

METODOS DE ESTIMACION DEL MODELO BID-CHOICE

Francisco Martínez, Cristián López y Pedro Donoso
Universidad de Chile
Casilla 228-3, Santiago
Fono: 562-6894206 Fax: 562-6712799

RESUMEN

El modelo de uso de suelo BID-CHOICE presenta una estructura tipo logit jerárquico con una singularidad novedosa: el valor esperado de las alternativas del nido (conocido como EMU o "inclusive value") es un valor observable. Tal característica, de justificación teórica, plantea la imposibilidad de utilizar los métodos disponibles para la estimación del modelo. Por ello en este trabajo se presentan y aplican algunos métodos ad-hoc que permiten extender los métodos conocidos de estimación de modelos logit jerárquicos al caso de la existencia de restricciones en los valores que toma la EMU.

1. INTRODUCCION

En los últimos años se ha hecho cada vez más popular el uso de modelos tipo logit para la estimación de modelos de demanda en transporte y actualmente se cuenta con sofisticados paquetes computacionales que facilitan la estimación de los parámetros.

Si bien el modelo BID-CHOICE de uso de suelo (Martínez, 1992a) tiene su raíz en la teoría de la utilidad aleatoria y la expresión de la probabilidad de localización espacial es modelada comúnmente según la conocida fórmula del logit, en este caso se presenta una dificultad novedosa: el valor esperado de las alternativas de elección, conocido como EMU (inclusive value) es, por definición el precio del suelo, y por lo tanto es observable. El problema general entonces, consiste en definir un método para estimar el modelo logit sujeto a restricciones explícitas que incluyen valores observados.

Una posible solución es la propuesta por Lerman y Kern (1983), quienes observaron que el precio del suelo aportaba información independiente al proceso de decisión de localización espacial y propusieron incluirla modificando el modelo logit propuesto por Ellickson (1981). Para ello ofrecen una expresión para la función de densidad de probabilidad de localización que incorpora el precio pagado por el suelo, lo que obliga a observar transacciones reales de compra-venta de predios. En todo caso, el modelo de Ellickson no representa un modelo jerárquico sino uno multinomial por lo que aplicar este método al modelo BID CHOICE es más complejo.

En este artículo, en cambio, se recoge la proposición alternativa contenida en el modelo BID-CHOICE en el cual no se conoce el precio de cada transacción sino el precio promedio del suelo en un área. Este método permite, por una parte, utilizar información agregada de uso y precio del suelo sin requerir observar transacciones reales, cuya información es muy difícil de recolectar en la práctica, y por otra, tratar el modelo en forma jerárquica consecuente con su estructura teórica original.

El objetivo de la investigación presentada en este artículo es el de explorar un conjunto de métodos alternativos de estimación del modelo de uso de suelo BID-CHOICE. En efecto, se trata de una exploración comparativa de métodos realizados sobre una base de datos común y una especificación funcional también idéntica. Tanto la base de datos como la especificación funcional presentan limitaciones que pueden afectar en forma desigual a los resultados de los métodos discutidos, en particular cuando se trata de formas no-lineales complejas, por lo que los resultados en cuanto a las ventajas de cada método no son fácilmente generalizables. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo no es encontrar el mejor método, sino proponer métodos alternativos y explorar sus características en forma empírica.

Tras una breve reseña de la base teórica que sustenta el modelo BID-CHOICE, el artículo presenta en la sección tres los métodos de estimación del modelo y los resultados del tratamiento econométrico se presentan y discuten en la cuarta sección.

2. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

2.1. Modelo Teórico

El intento por interpretar y representar los mecanismos que gobiernan el mercado del suelo dio origen a dos teorías. Por una parte, aquella que dice relación con los principios básicos propuestos por Alonso (1964), que supone un mercado con comportamiento del tipo remates de terreno (bid-auction). Por otro lado, 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. Estas teorías son la base del modelo BID-CHOICE, el que constituye una síntesis de ambas, pues concilia sus diferencias y se nutre de sus potencialidades (Martínez, 1992a). Para ello se integran ambas teorías a través de una especificación alternativa del modelo de máxima utilidad, la que se traduce en el modelo de máximo excedente del consumidor.

En el modelo compuesto BID-CHOICE uno de los supuestos fundamentales sobre el mercado del suelo es su carácter casi-único, lo que determina que la valorización del suelo por parte de los compradores entregue como resultado el precio de la tierra. Esto ocurre porque no hay costos de producción del suelo, por lo que el equilibrio está descrito exclusivamente por la disponibilidad a pagar de los consumidores. De aquí se desprende una propiedad fundamental: el máximo excedente del consumidor se verifica precisamente en aquellos predios en que éste ofrece la mejor postura y por lo tanto le es adjudicado el predio. Luego, el mejor postor y el máximo excedente coinciden al considerar que el precio es de carácter endógeno, es decir, depende de la disponibilidad a pagar de los consumidores. De esto se puede concluir además, que el modelo de máxima utilidad tradicionalmente considerado en estudios de demanda representa, de hecho y como consecuencia directa de la condición de casi-unicidad, un modelo de equilibrio.

2.2. Modelo Empírico

La generación del modelo empírico se sustenta en la especificación de la función disponibilidad a pagar del consumidor por un predio, la que podemos interpretar en forma intuitiva como una medida del nivel de utilidad en términos monetarios, similar a la función de utilidad indirecta de los modelos tradicionales de máxima utilidad. En forma más precisa, la disponibilidad a pagar está definida como el máximo pago que un consumidor está dispuesto a hacer por un bien o servicio para alcanzar un nivel de utilidad prefijado. En el equilibrio este nivel de utilidad resulta ser el máximo alcanzable dado los precios de todos los demás bienes y el ingreso.

La definición económica usada en el modelo BID-CHOICE proviene de la teoría de precios hedónicos, desarrollada por Rosen (1974) bajo la inspiración combinada de los trabajos de Alonso (1964) y Lancaster (1966), que asume que la función disponibilidad a pagar por un bien se genera como una combinación de valores implícitos - hedónicos - de los atributos asociados al bien. Luego, la disponibilidad a pagar por el suelo representa una función de los atributos asociados al predio, la que denotamos por DP.

Un supuesto adicional utilizado en el modelo es que la función DP es lineal en sus parámetros. Luego, su forma general es:

$$DP_{(hi)} = DP_{hi} + e_h = \beta_h^0 + \sum_{k=1}^K \beta_h^k z_{hi}^k + e_h \quad (1)$$

donde $DP_{(hi)}$ es la disponibilidad a pagar del individuo de categoría h por el lote de tierra i, la que se supone una variable aleatoria con término determinístico DP_{hi} y término aleatorio e_h . z_{hi}^k es el atributo k del lote de tierra (o zona) i, cuyo valor depende de la percepción del individuo de categoría h. Esta variable bien podría representar una función del atributo o de varios atributos, pues DP es lineal sólo en parámetros, no en atributos. β_h^k es el precio hedónico del atributo k, que es un parámetro a estimar y β_h es una constante del consumidor que incluye, entre otros elementos, su nivel de ingreso.

Notar que con la especificación lineal de la ecuación (1), DP se construye como la suma simple de los valores que el consumidor otorga a cada atributo (o función de atributos) del predio.

Para especificar el modelo empírico en su versión bid, se supone que el término aleatorio, e_{hi} , es independiente e idénticamente distribuido Gumbel (IIDG) a través de los diferentes consumidores. En esta versión, el predio se asigna al mejor postor, es decir al consumidor con mayor disponibilidad a pagar. Luego, la probabilidad de que el consumidor h haga una oferta exitosa por un predio i, es decir que supere las otras ofertas, se denota por $P_{h/i}$ y se expresa por:

$$P_{h/i} = \text{Prob} (DP_{hi} + e_h \geq \max_{g=1..H} (DP_{gi} + e_g)) \quad (2)$$

con H el número de consumidores o tipos de éstos.

De acuerdo con las propiedades de la distribución IIDG y siguiendo el procedimiento desarrollado por Domencich y McFadden (1975), se obtiene el modelo logit multinomial siguiente:

$$P_{h/i} = P_{h/i}(\beta, \mu) = \frac{\exp(\mu DP_{hi})}{\sum_{g=1}^H \exp(\mu DP_{gi})} \quad (3)$$

donde μ es un factor de escala. Esta ecuación corresponde a la versión desagregada del modelo multinomial versión bid y corresponde al modelo originalmente propuesto por Ellickson (1981).

Por otra parte, el valor de mercado esperado para un lote i , r_i , es por definición igual al valor esperado de la máxima DP de los potenciales compradores. Este valor constituye el valor de uso del suelo, el que se puede representar tanto por valor de arrendamiento como por el precio de venta del predio; en este trabajo utilizamos el precio del suelo como representante de su valor de uso. Entonces, r_i está dado por:

$$r_i = r_i(\beta, \mu) = E(\max_g DP_{gi}) = \frac{1}{\mu} \ln \sum_{g=1}^H \exp(\mu DP_{gi}) \quad (4)$$

En términos estadísticos, r_i representa el valor inclusivo o EMU del nido de las alternativas de elección, es decir de las ofertas de los compradores entre los cuales el dueño de la tierra debe maximizar su utilidad.

La versión agregada del modelo bid MNL supone que los posibles compradores pueden ser clasificados en grupos homogéneos o categorías. De acuerdo con McFadden (1978) y Lerman y Kern (1983), las ecuaciones (3) y (4) deben ser corregidas por el tamaño de cada categoría de consumidores h , la que denotamos H_h . Luego, el modelo bid agregado queda expresado por:

$$P_{h/i} = P_{h/i}(\beta, \mu) = \frac{H_h \exp(\mu DP_{hi})}{\sum_{g=1}^H H_g \exp(\mu DP_{gi})} \quad (5)$$

ecuación que se puede transformar en:

$$LP_{hi}(\beta, \mu) = \ln\left(\frac{P_{h/i}}{H_h}\right) = \mu DP_{hi} - \ln \sum_{g=1}^H H_g \exp(\mu DP_{gi}) \quad (6)$$

Además, la ecuación de precio del suelo en el caso agregado es:

$$r_i = r_i(\beta, \mu) = \frac{1}{\mu} \ln \sum_{g=1}^H H_g \exp(\mu DP_{gi}) \quad (7)$$

Entonces, el modelo versión bid agregado está descrito por un sistema de $H+1$ ecuaciones simultáneas no-lineales en los parámetros (ecuaciones 5 y 7 o ecuaciones 6 y 7), con H el número de categorías en que está dividido el universo de posibles compradores. Las ecuaciones (5), (6) y (7) son válidas para cada predio o zona (en el caso de agregación espacial). Este sistema es de carácter no-lineal en los parámetros β y μ y su calibración es materia de la exploración de métodos en la siguiente sección.

3. DESCRIPCION DE LOS METODOS DE ESTIMACION

La calibración del modelo consiste en estimar las funciones DP para las distintas categorías de consumidores y el parámetro μ , de acuerdo con las expresiones de localización (6) y de renta del suelo (7) del modelo versión bid agregado. Se exploraron diferentes métodos de regresión asociados a este sistema completo de ecuaciones y a valores observados $P_{h/i}$ y r_i de cada zona.

En principio, el problema también se puede enfrentar a través de una regresión parcial, minimizando los errores cuadráticos sólo de localización e imponer la ecuación (7) como una restricción. Sin embargo, esta opción se descartó en el estudio, pues se traduce en que las ecuaciones de localización tienen menor peso que la ecuación de la renta en la búsqueda de los estimadores de los parámetros, es decir, para lograr que la ecuación (7) se cumpla con igualdad se paga un costo de aceptar mayores errores en la localización.

3.1. Regresión no-lineal (RNL)

Este método consiste en estimar directamente los parámetros del sistema de ecuaciones (6) y (7) con métodos estándar de regresión para sistemas de ecuaciones simultáneas no-lineales (ver Draper, 1981 para modelos no-lineales y Ben-Akiva, 1987 para el caso específico del modelo logit). En este estudio se utilizó el algoritmo de búsqueda de Gauss-Newton del paquete computacional SAS.

3.2 Regresión no-lineal alternativa (RNLA)

Al reemplazar la ecuación (7) en la ecuación (6) se obtiene:

$$LP_h(\beta, \mu) = \ln\left(\frac{P_{h/i}}{H_h}\right) = \mu DP_{hi} - \mu r_i \quad (8)$$

que representa un sistema de ecuaciones dependientes, pues comparten el mismo parámetro μ en todas las categorías.

Dado que el sistema de ecuaciones (6) y (7) es equivalente al sistema de ecuaciones (8) y (7), el método referido en esta sección consiste en la estimación de este último sistema de ecuaciones según los métodos estándar mencionados anteriormente.

3.3 Regresión lineal en 2 etapas (RL2E)

Este método es una modificación del anterior que estima el modelo utilizando sólo regresiones lineales, pero en dos etapas secuenciales e iterativas. Esto se logra estimando el sistema lineal de localización dado por (8) en la primera etapa. Luego, con los parámetros μ y β obtenidos, se calculan los valores estimados de disponibilidad a pagar μDP_{hi} los que luego se reemplazan en la sumatoria de la ecuación de renta (7). Con ello se obtiene

el valor estimado de la sumatoria cuyo logaritmo natural llamamos "lsum". Así, la ecuación (7) se reduce a la forma lineal siguiente:

$$r_i(\mu) = \frac{1}{\mu} * lsum_i \quad (9)$$

donde la renta queda como una función lineal del parámetro μ . A propósito se acepta que la ecuación (9) tenga dos valores de μ , uno usado en el cálculo de DP para determinar el valor de lsum y otro desconocido. En la segunda etapa, se estima el parámetro μ por regresión lineal simple de la ecuación (9). El sistema itera entre las dos etapas hasta alcanzar un cierto criterio de convergencia. El criterio utilizado en este estudio es el de mínimo error cuadrático global de todas las ecuaciones de localización y renta.

3.4 Opciones de especificación

i) En todas las ecuaciones del sistema de localización y precio del suelo, el parámetro β siempre aparece multiplicado por μ , por lo cual el modelo es del tipo:

$$y_i = f_i(\mu\beta, \mu) + e_i \quad \mu \in R, \beta \in R^k, i=1, \dots, N*(H+1) \quad (10)$$

donde f_i es una función no-lineal dada por las ecuaciones de localización y renta y N es el número de lotes de tierra. Esta expresión sugiere realizar un cambio de variables sobre el modelo anterior, que conduce a la siguiente versión del modelo:

$$y_i = f_i(\gamma, \mu) + e_i \quad \mu \in R, \gamma \in R^k, i=1, \dots, N*(H+1) \quad (11)$$

Es posible demostrar analíticamente que los estimadores mínimo-cuadráticos (MICO) de esta nueva versión del modelo, $\hat{\mu}^{(2)}$ y $\hat{\gamma}$ coinciden con $\hat{\mu}^{(1)}$ y $\hat{\mu}^{(1)}\hat{\beta}$ respectivamente, donde $\hat{\mu}^{(1)}$ y $\hat{\beta}$ son los estimadores MICO del sistema de ecuaciones (10). Este resultado permite estimar β a partir de $\hat{\gamma}$ y $\hat{\mu}^{(2)}$ según $\hat{\beta} = \hat{\gamma} / \hat{\mu}^{(2)}$.

Sin embargo, las estimaciones provenientes de los métodos RNL y RNLA especificados bajo la opción dada por la ecuación (11), que se denominarán implícitos, podrían no coincidir con los de la versión explícita equivalente, aún cuando las soluciones analíticas si lo hacen. Esta situación es factible debido a que los estimadores MICO de un sistema de ecuaciones no-lineales son obtenidos por métodos de aproximación sucesiva.

ii) Otra opción es suponer que la renta no sigue la regla del mejor postor en forma adecuada y por lo tanto se estiman los parámetros de disponibilidad a pagar atendiendo solamente a las ecuaciones de localización. En tal caso, una vez determinadas las funciones de disponibilidad a pagar se puede proceder a estimar un modelo de la renta particular. Notar sin embargo, que para la estimación de la ecuación (6) sólo es aplicable el método RNL implícito.

4. RESULTADOS DE LA ESTIMACION DEL MODELO

En esta sección se presenta un análisis comparativo empírico entre los métodos de estimación antes formulados y que se consignan en el Cuadro Nº 1:

CUADRO Nº 1 : METODOS DE ESTIMACION

Explicito	Implícito		
RNL-e	RNL-i	RNLA-i	RL2E-i

El estudio empírico consiste en un análisis de la calidad del ajuste obtenido por los diferentes métodos para una base de datos real y otra simulada, más un análisis de las estimaciones de los parámetros más importantes correspondientes a la base real.

La base de datos reales corresponde a una base de datos de 1986 generada a partir del modelo de transporte de Santiago ESTRAUS y usada por Martínez (1991). La base contiene las 128 zonas ESTRAUS donde se disponía la siguiente información:

- Número de hogares y firmas por categoría y por zona. Las categorías de hogares se generan de acuerdo al nivel de ingreso y disponibilidad de vehículo en el hogar, mientras que las categorías de firmas se dividen en: comercio, oficina, educación e industria; en total son 17 categorías.
- Precio promedio de uso de suelo por zona (en UF/m²).
- Atributos de localización entre los que destacan atraktividad, accesibilidad, según la definición de Martínez (1992b), y de nivel socioeconómico de los residentes.

La base simulada corresponde a la base de datos reales, excepto por la localización espacial de hogares y firmas. En ese caso las probabilidades de localización son generadas utilizando la ecuación (5) y un conjunto dado de valores de los parámetros μ y β . Las variables $P_{h/i}$ finalmente ingresadas a la base simulada consisten en los valores preliminares, $P_{h/i}^0$, más una perturbación aleatoria no superior al 10% de éstas. Es decir,

$$P_{h/i} = P_{h/i}^0 + (0.1 * P_{h/i}^0) * U \quad (12)$$

donde U es una variable aleatoria uniforme entre -1 y 1.

4.1. Análisis de la calidad del ajuste.

4.1.1. Suma de los cuadrados de los residuos (SCR)

Dado que todos los métodos considerados usan como criterio de estimación el de mínimos cuadrados, se calcularon las SCR de cada método, correspondientes al sistema de ecuaciones de localización (6) y de precio de suelo (7). Los resultados obtenidos para las bases real y simulada se presentan en el Cuadro Nº 2 :

CUADRO Nº 2 : SCR POR METODO DE ESTIMACION Y TIPO DE BASE DE DATOS

BASE DE DATOS	METODO DE ESTIMACION			
	RNL-e	RNL-i	RNLA-i	RL2E-i
Real	1188,8	321,1	242,0	387,4
Simulada	75,9	42,8	76,4	59,4

Se aprecia que, en ambas base de datos, el método explícito RNL-e entregó unas SCR sustancialmente mayores que las del método implícito RNL-i, aún cuando las soluciones analíticas de ambos métodos son iguales (observar que ambos métodos estiman una misma especificación funcional). Esto se explicaría porque los estimadores MICO verifican ecuaciones no lineales más complejas al aplicarse el método RNL-e que el método RNL-i, lo cual afecta la resolución numérica de tales ecuaciones. Esta escasa evidencia empírica más la evidencia de variadas corridas no consignadas aquí, sugiere que, en general, el método implícito es superior al explícito y por lo tanto, en lo que sigue sólo se analizarán los métodos implícitos.

Se observará que el método implícito RL2E-i entrega un ajuste peor que los otros dos métodos implícitos para la base real, sin embargo en el caso de la base simulada su calidad de ajuste sólo es superada por el método implícito RNL-i. Esta inestabilidad del método se explica por la naturaleza del mismo, que busca aquellos estimadores MICO que, de entre una sucesión finita de estimadores MICO obtenidos de ecuaciones lineales (que son aproximaciones de las ecuaciones no-lineales originales), arrojen la menor SCR.

Finalmente, en el Cuadro Nº 2 se aprecia que la evidencia empírica descarta la posibilidad que alguno de los dos métodos implícitos restantes, RNL-i y RNLA-i, sea sistemáticamente superior al otro.

4.1.2. Reproducción de parámetros simulados.

Se realizó un análisis de la capacidad demostrada por los diferentes métodos para reproducir ciertos parámetros, que son generados por la base de datos simulada. Se previene al lector que no se espera que los métodos reproduzcan exactamente a los parámetros dados, pues, como se explicó anteriormente, se introdujo una pequeña perturbación aleatoria a los datos simulados. En el Cuadro Nº 3 se presentan las estimaciones de los parámetros asociados al atributo accesibilidad (β_{acc}), en el caso de categorías residenciales y aquellas asociadas a la atractividad (β_{atr}) para las restantes categorías. Además, se incluye la estimación del factor de escala μ . A pesar de que el modelo estima 91 parámetros, los presentados en ese cuadro son los de mayor interés para el modelo BID-CHOICE, razón por la cual interesa controlar la capacidad de cada método para replicarlos.

CUADRO Nº 3 : REPRODUCCION DE PARAMETROS SIMULADOS
SEGUN METODOS DE ESTIMACION

CATEGORIA		PARAMETRO		ESTIMACION		
		TIPO	VALOR	RNL-i	RNLA-i	RL2E-i
RESI	1	$\mu\beta_{acc}$	3.57	3.06	3.86	3.02
	2		2.57	1.87	2.80	* 1.61
	3		1.46	0.89	1.54	* 0.99
	4		0.88	0.48	0.95	* 0.51
	5		1.79	1.74	1.92	1.87
	6		0.68	0.60	0.73	0.70
	7		0.23	0.17	0.25	0.22
	8		1.98	1.98	2.13	2.15
	9		0.06	*-0.01	0.06	0.02
	10		0.42	0.40	0.45	0.50
	11		0.40	-0.53	0.22	* 0.12
	12		0.09	0.08	0.11	* 0.19
	13		0.01	* 0.02	* 0.01	* -0.05
FIRM	COM	$\mu\beta_{atr}$	1E-04	1E-04	1E-04	2E-04
	OFI		7E-05	7E-05	7E-05	4E-04
	EDU		8E-05	8E-05	8E-05	4E-04
	IND		2E-04	2E-04	2E-04	3E-04
		μ	0.80	0.802	0.802	0.699

NOTAS : (*) indica que la estimación no es significativa estadísticamente al 95% de confianza.

Bajo la columna "valor" aparecen los valores del parámetro utilizado para generar la base simulada.

Los métodos RNL-i y RNLA-i reproducen bastante bien los parámetros, siendo, en general, superior el método RNLA-i porque sus estimaciones son más exactas (reproduciendo además los signos) y todas ellas significativas. Por otra parte, las estimaciones producidas por el método RL2E-i, en general, están más

alejadas de los valores reales que las estimaciones de los otros dos métodos y son menos significativas estadísticamente. Estos resultados no contradicen los valores del Cuadro Nº 1, pues el Cuadro Nº 3 está referido sólo a algunos parámetros del modelo.

4.2. Análisis de las estimaciones obtenidas a partir de la base real.

Se realizó también un análisis de las estimaciones producidas por los diferentes métodos, pero ahora a partir de la base de datos reales. Además, pareció oportuno analizar el rol que juega en los resultados, la ecuación de precio del suelo sobre el conjunto de ecuaciones, para lo cual se estimaron también, los parámetros asociados sólo a las ecuaciones de localización. En esta última situación es factible estimar los parámetros combinados $\mu\beta$, pero no μ y β por separado, por lo tanto el resultado del análisis comparativo entre todos los modelos, que aparece en el Cuadro Nº4, se refiere en todos los casos a los parámetros $\mu\beta$.

CUADRO Nº4 : ESTIMACION DE PARAMETROS CORRESPONDIENTES A LA BASE DE DATOS REALES SEGUN METODO DE ESTIMACION

CATEGORIA		PARAM	ESTIMACION			
			SOLO LOCALIZ.	MODELO COMPLETO		
				RNL-i	RNL-i	RL2E-i
RESI	1	$\mu\beta_{acc}$	3.23	7.56	8.20	5.25
	2	"	* 3.09	4.74	4.56	6.38
	3	"	-1.53	* -0.22	* -0.33	* -0.52
	4	"	-1.87	* -1.20	* -1.47	* -0.81
	5	"	* 0.86	1.23	1.11	1.15
	6	"	0.49	0.39	* 0.24	0.63
	7	"	0.27	0.34	* 0.26	0.38
	8	"	1.63	2.01	2.01	2.04
	9	"	0.89	1.71	1.50	0.95
	10	"	0.52	0.63	0.58	0.65
	11	"	* -0.25	* -0.01	* -0.05	* 0.13
	12	"	* -0.11	* -0.45	* -0.49	* -0.16
	13	"	* -0.15	-0.47	-0.53	* -0.19
FIRM	COM	$\mu\beta_{atr}$	-1.94E-05	2.8E-05	2.6E-05	*1.3E-05
	OFI	"	1.33E-05	4.2E-05	4E-05	3.7E-05
	EDU	"	1.72E-05	2.6E-05	1.9E-05	3E-05
	IND	"	1.2E-05	*-4E-07	-9E-06	1.9E-05
		μ	—	0.11	0.09	0.13

NOTA : (*) indica que la estimación no es significativa estadísticamente al 95% de confianza.

Al observar las dos primeras columnas de estimación se aprecia que, en esta base de datos, la introducción de la ecuación de precio del suelo significó un aumento en las estimaciones de los parámetros $\mu\beta_{acc}$ para las categorías residenciales, salvo en las categorías 6, 12 y 13. Por lo tanto, si la especificación de las funciones DP_h fuese la correcta y la renta siguiera la regla del mejor postor, en esta base de datos el modelo sólo localización implica una subestimación del peso del atributo de accesibilidad en la determinación de la disponibilidad a pagar residencial.

Nuevamente se obtuvieron estimaciones muy parecidas entre los métodos RNL-i y RNLA-i, tanto en el nivel, signo y estructura relativa de los valores para las diferentes categorías, como en la significancia estadística de éstos. Los parámetros de accesibilidad asociados a las estimaciones con signo negativo se consideran estadísticamente insignificantes al 95% de confianza, salvo para el parámetro correspondiente a la categoría más alta de ingreso y tasa de motorización (categoría 13). Dado que esta característica se repite en los restantes métodos, ella puede interpretarse más bien como una debilidad de la especificación funcional de la DP_h o de los datos, que una debilidad de los métodos de estimación.

A pesar que en el método RL2E-i la estructura relativa de valores entre las categorías y los signos de éstos son parecidos a los dos métodos anteriores, los niveles son distintos y la variabilidad de éstos, entre las diferentes categorías, son mayores. Esta situación podría justificarse en parte por el peor ajuste global obtenido por este método (ver Cuadro N°2).

5. CONCLUSIONES

El artículo presenta varios métodos alternativos de estimación por mínimos cuadrados del modelo integrado de localización y precio de suelo Bid-Choice, representado por el sistema de ecuaciones no-lineales (6) y (7).

Además del método de estimación directa del sistema de ecuaciones (método RNL-e) se formula un conjunto de métodos denominados implícitos que están basados en un cambio de las variables (μ, β) , el que permite simplificar la estructura del sistema no-lineal. La estimación del sistema de ecuaciones en las nuevas variables dio lugar al método RNL-i, que es interesante de analizar empíricamente porque su solución analítica es idéntica a la del método RNL-e, pero a través de la verificación de ecuaciones menos complejas que las de este último caso. También se formuló una variante del método implícito, método RNLA-i, basado en la equivalencia entre la ecuación del precio del suelo (ecuación 7) y un término de la ecuación de localización. Este nuevo sistema es atractivo de estimar debido a que las ecuaciones de localización (8) son lineales en los parámetros, lo que se traduce en una simplificación en la estimación. Finalmente se presentó un método aproximado de solución del sistema implícito de ecuaciones (8) y (7), denominado RL2E-i, que consiste en la estimación iterativa de aproximaciones lineales de estas ecuaciones.

El análisis empírico de estos métodos sobre dos bases de datos, una real y otra simulada, arrojó las siguientes conclusiones:

- El método implícito RNL-i entregó un ajuste sustancialmente mejor que el método explícito RNL-e para estas bases, lo que sugeriría que, en general, la solución empírica estándar del método RNL-i es superior a la del método RNL-e, a pesar que tienen idénticas soluciones analíticas.
- El método implícito aproximado RL2E-i evidenció un comportamiento inestable, entregando, en general, estimaciones menos exactas y confiables estadísticamente que alguno de los otros dos métodos implícitos. Este resultado indica que a pesar de la simplicidad de este método su estructura secuencial perjudica la calidad de los estimadores.
- Los métodos implícitos RNL-i y RNLA-i entregaron los mejores resultados, que fueron muy similares, descartándose la posibilidad que alguno de los métodos sea sistemáticamente superior al otro. Por lo tanto, se requeriría experimentación y/o desarrollo analítico adicional para establecer condiciones que aconsejen preferir un método frente al otro.
- Otro resultado proviene de la formulación del problema a resolver, donde se ha llegado a una forma en la que el precio de la tierra, que inicialmente fue tratado como una restricción, participa en forma menos restrictiva como una ecuación más del sistema de ecuaciones.

Queda abierta la posibilidad de desarrollar métodos de estimación del modelo utilizando estimadores máximo verosímiles. Ciertamente es una extensión futura interesante en esta investigación, no obstante los métodos presentados despejan la duda respecto de la factibilidad de estimar el modelo debido a la complejidad del sistema no-lineal de ecuaciones.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) y el Departamento Técnico de Investigación de Universidad de Chile (DTI).

REFERENCIAS

- Alonso, W. (1964). Location and Land Use. Harvard University Press, Cambridge.
- Anas, A. (1982). Residential Location Markets and Urban Transportation. Academic Press, Londres.
- Ben-Akiva, M. y Lerman, S.R. (1987). Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand. The MIT Press, Cambridge.
- Domencich, T., y McFadden, D. (1975). Urban Travel Demand-A Behavioral Analysis. North Holland, Amsterdam.
- Draper, N.R. (1981). Applied Regression Analysis. Ed. John Wiley & Sons.
- Ellickson, B. (1981). An Alternative Test of the Hedonic Theory of Housing Markets. Journal of Urban Economics, 9, 56-79. Hensher, D., y Johnson, L. W. (1981). Applied Discrete Choice Modelling. Croom Helm, Londres.
- Lancaster, K.J. (1966). A New Approach to Consumer's Theory, Journal of Political Economy, vol 74, 135-157.

Lerman, S. R. y Kern, C. R. (1983). Hedonic Theory, Bid Rents, and Willingness-to Pay: Some Extensions of Ellickson's Results. Journal of Urban Economics 13, 358-363.

Martínez, F.J. (1991). Transporte y su Interacción con el Suelo Urbano: Un Modelo para Santiago, Actas del V Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, pp. 273-291, Santiago.

Martínez, F. J. (1992a). The Bid-Choice Land Use Model: An Integrated Economic Framework. Environment and Planning A, vol. 24-6, 871-885.

Martínez, F.J. (1992b). "Medidas de Accesibilidad para Planificación Urbana", Actas VII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte, Caracas (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, 82, 34-35.