamos que la atracción de público a una zona sea valorada por comerciantes minoristas pero no es claro que lo sea por industrias manufactureras.

2.1. El modelo de uso de suelo

Previo a la descripción del modelo conviene destacar algunas características del sistema de actividades urbanas que han sido explícitamente tratadas en el modelo.

Unidad de decisión: Se asume que las decisiones de localización son tomadas por hogares o firmas, en oposición a individuos independientes. Esto permite que la decisión de localización contemple objetivos asociados a la noción de utilidad y función de producción con una perspectiva de largo plazo.

Múltiples atributos: Los predios son representados por una variedad de atributos, cuya selección y definición debe responder al contexto cultural de la ciudad en estudio, lo que forma parte de un trabajo empírico. Esta flexibilidad otorga al modelador una interesante herramienta para representar mejor la realidad observada.

Predios casi-únicos: A diferencia de otros bienes económicos, postulamos que los predios (que representan la unidad de suelo) tienen características singulares que los diferencian de otros predios y los convierten en 'casi únicos'. Ello se debe, por una parte, a que el espacio no puede producirse y, obviamente, no existe un costo de producción. Por otra parte, atributos importantes asociados al predio no pueden ser modificados unilateralmente por el propietario, es decir tampoco se producen ni tienen un costo; por ejemplo, las condiciones ambientales y la accesibilidad de un lugar.

Es importante notar que el modelo describe el mercado de los predios urbanos sin edificación, su extensión al caso del mercado incluyendo edificaciones (que sí presenta costos de producción) quedará pendiente para futuros estudios.

2.1.1 El modelo económico

Entremos ahora a la descripción del modelo en términos de sus supuestos respecto del mecanismo que gobierna el mercado del suelo urbano. Desde el punto de vista del consumidor, supondremos que su objetivo es maximizar su utilidad individual. La forma empírica de este modelo fue desarrollada por McFadden (1978) y Anas (1982) con una especificación tipo logit para funciones lineales de utilidad. En trabajos anteriores (Martínez, 1991 y 1992) se ha propuesto una especificación alternativa al modelo de máxima utilidad, llamado el modelo del excedente del consumidor (EC), que incorpora los elementos básicos de la teoría de precios hedónicos (Rosen, 1974). En este modelo, el excedente del consumidor tipo h asociado a elegir un predio tipo i está dado por la diferencia entre su máxima disponibilidad a pagar (DP_{hi}) y el precio pagado por el predio p_i .

El dueño del predio por otra parte, maximiza su beneficio económico, lo que, en ausencia de costos de producción (supuesto de predio casi-único), se traduce en que el predio será adjudicado a la mejor oferta. Este es el mecanismo de mercado que asume Alonso (1964) y refleja un comportamiento del tipo 'remate de propiedades' con adjudicación al mejor postor.

En consecuencia, el problema general del equilibrio del mercado queda planteado como:

$$\text{Consumidores} \quad \text{Max}_i \text{ EC}_{hi} = DP_{hi} - p_i \quad (1.1)$$

$$\text{Oferentes} \quad p_i = \text{Max}_h DP_{hi} \quad (1.2)$$

que tiene un formato típico de equilibrio de mercado en condiciones de competencia perfecta.

En este caso sin embargo, el equilibrio está descrito exclusivamente por la disponibilidad a pagar de los consumidores, dado que por definición no existen costos de producción, los que normalmente involucran otras variables a optimizar. Esto, que es una consecuencia directa del supuesto de casi-unicidad, significa que el equilibrio es sólo función de las características de los consumidores y que los productores juegan un rol pasivo.

Una propiedad del sistema de ecuaciones anterior es la siguiente. El máximo EC posible es $EC=0$, ya que por ec. 1.2 el precio no puede ser inferior a la disponibilidad a pagar del consumidor, a lo sumo igual o mayor (en este último caso otro consumidor presenta una oferta mayor). En otras palabras, el máximo excedente del consumidor ocurre siempre en predios en que el consumidor es el mejor postor, por lo tanto donde le es adjudicado el predio. Entonces, mejor postor (o mejor oferta) y máximo excedente coinciden, i.e. ambas reglas por separado conducen a igual distribución espacial de los consumidores.

Conviene notar que esta propiedad podría parecer inconsistente dado que la ec. 1.1 representa un modelo tradicional de demanda, en cambio la ec. 1.2 se interpreta como un modelo de equilibrio. Sin embargo, reemplazando la ec. 1.2 en ec. 1.1 se obtiene

$$\text{Max}_i EC_{hi} = DP_{hi} - [\text{Max}_h DP_{hi}] \quad , \quad (2)$$

que es un modelo de equilibrio en sentido que resuelve el sistema 1.1 y 1.2 simultáneamente, y deja de ser un modelo de demanda. De esto se puede concluir que el modelo de máxima utilidad, tradicionalmente considerado de demanda por suelo, de hecho representa en este caso y como consecuencia del supuesto de casi-unicidad, un modelo de equilibrio.

2.1.2 El modelo estocástico

De lo expuesto se puede concluir que, en teoría, el modelo empírico puede ser estimado utilizando indistintamente los modelos básicos dados por las ecs. 1.1 ó 1.2, que hemos denominado versión de elección (choice) y de ofertas (bid) respectivamente, ésta última versión es presentada a continuación y fue originalmente formulada por Ellickson (1981).

Asumamos que la disponibilidad a pagar de un consumidor tipo h por un predio tipo i (o en la zona i), DP_{hi} , es una variable aleatoria dada por:

$$DP_{hi} = DP_{hi} + \epsilon_{hi} \quad (3)$$

en que el término aleatorio se distribuye independiente e idéntico

Gumbel (IID) a través de los posibles consumidores h^2 . Luego, la proporción de los consumidores tipo h que se espera hagan una oferta exitosa en la zona i , llamada $P_{h/i}$, y que por lo tanto queden localizados en esa zona, depende de la probabilidad de que la oferta h sea más alta que las restantes. Esto es:

$$P_{h/i} = \text{Prob} [DP_{hi} \geq \text{Max } DP_{gi} , \forall g \in H] \quad , \quad (4)$$

lo que conduce a la siguiente expresión logit multinomial (MNL):

$$P_{h/i} = \frac{H_h \exp [\mu DP_{hi}]}{\sum_g H_g \exp [\mu DP_{gi}]} \quad , \quad (5)$$

que es la versión agregada del modelo MNL de Ellickson y que incorpora las recomendaciones de Lerman y Kern (1983) de incluir el tamaño de cada categoría de consumidores H_h . μ es el factor de escala usual de la distribución del término aleatorio.

Además, el valor esperado del suelo en la zona i es, por definición, igual al valor esperado de la mejor oferta entre los posibles compradores, lo que se expresa como:

$$p_i = (1/\mu) \ln (\sum_g H_g \exp[\mu DP_{gi}]) \quad , \quad (6)$$

y que representa, en términos estadísticos, la utilidad compuesta o "logsum" de un nido de alternativas de elección³.

2.1.3 La forma lineal del modelo

La calibración del modelo consiste en estimar las funciones DP para todas las categorías de consumidores. Esto se puede realizar directamente a partir de las expresiones no-lineales dada por las ecs. 5 y 6, las que en principio deben ser estimadas en forma simultánea de manera que se cumpla la regla de la mejor oferta tanto en la localización de los consumidores (ec. 5) como en la definición de la renta o precio del suelo (ec. 6).

Es posible, sin embargo, hacer una calibración con métodos lineales beneficiándonos de su simpleza y menor costo computacional. Para ello, luego de algunos pasos algebraicos menores, reemplazamos la ec. 6 por el denominador de la ec. 5, obteniendo

² En adelante utilizaremos un lenguaje para modelos agregados en el cual i representa zonas homogéneas y h categorías de consumidores también homogéneos.

³ Esta propiedad es usada en Martínez (1991, 1992) para demostrar la equivalencia en el modelo empírico entre la versión de ofertas y la de elección discreta.

$$P_{h/i} = H_h \exp (\mu [DP_{hi} - P_i]) \quad (7)$$

cuya forma lineal es:

$$LP_h = \ln \left[\frac{P_{h/i}}{H_h} \right] = \mu DP_{hi} - \mu P_i \quad (8)$$

expresión sólo útil en modelos agregados donde $P_{h/i}$ representa una proporción y la transformación logarítmica tiene sentido.

La ec. 8 es válida para todo potencial consumidor $h \in H$, y por tener un mismo parámetro μ deben ser estimadas simultáneamente, tal como se presenta en el sistema de ecs. 9 donde se especifica una ecuación por cada tipo de hogar y firma que sean potenciales consumidores de suelo en la zona i . Notar además que, las ecuaciones del sistema son válidas en cada una de las zonas del área urbana, por lo tanto, cada zona representa una observación en la estimación econométrica.

$$\begin{aligned} LP_{h=1} &= DP_{1,i}^* - \mu P_i \\ LP_{h=2} &= DP_{2,i}^* - \mu P_i \\ &\vdots \\ LP_{h=n} &= DP_{n,i}^* - \mu P_i \end{aligned} \quad (9)$$

con $DP^* = \mu DP$

El sistema de ecs. 9 tiene una estructura simple pues, además de ser lineal en parámetros, sólo presenta variables exógenas en la mano derecha de las ecuaciones, lo que en métodos econométricos se conoce como 'ecuaciones aparentemente no-relacionadas'. Sin embargo, se debe recordar que el supuesto implícito de este sistema es que la ec. 6 se cumple, lo que debe ser explícitamente incorporado en la estimación utilizando, por ejemplo, el método que se muestra en la sección siguiente para el caso de Santiago.

2.2 Representación del sistema de transporte

El sistema de transporte es representado en el modelo bid-choice mediante dos tipos de atributos en cada zona: accesibilidad y atractividad. Será el modelo de uso de suelo el que determine la disponibilidad a pagar de cada consumidor por el beneficio asociado a cada uno de estos atributos.

Accesibilidad, abreviada 'ac', es una medida relativa de la facilidad con que los consumidores, hogares y firmas, realizan los viajes propios de su actividad desde cada zona. A sugerencia de Williams (1977), una medida con sentido económico para

accesibilidad esta dada por las medidas de excedente del consumidor o beneficio a usuarios.

Atractividad, abreviada 'at', se define aquí como una medida de la ganancia (profit) potencial que las actividades económicas pueden extraer del mayor número de viajeros que llegan a una zona. Se asume que esas actividades tienen ganancias marginales crecientes con el número de viajeros atraídos a la zona (como una forma de economías de aglomeración) y por lo tanto estarían dispuestas a pagar parte de esa ganancia extra en forma de renta. Una medida del grado relativo de atracción de viajes está dado por el excedente del consumidor de los viajeros que llegan a la zona. Luego, para obtener el grado global de atractividad, se agrega el excedente del consumidor de viajes desde todos los posibles orígenes.

Ambas medidas representan excedente del consumidor, y deben ser definidas para cada tipo de consumidor h y por propósito y período del viaje; esto es:

$$\Delta ac_i^{hp} = - \sum_j \left(\int_{c_{ij}^1}^{c_{ij}^2} T_{ij}^{hp} dc_{ij} \right) \quad \Delta at_j^{hp} = - \sum_i \left(\int_{c_{ij}^1}^{c_{ij}^2} T_{ij}^{hp} dc_{ij} \right) \quad (10)$$

donde T_{ij}^{hp} representa el número de viajes, dado por ejemplo por el modelo de distribución de viajes, por período/propósito (p) y tipo de usuario (h); c_{ij} es el valor esperado del costo de viaje en ese par origen-destino.

Para el caso de Santiago, el modelo de distribución de viajes usado en ESTRAS es el modelo gravitacional (o de entropía) doblemente restringido, dado por:

$$T_{ij}^{hp} = g_i^{hp} \cdot o_i^{hp} \cdot a_j^p \cdot D_j \exp[\beta^{hp} c_{ij}^{hp}] \quad (11)$$

donde g y a son parámetros conocidos como factores de balance, O y D son los viajes generados por la zona i y atraídos a la zona j respectivamente. β^{hp} es un parámetro asociado al costo generalizado esperado de transporte. Para este modelo en particular, y siguiendo el trabajo de Williams (1976), se demuestra que las expresiones de la ec. 10 resultan ser:

$$ac_i^{hp} = - \frac{1}{\beta^{hp}} \ln(g_i^{hp}) \quad at_j^p = - \frac{1}{\langle \beta^p \rangle} \ln(a_j^p) \quad (12)$$

donde $\langle \beta^p \rangle$ representa el promedio de los parámetros β de los distintos consumidores o usuarios. Notar que el la medida at no se discrimina at por tipo de usuario, esto es únicamente porque el modelo de ESTRAS tampoco lo hace para los factores de balance en el destino (a_j).

En cuanto al uso de estas medidas para decisiones de localización residencial, se debe agregar la accesibilidad para viajes

individuales a la unidad de decisión adecuada, en este caso el grupo familiar. Esta agregación se hace para todos los viajes relevantes en un período, digamos un día típico, obteniendo como resultado una medida de accesibilidad para el hogar incluyendo todos sus miembros y todos los propósitos de viaje. Como se trata de agregar excedentes de un mismo consumidor que están en la misma unidad monetaria (e.g. \$ chilenos), la agregación es simplemente:

$$ac_i^h = \sum_p t^{hp} ac_i^{hp}. \quad (13)$$

donde t es la frecuencia de viajes (diarios) con propósito y período p , usualmente estimada por modelos de generación de viajes.

Un caso diferente es el de las medidas de atractividad, en el cual ciertas actividades pueden estar interesadas en atraer un tipo específico de viajeros, por ejemplo con un determinado propósito, y por lo tanto no es aconsejable la agregación de esta medida.

Es importante subrayar la definición de estas medidas: at es un beneficio a usuarios de transporte a nivel del hogar y ac mide una ganancia potencial de actividades económicas en la zona. Estas medidas están diseñadas para representar percepciones individuales (no promedios) de acceso en el modelo de uso de suelo; para ser consistentes con modelos de transporte (en particular ESTRAUS); para ser calculadas utilizando resultados usuales de modelos de transporte; y para ser sensibles a proyectos de transporte tanto locales como estructurales.

3. EL MODELO DE SANTIAGO

En esta sección se presenta la calibración del modelo bid-choice al caso de la ciudad de Santiago. Para ello se utiliza la base de datos del año 1986 generada para el modelo de transporte de Santiago, ESTRAUS (1989), la que fue complementada con datos independientes de valor del suelo.

En este estudio la ciudad se divide en 264 zonas homogéneas de las cuales, por disponibilidad de información, sólo 100 formarán parte de la calibración. Los hogares se agrupan en 13 categorías, tomando en cuenta nivel de ingreso y disponibilidad de automóvil; de ellas las categorías más pobres, 1 a 4, concentran dos tercios de la población. Además, las actividades económicas se agrupan en cuatro categorías (numeradas de 14 a 17): comercio, oficinas, educación e industria.

3.1 Procedimiento lineal de calibración

La calibración del modelo consiste en estimar 17 funciones de disponibilidad a pagar (DP), una por categoría, más un parámetro

llamado factor de escala μ . Para ello se propone un método lineal iterativo de dos etapas.

1ª etapa: se estiman las funciones DP' (previamente especificadas) resolviendo el sistema de ecuaciones lineales (ec.9), lo que requiere sólo una iteración. Se utiliza un valor de μ exógeno y los precios p_i son observados.

2ª etapa: aquí se introduce la condición que los precios deben cumplir la ec.6, por lo tanto, una vez conocido DP' se estima (mediante regresión lineal) un nuevo μ que minimiza el error en la estimación de los precios y que es usado como valor exógeno en la próxima iteración de la primera etapa.

Luego se itera con estas dos etapas hasta que se alcance el criterio de mínimo error cuadrático global sumando los errores de ambas etapas.

Este método está diseñado para estimar el modelo forzando a los parámetros a revelar tanto la localización de consumidores (sistema de ecs.9) como los precios de suelo observados (ec.6), pero evitando la estimación directa de la ec.6 que involucra técnicas econométricas no-lineales donde también se esperan problemas serios de multicolinealidad. Además de ser un método simple en su econometría, es altamente eficiente en el uso de datos disponibles en comparación a la estimación directa del modelo logit (ec.5); aquí la estimación de cada función DP se realiza en forma independiente del resto y se utiliza la totalidad de las observaciones disponibles. Ello significa que las 100 observaciones (zonas) permiten un número más que suficiente de grados de libertad para la estimación, en cambio son insuficientes si el modelo se estima directamente con la ec.5.

3.2 Especificación de funciones DP

El rol de las funciones DP es medir el nivel de utilidad de los consumidores en términos monetarios, que es similar a las funciones de utilidad indirecta de los modelos tradicionales de máxima utilidad. Asumiremos funciones DP lineales en parámetros, que es equivalente al supuesto usual de utilidad lineal. Los parámetros de la función DP tienen directa interpretación económica como precios hedónicos, i.e. el valor implícito del atributo para el consumidor.

Funciones DP para hogares: Las siguientes variables o atributos del predio fueron utilizados para explicar las decisiones de localización residencial:

LP_h : Variable independiente, definida en ec.8, con $P_{h/i}$ calculada como el número de hogares h ubicados en zona i (H_{hi}) dividido por el total de hogares en i (H_i) que representa una variable proxy del total de predios en i , S_i .

ac_i : Medida de accesibilidad, considerando sólo viajes en el período peak, en (UF/día) y definida para cada categoría.

dzi1-dzi4: Cuatro variables mudas de nivel socioeconómico de la zona i, calculado como el ingreso promedio de los residentes en la zona (UF/mes), con nivel 1 para zonas más pobres hasta nivel 4 las más ricas.

lin: Molestia por presencia de industria, definida como el logaritmo del área destinado a industria en la zona (en m²).

precio: Precio unitario del terreno en (UF/m²).

Se utilizó variables mudas en vez de variables continuas de ingreso medio para disminuir colinearidad con variables de accesibilidad en algunas categorías.

Funciones DP para actividades comerciales: Las variables seleccionadas para describir los atributos que explican la ubicación de firmas son:

LP_h: Como en caso de hogares, pero el número de firmas (H_h) se estima como el equivalente número de hogares que ocuparía el mismo suelo, reflejando así el rol de competencia por suelo implícito en el modelo.

at_p: atractividad de la zona (UF/día), por propósito: trabajo, estudio y otro.

ag_h: Aglomeración de actividad h en zona i, definida como el área usada por la actividad h en la zona, dividida por el área total usada por la actividad en la ciudad.

precio: Como en el caso de hogares.

Reconocemos que la utilización de la variable **ag** constituye una forma bastante indirecta de especificar una función más compleja de disponibilidad a pagar de las firmas. Sin embargo, la intención en este estudio es de incorporar el rol de las firmas en el mercado del suelo, postergando para futura investigación una especificación de variables con mejor explicación causa-efecto del fenómeno de localización.

Las variables recién definidas representan la mejor especificación lograda luego de considerar un número mayor de variables y especificaciones que, a pesar de contener poder explicativo y ser intuitivamente interesantes, son altamente correlacionadas con otras variables.

3.3 Resultados de la calibración

Los resultados más relevantes del proceso preliminar de calibración son los siguientes. El nivel socioeconómico de la zona es un factor altamente dominante en la distribución espacial de hogares. Segundo, los coeficientes de accesibilidad presentan valores negativos en todas las categorías, lo que se interpreta como un disgusto por lugares de mejor acceso, resultado inesperado y contraintuitivo. Los coeficientes de **at** son positivos de acuerdo a lo esperado.

Una comparación entre los datos de accesibilidad y localización de hogares muestra que en general la distribución de hogares de una categoría se opone a la distribución de accesibilidad de la misma categoría. Este fenómeno contradice lo esperado, que los hogares tienden a maximizar su accesibilidad, lo que requeriría una futura interpretación y explicación por parte del modelo ESTRAUS. Para este estudio aceptamos los valores de accesibilidad y asumimos que hay una especificación inapropiada de las funciones DP. Por ello se formula la siguiente hipótesis: los hogares podrían estar dispuestos a pagar un mayor precio del suelo a cambio de mejor accesibilidad sólo si el nivel socioeconómico de la zona es mayor que un cierto umbral.

Ello requiere que en las funciones DP se discrimine la valoración de ac de acuerdo con nivel socioeconómico, lo que se logra con la siguiente especificación:

$$DP_{hi} = \beta_h^0 + \sum_{k=1}^4 \beta_h^k ac_{hi} dzi_i^k + \sum_{k=2}^4 \phi_h^k dzi_i^k + \delta_h lin_i \quad (14)$$

donde el índice k indica nivel socioeconómico de la zona y los parámetros β_s , ϕ_s y δ_s son coeficientes a estimar. Respecto de las funciones DP para actividades comerciales, la especificación final es:

$$DP_{hi} = \beta_h^0 + \sum_{p=1}^3 \beta_h^p at_i^p + \alpha_h ag_{hi} \quad (15)$$

con el índice p indicando propósito de viaje.

Con estas especificaciones se inició el proceso iterativo de dos etapas el que alcanzó el criterio de mínimo error en 11 iteraciones. Los resultados principales se presentan a continuación.

Sub-modelos para hogares: La Tabla 1 presenta sólo resultados de calibración en los cuales se obtuvo una valoración positiva para la variable ac, i.e. clase media (categorías 5 a 10); las otras categorías: pobres 1 a 4 (dos niveles de ingreso inferior) y más ricos 11 a 13 (nivel de ingreso superior), presentan coeficientes de ac negativos.

Este primer resultado no es del todo sorprendente en el caso de los pobres, pues indica que esos hogares no están dispuestos (o más bien capacitados) a pagar un precio mayor en zonas de mejor acceso. En este caso, extremo pero común en Santiago ya que estas categorías abarcan el 67% de los hogares, concluimos que los supuestos teóricos de comportamiento del consumidor no dan cuenta apropiada de las restricciones extremas que gobiernan el proceso de decisión en estudio. La recomendación que fluye es de revisar tales supuestos para este caso.

Respecto de las categorías más pudientes (11 a 13), el valor negativo del coeficiente β es totalmente inesperado. Interpretamos esta situación como el resultado de una debilidad en la especificación del modelo empírico que puede ser mejorada en versiones con un nivel mayor de desagregación y contando con información complementaria de atributos importantes para este segmento.

Por lo anterior, el análisis de resultados que sigue se refiere a las categorías 5 a 10. Dentro de este subgrupo se notará que los coeficientes β^1 a β^3 , asociados a accesibilidad en las zonas de nivel socioeconómico medio 1 a 3, se omiten en la Tabla 1. La razón es que estos valores también son negativos, indicando que los hogares, aún siendo de clase media, no están dispuestos a pagar por mejor acceso a menos que la zona tenga un nivel socioeconómico alto (nivel 4); tales zonas se encuentran en el sector oriente de la ciudad (i.e. comunas de Las Condes, Vitacura, Barnechea, La Reina y Ñuñoa).

Se concluye entonces que, de acuerdo a nuestros resultados, hemos encontrado evidencia de disponibilidad a pagar por extra acceso en un subsector del mercado del suelo, limitado por consumidores clase media y, especialmente, por el sector oriente o barrio alto de Santiago. En consecuencia, en este subsector se espera capitalización de beneficios a usuarios de transporte en la forma de incremento en el valor del suelo. También sugerimos que el caso de categorías de hogares de altos ingreso debe ser revisado y estudiado con nuevas especificaciones para las funciones DP.

Se puede observar también que los valores obtenidos para β^4 son muy significativos en términos estadísticos y sus magnitudes son mayores para categorías dependientes del sistema de transporte público (5 y 8) y sistemáticamente decrecientes con el aumento de autos en el hogar. Luego, tal como se esperaría, los hogares dueños de automóvil están menos dispuesto a pagar por extra accesibilidad.

Otros atributos que resultan significativos son: el nivel socioeconómico de la zona (cualquiera sea la ubicación del sector dentro de la ciudad), y segundo, las molestias por presencia de industria (dado por parámetros δ), que resta valor al suelo.

Sub-modelos para actividades comerciales: Estos modelos tienen una especificación que se reconoce imprecisa pues la variable ag es en sí un resultado de la localización de actividades, luego el modelo no explica la relación causa efecto pero, por otra parte, nos permite simular el rol de estas actividades en la competencia por suelo y en la formación de precios.

Tabla 1 : Sub-modelos para hogares							
Categoría	Cte	Acceso	Nivel socioec. dzi			lin	R ² modelo
	β^0 b	β^4	ϕ^2	ϕ^3	ϕ^4	δ	
5 ^a	-11.8 -21.6	1.14 2.9	.646 6.3	.903 7.0	.178 .37*	-1.07 -4.3	.56
6	-11.9 -21.6	.623 2.3	.643 6.2	.900 6.9	-2.04 1.3*	-1.03 -4.1	.54
7	-11.9 -21.5	.384 2.1	.642 6.1	.899 6.8	-3.36 -1.5*	-1.02 -4.1	.54
8	-12.1 -23.0	2.03 5.6	.513 5.2	.933 7.5	-.386 -.95*	-.936 -4.0	.65
9	-12.3 -21.6	.953 3.5	.504 4.7	.925 6.8	-5.69 -2.7	-.842 -3.2	.56
10	-12.4 -21.3	.645 3.0	.503 4.6	.924 6.7	-7.48 -2.4	-.820 -3.3	.57

Tabla 2 : Sub-modelos para actividades comerciales				
Actividad comercial	Cte. β^0	Acceso β trabajo/pe ak	Aglomeración α	R ² modelo
comercio	-14.54 -203	1.34E-5 1.6*	0.7902 8.9	0.54
oficinas	-22.56 -96	3.74E-5 6.9	7.867 28.2	0.92
educación	-20.53 -55	3.01E-5 7.0	9.006 17.9	0.76
industria	-22.43 -82	1.92E-5 4.6	9.726 29.4	0.92

Notas: * denota no significativo al nivel del 95%.

a) Líneas punteadas separan disponibilidad de 0, 1 ó 2 o más autos.

b) El valor superior en cada celda es la estimación, el inferior es el test-t.

c) Número de observaciones usadas = 100.

Tabla 3 : Sub-modelo de precios (2ª etapa)		
	Factor de escala. μ	R ² modelo
precio	0.1277 28.3	0.831

Notas:

- a) El valor superior en cada celda es la estimación, el inferior es el test-t.
b) Número de observaciones usadas = 100.

Los resultados presentados en la Tabla 2 muestran que la variable aglomeración explica la mayor parte de la variabilidad en la distribución espacial de estas categorías, a excepción de la actividad comercio en que su poder explicativo es menor. Como es de esperar, los coeficientes de atractividad son altamente significativos y positivos (excepto, otra vez, para comercio). Esto indica una disponibilidad a pagar por atractividad en todas la actividades comerciales independientemente del nivel socioeconómico de la zona. Las magnitudes, sin embargo, no son comparables con los parámetros de accesibilidad para hogares pues α_c es un beneficio directamente recibido por los hogares usuarios de transporte mientras α_t es sólo un beneficio (profit) potencial para la firma.

La categoría comercio muestra un comportamiento peculiar, probablemente debido la heterogeneidad de las actividades agrupadas: desde comercio vecinal hasta supermercados y centros de compra. Esta diversidad puede explicar las debilidades de este modelo.

Sub-modelo de precios: Este modelo es estimado en la segunda etapa del procedimiento iterativo en la que se estima el parámetro μ (ver Tabla 3). A pesar del alto R², las predicciones de precios en predios de bajo valor son insatisfactorias debido a la alta variabilidad de la variable precio en ese rango bajo. Para mejorar el modelo en este sentido, se propone incluir variables locales (intrazonales) capaces de explicar con mayor precisión la variabilidad de los precios.

En cuanto a la calidad del modelo, los valores de R² parecen aceptables en todas las categorías, indicando que las funciones estimadas reproducen bien la variación observada de la variable independiente (LP_h). Sin embargo, un residuo pequeño no implica necesariamente un error pequeño en la predicción de \hat{N} (o proporciones) de localización espacial pues, como se recordará, la calibración no minimiza directamente el error en la estimación de

funciones DP. Esto conduce a que el residuo de la estimación DP aparezca elevado a un exponencial en la función de probabilidad (ec.5), lo que reduce el valor de los residuos negativos y amplifica el de los positivos. Esta anomalía debiera ser corregida en el futuro con un método de estimación ad-hoc.

4. TRANSPORTE Y SU IMPACTO EN EL SUELO URBANO

Los efectos indirectos provocados por los proyectos de inversión en infraestructura de transporte pueden ser ahora discutidos a la luz de los resultados obtenidos.

4.1 Capitalización

El impacto en términos del valor del suelo puede ser medido como el cambio esperado en el precio del suelo debido al cambio en la accesibilidad y/o atractividad. Cabe notar sin embargo, que el significado de un cambio unitario en accesibilidad (o atractividad) es el de un beneficio (o profit potencial) equivalente a 1 UF/día, el que es percibido por el hogar (o la firma) en forma independiente del tamaño del predio. Pero, por otra parte, el impacto está medido en términos precio por metro cuadrado, por lo que el cambio total en el precio es proporcional al tamaño del predio. Así, se puede dar el caso que, en una misma ubicación, el cambio de precio de un predio de 400 m² será el doble del de un predio de 200 m², a pesar que el beneficio para el hogar es idéntico. Esta es una debilidad del modelo que se debe a la ausencia de una variable 'tamaño del predio' en las funciones DP, la que sólo se justifica por falta de información adecuada. No obstante, se espera que los resultados representen bien predios de tamaño dentro del rango de tamaños más común de las observaciones.

Precios hedónicos: Se llama así a la disponibilidad a pagar del consumidor por un incremento unitario en la accesibilidad o atractividad del suelo. Estos varían según la percepción de cada consumidor y su expresión analítica se deriva de las ecs.14 y 15.

Respecto de hogares clase media (categorías 5 a 10) y sólo para el sector oriente de Santiago, se observa que los precios hedónicos de accesibilidad tienen una tendencia general marcada: crecen con el nivel de ingreso y con la dependencia por transporte público. En promedio se estimó un valor de 7.55 UF/m², lo que indica el precio extra que el consumidor estaría dispuesto a pagar a cambio de un incremento en el beneficio a usuarios de 1 UF/día. Ello implica una tasa interna de retorno de 16% si el predio es de 200 m², ó 8% si es de 400 m². Expresado de otra forma, por 5 minutos de ahorro en cada viaje (en promedio) se estaría dispuesto a pagar entre el 1% y el 1,5% sobre el precio original; o bien, 1,6% de sobreprecio por una reducción en un tercio en la tarifa de transporte público.

En otras áreas de la ciudad, los precios hedónicos de hogares tienden a ser nulos debido al bajo nivel socioeconómico promedio

del vecindario. Sin embargo, los precios hedónicos de actividades comerciales son positivos en toda la zona urbana y tienen un impacto en el valor del suelo, que aunque es modesto comparado con el caso de hogares, es importante en el sector céntrico donde hay una alta concentración de estas actividades.

Elasticidad precio: Mide el cambio porcentual del precio ante un incremento del 1% en la (medida de) accesibilidad. En promedio este índice es 0.3 en el sector oriente, es decir 30% de los beneficios a usuarios son capitalizados en forma de renta del suelo, pero este valor puede subir a 50% en sectores netamente residenciales y carentes de hogares de ingreso bajo.

4.2 Desarrollo urbano

De acuerdo con el modelo, el impacto de un cambio en la accesibilidad y/o atractividad en un área de la ciudad afectará a todas las zonas como consecuencia de un nuevo equilibrio en la red, y a todos los hogares y firmas, aunque en grado variable, de acuerdo a la movilidad y a la disponibilidad a pagar por mejor acceso. De allí que el impacto total en la demanda por suelo en una zona tiene dos fuentes: el efecto directo debido al cambio de acceso local, y el efecto cruzado debido a la atracción o liberación de demanda en otras zonas. Más aún, el efecto propio tiene dos vertientes, el aumento directo de demanda por la mejora en el acceso y el consecuente aumento de precio del suelo con disminución de demanda; el segundo efecto amortigua el impacto del primero.

El modelo muestra que el cambio en la demanda en el sector oriente para hogares de ingreso medio, crece con el ingreso y con la disponibilidad de automóvil. Por ejemplo, suponiendo un cambio del 1% en la accesibilidad y en atractividad en todas las zonas (caso sólo hipotético), se obtienen cambios en la demanda que varían entre 0% y 8%. En ese mismo sector oriente, el impacto positivo en la demanda por suelo de actividades comerciales es contrarrestado por el aumento de precio del suelo. En otras zonas, en cambio, se espera una disminución modesta de la demanda proveniente de hogares (-0.1%) y un impacto también modesto en la demanda proveniente de actividades comerciales (0,0 a 0,2% en promedio).

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una metodología original para investigar el impacto urbano generado por proyectos de transporte, llamado modelo bid-choice, que tiene una firme raíz en la teoría económica. Se presentó además un método lineal de calibración del modelo con una aplicación, de carácter preliminar, al caso de la ciudad de Santiago.

La conclusión más importante refuta, en forma clara, el supuesto usual del modelo de transporte que asume total capitalización de

los beneficios dirigidos a actividades productoras y nula capitalización de beneficios a usuarios (Williams y Senior, 1978). Por el contrario, el modelo indica que algún grado de capitalización de los beneficios a usuarios y a actividades comerciales debe esperarse. Esto tiene importantes consecuencias en la distribución final de los beneficios generados por el proyecto.

En lo referente a políticas de transporte, el modelo de Santiago muestra que los beneficios a usuarios no son capitalizados por los dueños de la tierra (i.e. son retenidos por los usuarios), a menos que el sector sea de ingreso alto (e.g. sector oriente). Esto se debe al rol dominante que juega el nivel socioeconómico medio de la zona (o status) en las decisiones de localización y, por ende, en el precio de la tierra; la accesibilidad queda relegada a un rol secundario.

La lección para otros estudios similares es clara: se debe tener especial precaución con factores dominantes en la elección de localización, especialmente si la ciudad presenta situaciones de evidente segregación (racial, por nivel socioeconómico, etc.).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue co-financiado por una beca del Gobierno Chile y por la Universidad de Chile. Deseo agradecer además a C. Nash y P. Mackie por sus comentarios a versiones previas de este artículo y a P. Trivelli y a la Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Transporte (SECTRA), por su gentileza al proporcionar la información base del estudio.

REFERENCIAS

- Alonso, W. (1964). Location and Land Use. Cambridge, Harvard University Press.
- Anas, A. (1982). Residential Location Markets and Urban Transportation. Academic Press, London.
- Ellickson, B. (1981). An Alternative Test of the Hedonic Theory of Housing Markets. Journal of Urban Economics, 9, 56-79.
- ESTRAUS (1989). Estudio Estratégico de Transporte del Gran Santiago. Informe Final a la Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Transporte Urbano, Santiago.
- Lancaster, K.J. (1966). A New Approach to Consumer Theory. Journal of Political Economy, Vol 4, 132-157.
- Lerman, S.R. and Kern, C.R. (1983). Hedonic Theory, Bid Rents, and Willingness to Pay. Some comments to Ellickson's Model. Journal of Urban Economics, 13, 358-363.

- Martínez, F.J. (1991). The Impact of Urban Transport Investment on Land Development and Land Values. Ph. Thesis, University of Leeds.
- Martínez, F.J. (1992). The Bid-Choice Land Use Model: An Integrated Economic Framework. Environment and Planning A, vol. 24, por aparecer.
- McFadden, D.L. (1978). Modelling the choice of residential location, in Karlqvist et. al. (eds), Spatial Interaction Theory and Planning Models, North-Holland, Amsterdam, 75-96.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. Journal of Political Economy, Vol 82, Nr.1, 34-55.
- Williams, H.C.W.L. (1976). Travel Demand Models, Duality Relations and User Benefit Analysis. Journal of Regional Science, Vol.16, Nr 2, 147-166.
- Williams, H.C.W.L. (1977). On the formation of travel demand models and economic evaluation measures of user benefit. Environment and Planning, A, Vol 9, 285-344.
- Williams, H.C.W.L. and Senior, M.L. (1978). Accessibility, Spatial Interaction and the Evaluation of Land Use Transportation Plans. Spatial Interaction Theory and Planning Models, A.Karlqvist, L.Lundqvist, F.Snickars and J.W.Weibull (Eds.). North Holland, 253-287.

