

---

## EL MODELO DE USO DE SUELO DE SANTIAGO II: LA APLICACION

**Francisco J. Martínez y Pedro Donoso**

Universidad de Chile  
Casilla 228-3, Santiago, Chile  
Fono 6894206 Fax 6784373

### RESUMEN

En este artículo se expone la aplicación del marco teórico desarrollado en el trabajo, también presentado a este Congreso, "El Modelo de Uso de Suelo de Santiago (MUSSA): La Teoría".

En la primera parte, se presenta el desarrollo del modelo de demanda que permite caracterizar las decisiones individuales de localización de los hogares y firmas ante la oferta también desagregada de lotes de terreno y viviendas. Se formularon y calibraron modelos de demanda residencial y no residencial del tipo Logit Multinomial y un modelo hedónico de la renta residencial, los cuales usan especificaciones no lineales en los parámetros de las disposiciones a pagar. Estas especificaciones son muy flexibles y permiten recoger el efecto de que la valoración de atributos de la vivienda-terreno y del entorno de ésta, varían de acuerdo a características del hogar o firma.

Los modelos anteriores fueron calibrados con información desagregada proveniente fundamentalmente de la Encuesta Origen-Destino de Viajes del Gran Santiago de 1991 y del Catastro de Bienes Raíces de 1992 del Servicio de Impuestos Internos. Los resultados obtenidos evidencian una gran capacidad explicativa y de ajuste de los modelos de localización y renta residencial, obteniéndose un resultado más modesto en el caso del modelo no residencial, debido a la menor cantidad de información disponible.

En la segunda parte de este artículo, se expone la estructura del modelo de predicción que está basado en la idea que las "fuerzas" del mercado de localización presionan al sistema hacia un equilibrio de la oferta con la demanda. En esta parte se describen los tres tipos de actualización de las variables explicativas que MUSSA utiliza: vía interacción con el modelo de transporte ESTRASUS, vía actualización endógena a MUSSA y vía proyección exógena a MUSSA de las distribuciones poblacionales de los hogares y firmas. Además, se explica la forma en que un modelo tendencial de la oferta residencial participa en el modelo de predicción, caracterizando a éste como un modelo estático-dinámico de equilibrio.



## 1. INTRODUCCION

El modelo de uso de suelo para la ciudad de Santiago, **MUSSA**, se presenta en este Congreso en dos trabajos (I y II). El primero describe la teoría que sustenta al modelo, mientras que este segundo trabajo aplica tal teoría al estudio de Santiago, en un contexto operativo.

Existen varias experiencias previas sobre modelos de uso del suelo (vea Wegener, 1992). Algunos modelos operacionales recientes, incluido **MUSSA**, están basados en estructuras similares a la **BID-CHOICE** (elección-postura), puesto que todos comparten la maximización de la utilidad y el paradigma postura-remate (Hayashi y Doi, 1989 y Miyamoto, 1993), aunque hay algunas diferencias entre estos modelos, especialmente en la implementación operacional.

Las principales características del **MUSSA** son: el tratamiento desagregado tanto de la población y las firmas, como de los lotes de terreno y vivienda, la modelación de las preferencias de los consumidores de suelo por medio de atributos de vivienda (incluyendo casas y departamentos) y del entorno de ésta, el rol de un modelo dinámico de oferta residencial combinado con un modelo estático de localización, la interacción con el modelo **ESTRAUS**, un modelo de equilibrio simultáneo estático de cuatro etapas del sistema de transporte de Santiago, y el algoritmo de predicción que está basado en el equilibrio oferta-demanda y que es alimentado por predicciones exógenas a **MUSSA** de los totales de localizadores, tanto población como actividades económicas.

En este trabajo se expone el desafío de implementar el modelo **MUSSA** con las características antes expuestas, de modo que fuera operacional en un computador personal con un consumo de tiempo razonable.

## 2. EL MODELO DE DEMANDA

En teoría todos los hogares y firmas son competidores en el mercado de las tierras de todas las viviendas y terrenos existentes. Sin embargo, existe evidencia empírica de que el mercado de las tierras de Santiago está fuertemente segmentado por uso debido a regulaciones legales existentes que protegen la calidad medio ambiental de los residentes y que lleva, por ejemplo, a que en una misma zona los arriendos comerciales pueden ser tres veces mayores que los residenciales para departamentos similares con el mismo tipo de construcción.

Este argumento nos lleva a especificar una estructura para el modelo de ubicación que separa a los hogares y a las firmas. Esta estructura consta de dos modelos de ubicación: un modelo para residencias, donde sólo compiten hogares, y un modelo para viviendas no residenciales cuyos únicos competidores son firmas.

Una razón adicional para adoptar esta segmentación se radica en el hecho de que se dispone información considerablemente más detallada y completa sobre la localización y características de los hogares que de las firmas y que además, los primeros tanto en número como en superficie ocupada superan ampliamente a las segundas (el área residencial representa alrededor del 90%), de forma que considerar un mercado residencial y no residencial integrado podría distorsionar o reducir





la calidad del modelo más importante que es el residencial, limitándose, además, la flexibilidad de los modelos planteados, ya que, según se discutirá más adelante, los métodos de calibración son complejos siendo éstos muy sensibles a la cantidad de parámetros que estiman.

## 2.1 ESTRUCTURA DE LOS MODELOS DE LOCALIZACION Y RENTA

Se asume que la parte determinística de la postura de un hogar  $h$  y de una firma  $f$  son de la forma siguiente :

$$\begin{aligned} \text{BID}_{hvi} &\equiv \text{WP}_{hvi} - w_h = \text{BID}_{vi}(\beta_1) + \text{BID}_{hvi}(\beta_2) && \text{si } v \text{ es residencia} \\ \text{BID}_{fvi} &\equiv \text{WP}_{fvi} - w_f = \text{BID}_{vi}(\alpha_1) + \text{BID}_{fvi}(\alpha_2) && \text{si } v \text{ no es residencia} \end{aligned} \quad (1)$$

es decir, se supone la existencia de una parte propia de cada vivienda en la postura (vivienda es un término genérico también empleado en el caso de firmas).

Los modelos de demanda por localización y de renta residencial y no residencial se especifican usando el enfoque de la máxima postura (bid) y asumiendo una estructura logit multinomial. Los modelos resultantes son:

### Modelo residencial

$$P_{h/vi} = \frac{f_h \phi_{hvi} \exp(\mu \text{BID}_{hvi}(\beta_2))}{\sum_{h' \in H} f_{h'} \phi_{h'vi} \exp(\mu \text{BID}_{h'vi}(\beta_2))} \quad (2a)$$

$$r_{vi} = \frac{1}{\mu} \ln \left( \sum_{h \in H} f_h \phi_{hvi} \exp(\mu \text{BID}_{hvi}(\beta_2)) \right) + \text{BID}_{vi}(\beta_1) + \frac{\gamma}{\mu} \quad (2b)$$

### Modelo no residencial

$$P_{f/vi} = \frac{f_f \exp(\rho \text{BID}_{fvi}(\alpha_2))}{\sum_{f'} f_{f'} \exp(\rho \text{BID}_{f'vi}(\alpha_2))} \quad (2c)$$

Los factores  $f_h$  y  $f_f$  representan el número de hogares y firmas del universo que son representados por el hogar  $h$  y la firma  $f$ , respectivamente. El valor  $\phi_{hvi}$  corresponde a la probabilidad de que el hogar  $h$  haga posturas en el remate  $(v,i)$ . En la ecuación (2b) de la renta residencial se observa el rol del término propio de cada vivienda ( $\text{BID}_{vi}$ ) en la ecuación (1) que no es posible calibrar a partir de la ecuación de localización (2a), porque allí se desvanece. No se ha formulado el modelo correspondiente de renta no residencial, porque no se dispuso de información de rentas observadas que permitiera la calibración de los parámetros  $\alpha_1$  de la ecuación (1).



## 2.2 FORMA FUNCIONAL DE LA POSTURA

Una importante característica de **MUSSA** es que mantiene una descripción altamente desagregada de la conducta de los hogares y firmas permitiendo recoger en la calibración la gran variabilidad observada en sus elecciones de viviendas.

En el modelo residencial, las componentes  $BID(\beta_1)$  y  $BID(\beta_2)$  de la postura se especificaron de la siguiente forma:

$$BID_{vi}(\beta_1) = \beta_{10} + \sum_p \beta_{1p} X_{vip} \quad (3)$$

$$BID_{hvi}(\beta_2) = y_h + \beta_{2h0} + \sum_j \beta_{2hj} X_{hvi}^{\theta_{nj}} \quad (4a)$$

$$\beta_{2hj} = \sum_l b_{njl} X_{hl}^{\lambda_{njl}} \quad \forall j \quad (4b)$$

donde  $\beta_1$  son parámetros globales de valorización de los atributos  $X_{vi}$  de las viviendas-zonas residenciales;  $y_h$  es el ingreso del hogar;  $\beta_{2h}$  son los parámetros específicos del hogar  $h$ ;  $X_{hvi}$  son atributos de la vivienda, o de la zona, o de la vivienda asociado al hogar como la accesibilidad, o los años de permanencia en esa ubicación,  $X_{hl}$  son atributos que describen al hogar, según su ciclo de vida, excepto el ingreso  $y_h$ ;  $\theta$  y  $\lambda$  son otros parámetros de tipo exponencial en esta especificación. El subíndice  $n$  indica la categoría de ingreso (existen 5) a la que pertenece el hogar  $h$ .

Observar que aún cuando los parámetros de valoración de los atributos de la vivienda-zona,  $\beta_2$ , son diferentes para cada hogar, éstos dependen de un conjunto reducido de parámetros (ecuación 4b) diferenciados por categoría de ingreso ( $a_{nj}$ ,  $b_{njl}$ ,  $\lambda_{njl}$ ). Por otra parte, el valor del nivel de utilidad máximo alcanzable por consumidor  $h$ ,  $U_h^*$ , se encuentra implícito en estos parámetros.

El efecto del ingreso se trata explícitamente en el modelo, no ignorándolo como es costumbre. Este efecto es muy importante porque los arriendos representan una proporción significativa del ingreso total y, además, implican una reducción permanente y a largo plazo del ingreso disponible una vez que se elige la ubicación. A pesar de que la teoría impone ningún parámetro para la variable ingreso, la habitual sub y sobre estimación en su reporte aconseja más bien asignarle un parámetro de corrección y por lo tanto tratarla como un atributo  $X_{hvi}$  más dentro de la especificación.

La accesibilidad es un atributo especial porque es una medida que combina el hogar y su ubicación en forma simultánea. En efecto, según Martínez (1995), ésta se define como el beneficio de los consumidores obtenido de las actividades visitadas menos el costo de transporte. Esta medida económica agrega los beneficios obtenidos por cada miembro del hogar y considera las propias probabilidades de destino y elección de transporte de éstos y la ubicación del hogar. Una derivación formal del rol natural del acceso en la WP y de las funciones de utilidad en las elecciones de ubicación se presenta en Jara, et. al. (1994), donde se deriva un enfoque microeconómico sujeto a restricciones de ingreso y tiempo más la descripción explícita de la distribución espacial de otros consumidores (efectos externos en la localización).



En el modelo no residencial, la componente  $BID_{fvi}(\alpha_2)$  de la función BID de las firmas está especificada de la forma siguiente:

$$BID_{fvi}(\alpha_2) = \alpha_{2fvi0} + \sum_j \alpha_{2fvij} Z_{vij}^{\theta_{mj}} \quad (5a)$$

$$\alpha_{2fvij} = \sum_l d_{mjl} Z_{vil}^{\lambda_{mj}} \quad \forall j \quad (5b)$$

donde el subíndice m denota el tipo de actividad económica de la firma respectiva. Las actividades económicas consideradas son: Comercio, Servicios, Industria, Educación y Otros. Esta especificación tiene una estructura funcional similar a la del modelo residencial, pero sólo a partir de atributos de la vivienda y zona, ya que no se dispuso de atributos por firma; en particular, se supone que el ingreso de una firma puede ser aproximado gruesamente por atributos de la vivienda y zona ( $Z_{vi}$ ).

## 2.3 METODO DE CALIBRACIÓN

La estrategia de calibración de los modelos residencial y no residencial consiste en estimar primero los parámetros del modelo de localización (Etapa N°1) y después calibrar los restantes parámetros de la postura BID a partir de la ecuación de la renta (Etapa N°2). Obviamente en el caso del modelo no residencial no existe esta última etapa.

La Etapa N°1 consiste en encontrar los estimadores máximo-verosímiles de los parámetros  $\Delta_1$  y  $\Delta_2$ , como solución del siguiente problema de optimización:

$$MAX_{\Delta_1, \Delta_2} \sum_v \ln \{ P_{l/vi}(\Delta_1, \Delta_2 / T) \} \quad (6)$$

donde l es el localizador ubicado en v. En el modelo residencial  $\Delta_1 = (\mu * b_{njl})$ ,  $\Delta_2 = (\theta_{nj}, \lambda_{njl})$ ,  $l = h$  y  $T = X$ , mientras que en el modelo no residencial  $\Delta_1 = (\rho * d_{mjl})$ ,  $\Delta_2 = (\theta_{mj}, \lambda_{mjl})$ ,  $l = f$  y  $T = Z$ . En esta formulación se aprecia que los factores de escala ( $\mu$  y  $\rho$ ) y los parámetros lineales de la postura ( $b$  y  $d$ ) no se pueden estimar separadamente en los modelos de localización.

En el modelo residencial, una vez conocidos los estimadores de  $\Delta_1$  y  $\Delta_2$ , es posible acceder a la Etapa N°2. En esta etapa se estiman los parámetros  $\beta_1$  por el criterio de mínimos cuadrados aplicado a la ecuación de la renta residencial. Estos estimadores son solución del siguiente problema:

$$MIN_{\mu, \beta_1} \sum_v \left[ r_v - \left[ \frac{1}{\mu} w_v + \frac{\gamma}{\mu} + BID_v(\beta_1) \right] \right]^2 \quad (7)$$

donde  $w_v = w_v(\Delta_1, \Delta_2) = \ln \sum_g f_g \Phi_{gvi} \exp(\mu BID_{gvi}(\beta_2))$  es conocido  $\forall v$  de la Etapa N°1.

Es importante mencionar que las muestras de viviendas empleadas en la calibración de ambas etapas son diferentes. En la primera, se considera una muestra de viviendas arrendadas y no arrendadas dado que el problema tratado es de localización, mientras que en la segunda etapa, se utilizan observaciones sólo de viviendas arrendadas dado que se aborda el tema de la renta.



## 2.4 DESCRIPCION DE LA BASE DE CALIBRACION Y CARACTERISTICAS DE LA MODELACION

La fuente de información de hogares y viviendas residenciales corresponde a un subconjunto validado de 8000 hogares y viviendas perteneciente a la Encuesta Origen-Destino de Viajes del Gran Santiago de 1991, EOD91, (ésta contiene 31267 registros que corresponde a un 3% de hogares del universo). Esta fuente aportó información relativa a: características del tamaño y composición del hogar, sus elecciones de transporte, su ubicación residencial, atributos de la vivienda habitada, como por ejemplo si es casa o departamento, y su área construida; además incluye condición de tenencia de la propiedad (arrendada o propia) y su arriendo o dividendo.

Los datos de las firmas y viviendas no residenciales se obtuvieron de una segunda fuente, el Catastro de Bienes Raíces de Santiago elaborado por el Servicio de Impuestos Internos (SII). Se recolectó información desagregada de 745 viviendas ocupadas por firmas, que incluye los tamaños del terreno y de la construcción. Las muestras de 8000 hogares y 745 firmas preservan la proporción existente en el universo.

Adicionalmente se construyó una base de datos a nivel zonal, que aportó información a los modelos residencial y no residencial y que contiene atributos que describen el uso del suelo de cada una de las 264 zonas ESTRAUS que particionan la ciudad de Santiago. Esta base fue generada a partir del Catastro de SII y fue complementada con datos externos sobre el medio ambiente y los precios de terreno. Esta base incluye variables endógenas al proceso de localización, como por ejemplo, ingreso residencial promedio zonal y aglomeración de actividades no residenciales.

Las medidas de accesibilidad se obtienen a partir de los factores de balance del modelo de distribución de viajes de ESTRAUS, según Martínez (1995). Los parámetros de la accesibilidad ( $\beta_2$  y  $\theta$ ) en la postura BID de hogares podrían teóricamente tener un valor diferente a uno si la *acc* estimada (que tiene unidades de ingreso) no representara la valoración de los beneficios percibidos por los localizadores de visitar otras actividades en la ciudad (descontado el costo de transporte). Por lo tanto, el valor de estos parámetros determinan una prueba para validar con qué exactitud la estimación de *acc* mide tales beneficios.

En el caso de las firmas, la medida de acceso es la atraktividad (*att*), la que se define como *el beneficio que se obtiene al ser visitado*. Esta medida no se puede obtener directamente del sistema de transporte, sólo se puede calcular aproximadamente por las salidas de ESTRAUS de los beneficios del transporte en la zona de destino. En MUSSA, la atraktividad fue reemplazada por una variable sustituta a nivel zonal, viajes totales que llegan a la zona, debido a la forma especial del modelo de distribución de viajes de ESTRAUS. Este sustituto es sólo una concesión limitada en la calidad del modelo porque, como lo analizó Martínez (1995), las verdaderas medidas económicas de atraktividad obtenidas en el mercado del transporte son sólo aproximaciones del beneficio real del localizador.

Las bases de datos que contienen información sobre las medidas de accesibilidad por hogar y vivienda y atraktividad por propósito y zona forman bases de información que se suman a las tres anteriores.





Las observaciones utilizadas en la Etapa N°1 de la calibración corresponden a muestras aleatorias extraídas de las bases de 8000 hogares y de 745 firmas. Para los modelos residencial y no residencial se seleccionaron 522 y 56 viviendas, respectivamente. Por otra parte, se usaron las 989 observaciones de viviendas arrendadas contenidas en la base de 8000 hogares para realizar la Etapa N°2.

Para cada una de las viviendas anteriores, el grupo potencial de postores (choice-set, al tratarse del modelo BID), corresponde a todos los hogares y firmas en la ciudad, según se trate del modelo residencial o no residencial, respectivamente. Debido a que la representación de un gran número de postores es computacionalmente compleja, llegando incluso a ser intratable, se decidió muestrear adecuadamente las alternativas de elección (postores) ya que un conjunto pequeño de éstas permiten calibrar adecuadamente los parámetros; este método se basa en el trabajo de McFadden (1978). En consecuencia, se eligió un conjunto reducido de postores diferente para cada vivienda, esto último para evitar potenciales fuentes de sesgo debido a una selección limitada. Cada una de las viviendas del modelo residencial tiene 40 hogares postores elegidos aleatoriamente dentro de cada uno de los 5 niveles de ingreso establecidos por el modelo ESTRAUS (8 en cada nivel); por otra parte, cada una de las viviendas no residenciales enfrenta 5 firmas como postores, una de cada tipo de actividad económica antes definido y también elegidas al azar.

La probabilidad de que un hogar "aparezca en el remate" de la vivienda  $v$ , denotada como  $\phi_{hvi}$ , se calcula para el año observado como un elemento endógeno al proceso de localización y corresponde a la proporción de los hogares del grupo de ingreso  $n$ , al que pertenece el hogar  $h$ , que está localizado en la comuna que contiene a la vivienda  $v$ .

## 2.5 RESULTADOS DE LA CALIBRACION

Los parámetros del modelo MUSSA fueron estimados utilizando el paquete computacional GAUSS en su versión para computador personal, que permitió encontrar los estimadores máximo-verosímiles de la Etapa N°1 de la calibración y los estimadores mínimo-cuadráticos de la Etapa N°2.

### 2.5.1 Modelo residencial

Para la calibración de los parámetros de la Etapa N°1 se consideraron numerosas formas funcionales, obteniéndose la siguiente calibración final :

$$BID_{hvi} = b_{n0} NPER_h^{\lambda_{n0}} + c_n y_h + b_{nACC} NPER_h^{\lambda_{nACC}} ACC_{hvi}^{\theta_{nACC}} D_{hvi} + \sum_j b_{nj} NPER_h^{\lambda_{n0}} X_{hvi,j} \quad (8)$$

donde :

$ACC_{hvi}$  : accesibilidad del hogar  $h$  en la ubicación  $vi$

$NPER_h$  : n° de personas del hogar  $h$

$$D_{hvi} = \begin{cases} 1 & \text{si } h \in \text{categ. ingreso 1, 2 o 3} \\ 1 & \text{si } h \in \text{categ ingreso 4 y } ZING_i \geq 10 \text{ UF / mes} \\ 1 & \text{si } h \in \text{categ ingreso 5 y } ZING_i \geq 32 \text{ UF / mes} \\ 0 & \text{si no} \end{cases}$$

$ZING_i$  : ingreso residencial promedio zonal

$X$ : vector de restantes atributos

Las categorías de ingreso se ordenan de menor a mayor: la categoría 1 es la de menor ingreso y la 5 es la de mayor.

Los valores de los parámetros y su significancia estadística aparecen consignados en Cuadro N°1. Algunos de ellos están afectados por el factor de escala  $\mu$ .

**CUADRO N°1 : MODELO DE LOCALIZACIÓN RESIDENCIAL (ETAPA N°1)**

| VARIABLE AFECTADA | PARAM.           | Categ. N° 1 | Categ. N° 2 | Categ. N° 3 | Categ. N° 4 | Categ. N° 5 |
|-------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| NPER              | $\mu b_{10}$     | -0.548      | -1.627      | -1.923      | -2.483      | -3.040      |
| NPER              | $\lambda_{10}$   | -0.181      | -0.154      | -0.150      | 0.364       | 0.418       |
| ACC*D             | $\mu b_{1ACC}$   | 0.245       | * 0.003 *   | * -0.001 *  | 0.023       | 0.048       |
| ACC*D             | $\lambda_{1ACC}$ | 1.010       | 0.988       | 0.933       | 0.983       | 0.825       |
| ACC*D             | $\theta_{1ACC}$  | 0.952       | 0.993       | 0.767       | 0.903       | 0.666       |
| y                 | $\mu c_0$        | 1.036       | 0.977       | 0.356       | 0.829       | 1.056       |
| AÑOOPER           | $\mu b_{11}$     | 0.121       | 0.166       | 0.150       | 0.079       | 0.036       |
| ARTE* CASIDEP0    | $\mu b_{12}$     | -1.028      | -0.550      | 1.457       | 0.120       | 0.522       |
| ARCO* CASIDEP0    | $\mu b_{13}$     | -0.314      | -0.257      | 0.738       | 0.122       | 0.113       |
| ZING              | $\mu b_{14}$     | -0.612      | -0.692      | 0.334       | 0.561       | 0.423       |
| ZSUPCIND          | $\mu b_{15}$     | -0.117      | -0.086      | -0.121      | -0.079      | -0.043      |
| ZSUPCCOM-SER      | $\mu b_{16}$     | 0.179       | 0.165       | 0.200       | 0.088       | 0.078       |
| ZSUPCED/ZSUPT     | $\mu b_{17}$     | 0.505       | 0.503       | 0.498       | 0.504       | 0.497       |

NOTAS: AÑOOPER: N° de años que el hogar lleva residiendo en la vivienda, con respecto a 1991.

ARTE\*CASIDEP0: Área de terreno de la vivienda \* dummy que vale 1 si la vivienda es casa y 0 si es depto.

ARCO\*CASIDEP0: Área construida de la vivienda \* dummy que vale 1 si la vivienda es casa y 0 si es depto.

ZSUPCIND: Área zonal construida dedicada a la actividad económica "Industria"

ZSUPCCOM-SER: Área zonal construida dedicada a las actividades económicas "Comercio" y "Servicios".

ZSUPED/ZSUPT: Área zonal construida dedicada a las actividad "Educación"/Área zonal total de terreno

Los asteriscos indican parámetros insignificantes al 95% de confianza.





Este modelo, que considera un total de 65 parámetros, 15 de los cuales son no lineales en la postura, es bastante robusto, pues todos sus parámetros son altamente significativos, con la única excepción de dos: los que premultiplican la accesibilidad, para las categorías 2 y 3.

Algunas de las conclusiones más relevantes que se pueden extraer de un análisis de los signos y valores de los parámetros son las siguientes:

- 1.- Los parámetros de valoración de los atributos de vivienda y zona son diferentes por categoría de ingreso y tamaño del hogar. Además, se observa que existe un efecto lineal del tamaño del hogar en la valoración de la accesibilidad a lo largo de los 5 niveles de ingreso ( $\lambda_{nACC} \approx 1 \quad \forall n$ ).
- 2.- La variable AÑOPER intenta capturar la movilidad de localización y sólo se activa para el hogar residente en la vivienda (no se especifica para los otros postores). El parámetro de esta variable ( $b_{n1}$ ) ha sido sistemáticamente significativo a lo largo de todas las especificaciones estimadas, demostrando su importancia. Su valoración en este modelo es positiva tal y como se esperaba.
- 3.- El ingreso promedio de los residentes (ZING) en la zona tiene la interpretación de una conducta de movilidad social, luego los parámetros  $b_{n4}$  se podrían interpretar, ceteris paribus el tamaño del hogar, como evidencia de algún grado de arribismo en la sociedad chilena. En este sentido, se observó que tales valores tienden a ser más bien crecientes con el ingreso.
- 4.- El modelo indica una valoración negativa, en la postura de un hogar (independientemente su nivel de ingreso), por la existencia de actividad industria zonal ( $b_{n5}$ ), posiblemente, entre otras causas, por la contaminación ambiental que ello provoca. Por el contrario, la presencia de actividad comercial, de servicios y de educación tiene una connotación positiva en la localización residencial ( $b_{n6}$  y  $b_{n7}$ ).
- 5.- El parámetro del ingreso del hogar ( $c_n$ ) es prácticamente constante a lo largo de todos los niveles de ingreso, excepto en la categoría 3.

Junto con analizar la coherencia y significancia estadística de los parámetros del modelo, se estudió la bondad de ajuste de éste. En este sentido, la capacidad de predecir adecuadamente la localización residencial de 1991 es de gran importancia.

Para este efecto se seleccionó una muestra aleatoria estratificada de 1353 hogares de la base de 8000 hogares localizados, donde los estratos corresponden al cruce de las cinco categorías de ingreso y las 264 zonas ESTRAUS, es decir  $5 \times 264 = 1320$  estratos. Por otra parte, la muestra de viviendas empleada correspondió a las 1353 de esos mismos hogares. De este modo, se incluyeron hogares de todas las categorías de ingreso y se consideraron viviendas ubicadas en todas las zonas. Además, esta selección de viviendas, permite que el postor residente aparezca siempre dentro de los 1353 representantes de los postores, activándose de este modo la variable explicativa AÑOPER.



A partir de esta muestra y del modelo estimado de la postura, se estimó por Mínimos Cuadrados el modelo lineal que explica el número de hogares localizados *observados* en función del número de hogares localizados *predichos* por el modelo, a nivel de zona ESTRAUS y categoría de ingreso.

El cuadro siguiente consigna los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de los modelos de ajuste por categoría de ingreso y a nivel global.

CUADRO N°2 : AJUSTE DEL MODELO DE LOCALIZACION  
RESIDENCIAL (ETAPA N°1)

| PARAM. | GLOBAL | Categ. N° 1 | Categ. N° 2 | Categ. N° 3 | Categ. N° 4 | Categ. N° 5 |
|--------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $R^2$  | 0.75   | 0.85        | 0.81        | 0.77        | 0.81        | 0.35        |

Los resultados anteriores indica que el modelo tiene una gran capacidad de ajuste (se recordará que se calibró el modelo con una muestra de 522 viviendas y 40 hogares postores representantes y la base de validación constó de 1353 viviendas y 1353 hogares postores representantes).

Un análisis por categoría indica un nivel de ajuste muy alto en las 4 primeras categorías, debilitándose substancialmente el grado de ajuste en la categoría 5, que es la de más altos ingresos, pero más exigua. Un análisis más específico de esta singularidad, indica que se debe primordialmente a que el modelo predice localización de hogares de esta categoría en zonas donde no se observó localización en 1991. Sin embargo, la mayoría de las zonas donde el modelo localizó hogares de esta categoría pertenecen al sector Oriente de Santiago, precisamente donde está concentrada la localización observada.

Considerando los resultados previos, se estimó por el criterio de Mínimos Cuadrados el modelo de renta residencial (ver ecuaciones (3) y (7)). Se estimaron un gran conjunto de especificaciones funcionales, obteniéndose finalmente el modelo descrito en el cuadro N° 3.



CUADRO N°3 : MODELO DE RENTA RESIDENCIAL (ETAPA N°2)

| VARIABLE EXPLICATIVA  | PARAMETRO                 | ESTIMACION |
|-----------------------|---------------------------|------------|
| CONSTANTE             | $\gamma/\mu + \beta_{10}$ | 1.5227     |
| W                     | $1/\mu$                   | 0.0583     |
| UFC                   | $\beta_{11}$              | 0.0123     |
| ARCO                  | $\beta_{12}$              | -0.0255    |
| UFC*EDAD*(1-CASIDEP0) | $\beta_{13}$              | -0.00008   |
| D1*CASIDEP0           | $\beta_{14}$              | -0.8705    |
| D2*CASIDEP0           | $\beta_{15}$              | -0.8736    |
| D2*(1-CASIDEP0)       | $\beta_{16}$              | -1.8068    |
| D3*CASIDEP0           | $\beta_{17}$              | 5.8019     |
| D3*(1-CASIDEP0)       | $\beta_{18}$              | 2.6175     |
| D5*CASIDEP0           | $\beta_{19}$              | -1.3442    |
| D5*(1-CASIDEP0)       | $\beta_{110}$             | -2.9965    |

NOTAS: UFC: Valor en uf de la construcción  
 ARCO: Area construida de la vivienda.  
 EDADC: N° de años de la construcción con respecto a 1991.  
 CASIDEP0: dummie que vale 1 si la vivienda es casa y 0 si es depto.  
 Di: dummie que vale 1 si la vivienda está ubicada en el área i y 0 si no. Area 1: Norte,  
 Area 2: Occidente, Area 3: Oriente y Area 5: Sur.

Este modelo cuyo coeficiente de correlación es de 0.74 tiene todos sus parámetros significativos al 95% de confianza. El valor de  $\mu$  estimado es igual a 17.15.

Para analizar el modelo estimado de renta residencial con más detalle es preciso deducir a partir de la ecuación (2b) la derivada de la renta con respecto a un atributo de la vivienda  $X_{vi}$ , ceteris paribus las restantes variables. Ella es:

$$\frac{\partial r_{vi}}{\partial X_{vi}} = \sum_g \frac{\partial \text{BID}_{gvi}}{\partial X_{vi}} P_{g/vi} + \frac{\partial \text{BID}_{vi}}{\partial X_{vi}} \quad (9)$$

Observar que el primer término de esta ecuación recoge el "efecto del remate" en la derivada y se calcula como un promedio de las derivadas de las posturas individuales ponderadas por las probabilidades de localización. La ecuación (9) y los resultados presentados en los Cuadros N°1 y

Nº3 permiten confirmar que el modelo de renta entrega resultados razonables; por ejemplo, ceteris paribus las demás variables:

1. El aumento de un m<sup>2</sup> de construcción provoca un aumento en la renta. Además, se observa que, en este caso, el “efecto del remate” sólo está presente para las casas, pero no para los departamentos.
2. El envejecimiento de la construcción (medido por EDADC) provoca una disminución del valor del arriendo de departamentos siendo estadísticamente insensibles las casas a este efecto.

Es interesante observar que estos resultados se explican, en parte, por el hecho que las casas admiten mayores transformaciones que los departamentos.

### 2.5.2 Modelo no residencial

Después de investigar un gran conjunto de modelos, se obtuvo finalmente la siguiente especificación de  $WP_{vi}$  correspondiente a la Etapa Nº1 de calibración del modelo no residencial:

$$BID_{vi} = \alpha_{m0} + \alpha_{m1} ATT_i^{\lambda_{m1}} + \alpha_{m2} ZING_i^{\lambda_{m2}} + \alpha_{m3} ARCO_{vi}^{\lambda_{m3}} + \alpha_{m4} ARTE_{vi}^{\lambda_{m4}} * CASIDEP0_{vi} + \alpha_{m5} C_{vi} \quad (10)$$

donde:

$ATT_i$  = atractividad de la zona i. Esta corresponde al número total de viajes atraídos a la zona.  
 $C_{vi}$  = 1 si la vivienda está ocupada por Comercio o Servicios y 0 si no. Esta variable tiene el propósito más bien de caracterizar el predio.

Las restantes variables ya fueron definidas anteriormente (ver Cuadro Nº1).

CUADRO Nº4 : MODELO DE LOCALIZACION DE FIRMAS (ETAPA Nº1)

| VARIABLE AFECTADA | PARAM             | Comercio | Industria | Servicios | Otros    | Educación |
|-------------------|-------------------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| CONSTANTE         | $\rho\alpha_{m0}$ | -4.456   | -5.712    | -5.669    | -1.844   | -7.675    |
| ATT               | $\rho\alpha_{m1}$ | 2.472    | *0.315*   | *0.085*   | 1.587    |           |
| ATT               | $\lambda_{m1}$    | *0.049*  | *0.155*   | 0.962     | -2.624   |           |
| ZING              | $\rho\alpha_{m2}$ | *0.182*  | *0.319*   | 1.091     | *0.089*  | 6.048     |
| ZING              | $\lambda_{m2}$    | 2.232    | 0.747     | 1.366     | 5.410    | 0.525     |
| ARCO              | $\rho\alpha_{m3}$ | -4.806   | 4.580     | *-0.002*  | 3.704    | 6.834     |
| ARCO              | $\lambda_{m3}$    | *-0.006* | *-0.054*  | 5.642     | *-0.075* | 0.281     |
| ARTE              | $\rho\alpha_{m4}$ | 2.212    | 9.349     | -0.776    | 0.786    | 0.818     |
| ARTE              | $\lambda_{m4}$    | 1.631    | 0.362     | 1.554     | 6.365    | 1.054     |
| C                 | $\rho\alpha_{m5}$ | 11.154   | -4.759    | 8.714     | -6.371   | -3.737    |

NOTA: Los asteriscos indican parámetros insignificantes al 95% de confianza.





El parámetro multiplicativo y el exponente de la variable ATT presentan signos intuitivamente correctos para todas las actividades económicas, sin embargo, esta variable es estadísticamente significativa sólo en el rubro "Otros", actividad en la cual existe un comportamiento inverso entre la postura y el número de viajes atraídos a la zona. Este resultado es coherente con el hecho que las actividades insertas en "Otros", como por ejemplo "Salud" y "Actividades de esparcimiento" se localizan en zonas poco atractoras de viajes.

En el caso de la variable ZING (Ingreso promedio zonal) se aprecia que a mayor ingreso zonal, mayor es la postura de las firmas, pero este efecto es estadísticamente significativo sólo en "Servicios" y "Educación". Esto está de acuerdo con la mayor localización observada de actividades privadas de "Servicios" y de "Educación" en las zonas de altos ingresos.

Los parámetros de las variables que describen las características propias de los inmuebles, o sea la superficie del terreno (ARTE) y la superficie construida (ARCO) presentan signos positivos cuando son significantes, tal y como se esperaba. La única excepción a esto lo constituye el parámetro del área de terreno para el rubro "Servicios".

Al igual que en el modelo de localización residencial, se investigó la capacidad del modelo no residencial de predecir la localización observada de las actividades no residenciales en 1991. Los coeficientes de determinación de las regresiones del número de firmas localizadas observadas por zona ESTRAS y giro económico versus las predichas por el modelo, tanto a nivel global como por actividad económica aparecen en el siguiente cuadro :

CUADRO N°5 : AJUSTE DEL MODELO DE LOCALIZACION  
NO RESIDENCIAL (ETAPA N°1)

| PARAM.         | GLOBAL | Comercio | Industria | Servicios | Otros | Educación |
|----------------|--------|----------|-----------|-----------|-------|-----------|
| R <sup>2</sup> | 0.74   | 0.74     | 0.39      | 0.91      | 0.01  | 0.59      |

Los resultados muestran un ajuste global aceptable, pero más heterogéneo por giro económico, observándose, sin embargo, que el ajuste es mayor en las actividades económicas más pobladas. Estos resultados se explican fundamentalmente por la limitada información disponible para la descripción de las actividades económicas.

### 3 MODELO DE PREDICCIÓN

#### 3.1 ESTRUCTURA DEL MODELO

MUSSA puede ser concebido como una parte de un gran modelo de interacción de uso de suelo y transporte urbano de seis etapas llamado MUSSA-ESTRAUS. El modelo de transporte ESTRAUS aporta cuatro etapas a este macromodelo e interactúa con MUSSA suministrándole medidas de acceso (accesibilidad y atractividad) para una localización dada de actividades en la ciudad que MUSSA le proporciona. Por otra parte, MUSSA contribuye con dos etapas más al gran modelo; en



una de ellas se predice para un año futuro el total de hogares y firmas y en la otra se distribuyen espacialmente tales actividades.

### 3.2 REQUERIMIENTOS DE INFORMACION

La predicción de las variables explicativas de la postura BID para un año futuro  $t$  es normalmente una tarea difícil que consume gran parte del esfuerzo de predicción, de modo que los modeladores tienden a reducir el número de éstas para limitar este esfuerzo. En MUSSA, tal problema se eliminó completamente por medio de explotar la información reunida en la base de datos maestra de 8000 hogares y 745 firmas y suponer que la *variedad de los localizadores (hogares/firmas) y las opciones de oferta (tipos de vivienda) que se espera que se presenten en el año de predicción  $t$ , está bien descrita por la variedad observada en el año base (1991); lo que cambia son las frecuencias de cada tipo de localizador y de vivienda*, denotadas por  $f_l^t$  y  $f_v^t$  respectivamente (el subíndice  $l$  denota localizador, tanto hogar como firma y el subíndice  $v$  denota vivienda tanto residencial como no residencial). Por lo tanto, salvo las variables de acceso que las suministra ESTRAUS y las variables endógenas al proceso de localización (por ejemplo: ingreso promedio de la zona, uso del suelo y rentas) que MUSSA las actualiza internamente, las variables explicativas de hogar y vivienda de  $BID_{hi}$  para un  $(l, v, i)$  dado permanecen constantes en el horizonte de predicción, lo que cambia es el número de localizadores y viviendas representados por  $l$  y  $v$ , respectivamente.

Nótese que el procedimiento tradicional de actualización está basado en la idea de que los localizadores se pueden seguir a lo largo del tiempo, mientras que el procedimiento empleado en MUSSA utiliza la información que describe a un localizador dado observado para describir a otros localizadores en el futuro. Un procedimiento similar se puede aplicar a la oferta, transfiriendo la variedad de las opciones individuales de vivienda contenidas en la base de datos del año base para el año de predicción; sin embargo, la variedad de las opciones que combinan localización y tipo de vivienda en el año futuro pueden no estar contenidas en el año base, de modo que en este caso la información debe estar complementada, generando las combinaciones factibles no observadas.

El número de hogares  $f_h^t$  se determina mediante un modelo de crecimiento de la población y el número de firmas  $f_f^t$  se estima mediante el modelo macroeconómico del tipo insumo-producto. Este último modelo nos permite predecir niveles de producción local por sector económico usando dos submodelos: uno para el consumo intermedio, basado en factores tecnológicos fijos y variables (por ejemplo, dentro de éstos últimos están las tasas de desempleo y las productividades laborales) y el otro para el consumo final, basado en modelos econométricos tendenciales que dependen de variables macroeconómicas nacionales (por ejemplo, el Producto Interno Bruto, Ingreso Nacional, tipo de cambio, políticas de distribución del presupuesto nacional y tasas de interés). Los niveles de producción resultantes están restringidos a ser coherentes con el crecimiento de la población exógenamente estimado por modelos demográficos oficiales, los cuales han demostrado ser, en fase predictiva, más estables y precisos que los modelos de producción.

Se debe dejar en claro que el procedimiento proporciona probables localizadores (postores) y tipos de vivienda factibles de ofrecerse; el número de hogares y firmas localizados y de viviendas ocupadas las determina finalmente MUSSA.



### 3.3 EL ALGORITMO

El procedimiento de predicción se puede describir por medio de dos elementos: el procedimiento de punto fijo (PF), que resuelve el tema de las externalidades de la localización, y el procedimiento de optimización (OP), que encuentra el equilibrio entre la demanda y la oferta.

#### 3.3.1 El procedimiento de punto fijo

El procedimiento PF, resuelve el tema de que la ubicación depende de la ubicación. Por lo tanto, las probabilidades de localización pueden interpretarse como una solución de tipo Punto Fijo vectorial de las siguientes ecuaciones:

$$P_{h/vi}^t = \frac{f_h^t \phi_{hvi}^t \exp(\mu \text{BID}_{hvi}^t)}{\sum_{h'} f_{h'}^t \phi_{h'vi}^t \exp(\mu \text{BID}_{h'vi}^t)} \quad \forall h; \forall v \text{ vivienda residencial}$$

$$P_{f/vi}^t = \frac{f_f^t \exp(\rho(\text{BID}_{fvi}^t))}{\sum_{f'} f_{f'}^t \exp(\rho(\text{BID}_{f'vi}^t))} \quad \forall f; \forall v \text{ vivienda no residencial} \quad (11)$$

donde

$$\text{BID}_{hvi}^t = \text{BID} \left[ X_{hvi}^t \left\{ (P_{h/vi}^t)_{v \in i}, (P_{f/vi}^t)_{v \in i} \right\}, Y_{hvi}^t, \beta_2, y_h^t, U_h^*, w_h^t \right]$$

$$\text{BID}_{fvi}^t = \text{BID} \left[ Z_{fvi}^t \left\{ (P_{h/vi}^t)_{v \in i}, (P_{f/vi}^t)_{v \in i} \right\}, W_{fvi}^t, \alpha_2, U_f^*, w_f^t \right]$$

con  $X$  y  $Z$  los vectores de las variables endógenas zonales,  $Y$  y  $W$  los vectores de las restantes variables y  $w$  el excedente del consumidor del localizador (exógeno a PF). Debido a que el punto fijo del problema son las probabilidades de ubicación, y éstas están restringidas, por definición, al rango  $[0,1]$ , se garantiza la existencia de al menos una solución y la serie tradicional de punto fijo converge a ésta (vea Istratescu, 1981). Empíricamente se ha visto que la convergencia se alcanza rápidamente en no más de 10 iteraciones.

#### 3.3.2 El procedimiento de optimización

Una vez resuelto el problema PF, es decir, encontrados los valores de las variables endógenas zonales, el problema que se desea resolver a continuación, es determinar la oferta inmobiliaria  $f_{vi}^t$  y los excedentes de los localizadores  $w_i^t$  que permiten satisfacer la demanda de éstos, sujeto a la restricción que la oferta de suelo urbano no es elástica (ver Capítulo 3 del artículo "El Modelo de Uso de Suelo de Santiago: La Teoría, presentado también en este Congreso).

En teoría, la solución del problema no es única puesto que hay una serie de vectores  $w$  que resuelven el problema, es decir, la solución es un subespacio  $W_s^t$ . El criterio usado en MUSSA para encontrar la solución más probable es elegir  $w^* \in W_s^t$  que minimiza la suma al cuadrado de sus elementos  $w_h^t$ . La lógica fundamental de este criterio es que  $w^*$  minimiza la pérdida total de la calidad de vida en la



sociedad, o en términos positivos, es el estado de desarrollo que maximiza los beneficios de la sociedad dadas las restricciones de terreno. Este criterio no es válido si, por ejemplo, se cree que los grupos dominantes aumentarán su utilidad en el tiempo a costa de los grupos menos poderosos. Sin embargo, este ejemplo muestra cuán arraigado en las ciencias sociales está la definición de este criterio y el tipo de estudio requerido para identificar los criterios mejores.

### 3.3.2.1 El modelo tendencial de la oferta residencial en equilibrio

Hasta este punto el modelo de predicción ha incorporado información preferentemente de corte transversal, introduciendo información tendencial sólo en la demanda, a través de proyecciones exógenas del número de localizadores potenciales. Por esta razón, se ha considerado necesario incorporar al modelo de predicción, datos sobre la evolución histórica de la oferta residencial ocupada, que orienta la resolución del problema.

En general, la oferta puede ser descrita como una función tanto de la Ganancia como del Costo que le reporta al desarrollador inmobiliario la generación de tal oferta. Para la calibración del modelo tendencial de oferta residencial ocupada se dispone de información de sólo de dos periodos, 1986 y 1991, a nivel comunal (no por tipo de vivienda) y no se dispone de datos sobre costos de generación de oferta y de oferta potencial (que influye a la Ganancia y el Costo). Por esta razón, se formula un modelo para la oferta comunal ocupada de 1991,  $f_c^{91} = \sum_{v \in \Omega_c^t} f_{vc}^{91}$ , a partir de variables explicativas contemporáneas y de la tendencia impuesta entre 1986 y 1991 (que recoge implícitamente la oferta potencial y los costos de generación de ésta).

Las variables utilizadas en el proceso de estimación de este modelo provienen de la base de calibración de ESTR AUS y de las fuentes de información del modelo MUSSA. Después de considerar un conjunto amplio de especificaciones funcionales se obtuvo el siguiente modelo:

$$\begin{aligned}
 f_c^{91} = & \underset{(-2.4)}{6170.298} + \underset{(3.5)}{0.414 f_c^{86}} + \underset{(3.3)}{0.151 X_c D_{1c}} + \underset{(3.5)}{0.181 X_c D_{2c}} + \underset{(7.0)}{0.367 X_c D_{3c}} + \\
 & + \underset{(4.6)}{0.293 X_c D_{4c}} + \underset{(4.6)}{0.293 X_c D_{4c}} + \underset{(3.0)}{0.118 X_c D_{5c}} + \underset{(1.7)}{0.093 X_c D_{8c}} + \\
 & + \underset{(5.6)}{0.004 stoh_c^{86} D_{6c}} + \underset{(4.3)}{0.002 stoh_c^{86} (1 - D_{3c} - D_{6c})} + \underset{(2.4)}{0.0001 stnh_c^{86}}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

$R^2 = 0.976$ ;  $R^2_{Ajust} = 0.962$ ; Durbin-Watson = 2.112; (.) = valor t-student

Las variables explicativas están definidas del siguiente modo:

$f_c^{86}$  = oferta residencial habitada en el año 86 en la comuna c (hay 34 comunas).

$X_c = f_c^{86} rmc_c^{91} / rmc_c^{86}$  donde  $rmc_c^t$  = promedio en la comuna c del arriendo mensual en UF por  $m^2$  de construcción en el año t.

$stoh_c^t, stnh_c^t$  = área de terreno ocupada y no ocupada por hogares en la comuna c en el año t.





$D_{kc} = 1$  si la comuna  $c$  pertenece a una determinada área geográfica y 0 si no ( $k=1$ : Norte;  $k=2$ : Occidente;  $k=3$ : Oriente;  $k=4$ : Centro;  $k=5$ : Sur;  $k=6$ : Sur-Oriente;  $k=7$ : Sur-Oriente-A y  $k=8$ : Sur-Oriente-B; estas dos últimas son una partición del área Sur-Oriente).

El modelo estimado demostró un elevado ajuste, explicando el 98% de la varianza de los valores observados de oferta. Además, todos los parámetros son estadísticamente significativos al 97%, con la única excepción del asociado a la variable  $X_c D_{8c}$ , que es significativo al 90%.

Por otra parte, se confirmó el marcado comportamiento tendencial positivo de la oferta y la relevancia de la renta como variable explicativa. En particular, el modelo postula que la variación relativa de la oferta es directamente proporcional a la variación relativa de la renta entre 1986 y 1991, y que los factores de proporcionalidad son diferentes por área geográfica, encontrándose el mayor en el área Oriente, seguido de las áreas Centro, Occidente, Norte, Sur y Sur-Oriente-B, en ese orden.

El modelo de la oferta residencial ocupada representada por la ecuación (12) sugiere formular el siguiente modelo para un período  $t$  de predicción:

$$f_c^t = \psi(\text{rmc}_c^t [w_h^t, f_{vc}^t], f_c^{86}, \text{rmc}_c^{86}, \text{stoh}_c^{86}, \text{stonh}_c^{86}) \quad (13)$$

El  $\text{rmc}$  comunal del período  $t$  aparece escrito en función de los excedentes de los consumidores y de la oferta por tipo de vivienda, dado que corresponde a un promedio de los arriendos de los predios de la comuna y éstos verifican la regla del máximo postor (ecuación 2b).

Dado que una condición necesaria del equilibrio es  $\sum_c f_c^t = \sum_h f_h^t$  se introduce una modificación al modelo dado por la ecuación (13) para que esta condición se verifique, resultando:

$$f_c^t = \frac{\sum_h f_h^t}{\sum_c \psi(w_h^t, f_{vc}^t)} \psi(w_h^t, f_{vc}^t) \equiv \Theta(w_h^t, f_{vc}^t) \quad (14)$$

Ahora estamos en condiciones de formular el problema de optimización para un período de predicción  $t$  dado:

$$\begin{aligned} \text{Min}_{f_{vc}, w_l} & \left\{ \eta \sum_l [w_l^t]^2 + \sum_l \left[ \sum_c \sum_{v \in \Omega_c^t} f_{vc}^t \cdot P_{l/vc}^t ((w_l^t)_l) - f_l^t \right]^2 + \theta \sum_c \left[ \sum_{v \in \Omega_c^t} f_{vc}^t - \Theta[(w_h^t)_h, (f_{vc}^t)_v] \right]^2 \right\} \\ \text{Sujeto a:} & \quad \sum_{v \in \Omega_c^t} f_{vc}^t q_v \leq Q_c \quad \forall c \\ & \quad f_{vc}^t \geq 0 \quad \forall v, c \end{aligned} \quad (15)$$

El subíndice  $c$  denota comuna que es el nivel de agregación geográfico del problema. Un nivel más desagregado se descartó exclusivamente por la complejidad de la resolución computacional del

problema correspondiente, derivado del gran número de variables que sería preciso considerar. Sin embargo, se diseñó una segunda etapa que desagrega los resultados comunales por zona ESTRAUS.

El primer término de la función objetivo implementa los criterios de pérdida mínima de los localizadores, permitiendo a  $w$  encontrar soluciones positivas o negativas; el segundo término asegura que la oferta satisfaga la demanda tanto como sea posible minimizando el error. El tercer término, determina que la tendencia de la oferta se cumpla también con mínimo error. Los valores  $\eta$  y  $\theta$  son exógenos al problema y arbitrarios, en el sentido que ponderan en la función objetivo la importancia relativa de los tres términos.

### 3.4 SALIDAS DEL MODELO

El modelo Santiago es capaz de producir los siguientes resultados básicos desagregados para cada año de predicción:

- i) Probabilidades de ubicación de hogares y firmas para cada uno de los localizadores en la base de datos.
- ii) Oferta de terrenos y viviendas en cada zona; incluyendo tipo de vivienda (cuatro tipos de casas y dos tipos de edificios) y tamaño de terreno.
- iii) Las rentas residenciales por zona y tipo de vivienda.
- iv) El excedente de los localizadores por nivel de ingreso y sector de la firma.
- v) Tierras no utilizadas por zona.
- vi) Accesibilidad por hogar y atractividad por firma.

Estos resultados se pueden agregar para generar resultados de fácil lectura. En **MUSSA** se implementa la siguiente salida estándar:

- i) Localización de los hogares por categoría definida por cinco grupos de ingreso y tres niveles de motorización (algunas categorías sin personas se agrupan con otras).
- ii) Ubicación de las firmas por sector.
- iii) Densidades de ubicación, por categorías de hogar, y aglomeración de actividad por sectores de firma.
- iv) Promedio de arriendo de viviendas residenciales por zona.
- v) Promedio de medidas de acceso por zona.
- vi) Desarrollo esperado de edificios por zona.

### 3.5 ANALISIS Y REGULACION DE POLITICAS

**MUSSA-ESTRAUS** fue diseñado para, y es capaz de, realizar el análisis de una variedad de políticas de gestión urbana:

- i) Análisis de sensibilidad del impacto de las variables macroeconómicas en los patrones de ubicación.
- ii) Regulaciones del uso del suelo, que limitan ciertas actividades en algunas zonas.
- iii) Regulaciones de construcción que limitan los tipos de vivienda por zona.
- iv) Políticas de impuesto o tarificación sobre el uso del suelo y transporte.





- v) Infraestructura de transporte y proyectos de operación, etc.

Sin embargo, no es capaz, ni tampoco es su intención, de realizar un análisis detallado de la gestión del tráfico más allá de la red ESTRAUS, o estudios de ubicación en detalle espacial más allá de las 264 zonas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a J. Vera y a C. López por sus importantes contribuciones, a FONDECYT por el financiamiento parcial y a SECTRA por permitir la publicación del estudio.

## REFERENCIAS

Hayashi, Y. and Doi, K. (1989) A model for analyzing the imputation of consumers' benefit to land property values. *Transport Policy, Management & Technology Towards 2001, Selected Proceedings of the Fifth World Conference on Transport Research I*, 303-317.

Istratescu, V. (1981). *Teoría de punto fijo*. D. Reidel Pub. Comp., Dordrecht, Holanda.

---

Jara-Díaz S., Martínez, F. and Zurita, I. (1994) A microeconomic framework to understand residential location. *22<sup>nd</sup> European Forum, Proceedings Seminar H.*, pp. 115-127.

Martínez, F. (1995) Access: the transport-land use economic link. *Transport Research A* (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.

Miyamoto, K. (1993). Development and applications of a land use model based on random utility/rent-bidding analysis (RURBAN). *13th Meeting of the Pacific Regional Science Conference Organization*, Canadá.

Wegener, M. (1992). Operational Urban Models, State of the Art. *Journal of the American Planning Association*, Winter, 17-28.