

## PREFERENCIAS DECLARADAS EN LA MODELACION DE LA VARIABLE ACCESIBILIDAD

F. J. Varela, J. de D. Ortúzar  
Pontificia Universidad Católica de Chile,  
Av. Vicuña Mackenna 1162 Santiago Chile  
e-mail : jos@ing.puc.cl

F. J. Martínez  
Universidad de Chile, Blanco Encalada 2120, Of. 440  
email : fmartine @ cec.uchile.cl

### RESUMEN

Se considera el problema de diseño de experimentos de preferencias declaradas para medir y modelar en forma adecuada el rol de la variable "accesibilidad" en la modelación de localización residencial urbana. En este estudio se analizan directamente las preferencias de los hogares entre los atributos de accesibilidad y arriendo de la vivienda, *ceteris paribus* el resto de los atributos de localización aislando así el efectos de interés.

Una revisión acerca de su definición conceptual de accesibilidad, la relación con el sistema de transporte, su funcionalidad y las distintas medidas utilizadas hasta ahora, permitió generar una herramienta de recolección de información, que se empleó para someter a diferentes hogares a la decisión de localización en base a variables del sistema de transporte. Este experimento contó con novedosos aportes, destacándose primero el hecho de incluir el efecto de considerar al hogar como ente elector, en donde la decisión es compartida por un conjunto de individuos, y segundo que las alternativas reportaban diferentes niveles de accesibilidad pero sin modificar la localización actual del encuestado.

Con los datos recolectados se estimaron modelos cuyos parámetros presentan consistencia en sus signos y test de significancia, definiéndose algunas formas funcionales asociadas al concepto de percepción de acceso. Además se generó un índice de valoración del tiempo (IVT) que permitió abrir una nueva discusión acerca de su homologación con los valores del tiempo usualmente derivados a partir de modelos de partición modal en transporte.

## 1. INTRODUCCION

La formulación de un modelo integrado de uso de suelo urbano y transporte es la línea de investigación en la cual se inserta este proyecto. Este modelo fue concebido en una primera etapa basándose en la teoría microeconómica de Martínez (1992), y más tarde formalizado en los trabajos desarrollados por Martínez y Donoso (1995a; 1995b).

La búsqueda de un enlace que sea consistente con los enfoques de un modelo de simulación del sistema de transporte junto con un modelo de uso de suelo, ha sido materia de discusión por parte de varios autores. Es en este campo en donde aparece la definición de una variable llamada *accesibilidad*, que nace producto de una intuición en la física y que se ha desarrollado en base a un concepto impreciso (Martínez, 1995), lo que ha generado variadas versiones en torno a este tema. Por un lado aparecen estudios que intentan explicar a la accesibilidad como una medida de resistencia basada en la física de la red modelada (Pooler, 1995; Mackiewicz y Ratajczak, 1996). También se han propuesto medidas que abandonan los lazos físicos y se inclinan por una teoría más económica al tratar de involucrar un costo o consumo de recursos del sistema (Neuburger, 1971; Williams, 1976). Finalmente, es posible encontrar una línea más formal, en donde se trata el tema de la accesibilidad como un beneficio a usuarios asociado al concepto de excedente del consumidor (Martínez, 1995).

Si bien las medidas de excedente proveen consistencia conceptual y elegancia a la modelación de la interacción entre uso de suelo y transporte, resultan ser muy agregadas y complejas. Por esto se ha propuesto probar la construcción de medidas de acceso en base a la inspección de medidas alternativas que logren acercarse a lo que los agentes involucrados perciben como acceso, aceptando que éstas pueden discrepar de las medidas extraídas de los modelos. Es así como las técnicas de Preferencias Declaradas (PD) aparecen como una herramienta natural en este proceso de búsqueda de explicación al concepto de percepción de acceso, y para ello, se cuenta con una amplia experiencia en el tema de recolección de información para la calibración de modelos de demanda de transporte (Ortúzar y Willumsen, 1994).

En este trabajo se explora la formulación de una medida de percepción de acceso en base a la construcción de un instrumento de medición basado en las herramientas de PD, intentando recoger los diferentes postulados en torno a este concepto.

## 2. EL ROL DE LAS VARIABLES DE ACCESO

### 2.1. Definición conceptual

El concepto de accesibilidad ha sido ampliamente usado en la literatura, pero con una definición a veces pobre e imprecisa, dado quizás, por su carácter abstracto. Las primeras aproximaciones al tema de la accesibilidad trataban de dar cuenta de la física asociada al problema de acceso, tomando en cuenta principalmente el factor espacial. Es así como se formularon expresiones que relacionan factores de atracción en la zona de destino con la diferencia en el costo de viaje (Hansen, 1959). Más adelante, Wilson (1967) relaciona tales medidas con los factores de balance



obtenidos de modelos de interacción espacial y les otorga una interpretación estadística y matemática.

Como paso siguiente, se interpretó el costo (monetario) de transporte como un costo generalizado que considera además factores como el consumo de tiempo y la comodidad. Este tipo de enfoque permitió dar una visión más económica que espacial al problema. Neuburger (1971) y Williams (1976) mostraron la clara relación existente entre las medidas de accesibilidad de Hansen, los factores de balance de Wilson y su interpretación económica como medidas de excedente del consumidor. Esta relación, unida al desarrollo de la teoría de la utilidad aleatoria, incentivó a la formulación de medidas con estricto sentido económico como las que entregan Domencich y McFadden (1975), Williams (1977), y Ben Akiva y Lerman (1979). Estas medidas se obtienen directamente del comportamiento individual en las decisiones de los usuarios del sistema de transporte.

El rol del costo generalizado de transporte en este enfoque, es representado por una medida relacionada con la utilidad económica o el beneficio del usuario, llamada "costo compuesto", definida como el costo mínimo esperado entre las alternativas disponibles para el usuario. Es así como Williams y Senior (1978) interpretan al costo compuesto como una medida de la accesibilidad de una determinada localización o zona. Ellos proponen, además, que tales medidas se pueden interpretar como un excedente asociado a la localización, el que tendría directa interpretación en términos del precio del suelo urbano, aunque esta última visión del problema es discutida por Martínez (1992).

Una ventaja práctica de estas medidas de accesibilidad o costo compuesto, es que por tener una interpretación en términos del excedente del consumidor es posible analizar el conjunto de las decisiones que el individuo realiza frente al sistema de transporte y el de actividades, incorporando sus mutuas interacciones en forma consistente, bajo un conjunto común de hipótesis acerca del comportamiento de los individuos (ver Jara-Díaz *et al*, 1995).

Esta consistencia económica en el análisis es un objetivo largamente buscado por los planificadores de transporte, particularmente en la evaluación de proyectos. Además su carácter desagregado, permite identificar quienes son beneficiados o perjudicados por ciertos proyectos, lo que permite disponer de una información que puede ser útil para el tomador de decisiones en análisis posteriores.

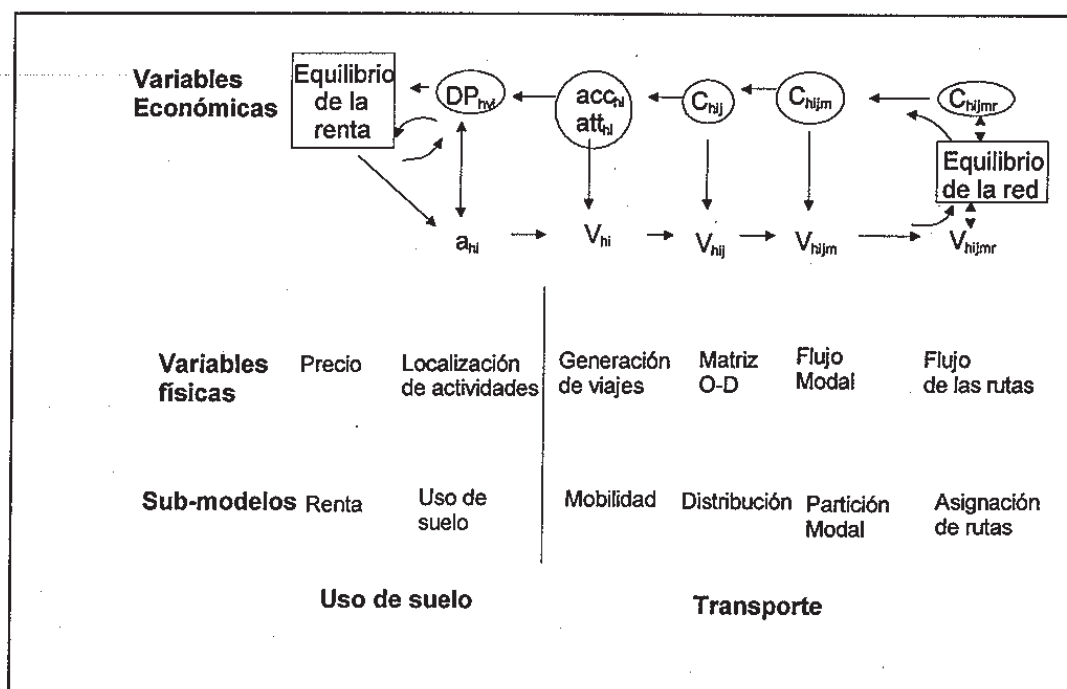
Las medidas de excedente de los usuarios de transporte propuestas por Martínez (1995), tienen la ventaja de ser consistentes con un modelo de equilibrio económico general entre uso de suelo y transporte, además de ser de fácil obtención de los modelos de transporte conocidos. Sin embargo se han presentado problemas en la estimación de modelos que las utilizan pues no se logra obtener un rol significativo de estas medidas en la localización residencial. Bajo el supuesto que la variable accesibilidad sí es relevante en localización, se plantea la hipótesis de que las medidas utilizadas distan de revelar las percepciones de los hogares que se localizan. Así, surge la necesidad de modelar de una forma alternativa y en forma específica el rol del acceso en la localización, que es el objetivo de este estudio.

## 2.2. Función de las variables de acceso.

La funcionalidad asignada a esta variable es fundamental para entender la interacción entre un modelo de localización de actividades y uno de transporte. Por ejemplo, los viajes generados y atraídos, en cada zona, período y propósito, constituyen los vectores de origen-destino que alimentan directamente al modelo de distribución de viajes en ESTRAS, SIGDO KOOPERS-CIS, (1989). Una corrida de este modelo permite simular el sistema de transporte y predecir su reacción al cambio en el uso de suelo. Los costos de transporte y los vectores origen destino actualizados permiten obtener factores de balance del modelo de distribución, consistentes con el nuevo uso de suelo y con el equilibrio del sistema de transporte.

Luego los factores de balance, estimados por categoría socioeconómica, zona, período y propósito, son recibidos por MUSSA donde son agregados para generar medidas de *accesibilidad* integral por hogar y zona (Martínez y Donoso, 1995 a, b). Además se estiman medidas de *atractividad* zonal por propósito atendiendo a los viajes atraídos en cada zona. Esta dos medidas constituyen atributos de la disposición a pagar de los hogares y firmas en sus decisiones de localización, y por lo tanto afecta la localización espacial de actividades.

La Figura 1 permite seguir la secuencia de impactos, mostrados por las flechas, entre los diferentes elementos del modelo MUSSA-ESTRAUS.



**Figura 1 : Esquematización de la Interacción MUSSA-ESTRAUS**

Se observa que además del equilibrio en redes, se genera un equilibrio en el mercado de suelo. Los costos de transporte evolucionan desde el nivel de ruta hasta generar los términos de acceso; accesibilidad y atractividad. Estos costos, a su vez tienen un impacto sobre los viajes a través de los diferentes submodelos de ESTRAS. Las medidas de acceso influyen en la disposición a



pagar, lo que a su vez define la renta mediante la regla del mejor postor. Las flechas circulares indican efectos recursivos; el de más a la izquierda se refiere a las externalidades de localización y el de más a la derecha a la interacción MUSSA-ESTRAUS. Esta interacción nace del cambio en localización, es decir cambio en uso de suelo, lo que define los vectores de generación y atracción de viajes con impactos en todos los niveles de ESTRAUS; esto, finalmente, cambia las medidas de acceso induciendo una iteración con MUSSA.

Así, la interacción entre ambos modelos está basada en la medida de accesibilidad. La correcta construcción de esta variable define la calidad de la modelación y predicción en el sistema completo de transporte/localización.

### 3. PERCEPCION DE ACCESO: PREFERENCIAS DECLARADAS EN LOCALIZACION URBANA

#### 3.1. Generalidades

Uno de los problemas en la recolección de datos para la estimación de MUSSA es la no observación directa del conjunto de alternativas disponibles en la elección de localización. Para obtener esta información, sería necesario estar presente en el momento de la transacción y conocer o estimar mediante alguna herramienta, el conjunto de alternativas correspondiente al tomador de la decisión.

Esta dificultad parece susceptible de ser superada mediante el uso de herramientas de PD (ver Ortúzar y Willumsen, 1994), ya que una de las ventajas más valoradas de esta técnica es precisamente el manejo del conjunto de alternativas disponibles, tanto en la existencia como en la variación de los atributos relevantes que se consideren. A todo lo anterior se debe agregar el hecho de que mediante esta técnica es posible recolectar información de buena calidad a un costo bastante inferior que usando técnicas de preferencias reveladas (PR). Sin embargo, como contrapartida, este enfoque tiene fuentes de error propias, entre las que se destaca la imposibilidad de saber si el encuestado se comportará en la práctica verdaderamente como ha declarado hacerlo en el experimento.

De esta forma, la introducción de esta técnica de recolección y análisis de información, se transforma en un paso natural en el análisis del comportamiento de los agentes en su localización espacial. Sin embargo, esto introduce nuevos desafíos que serán explorados en este trabajo.

Tal como se señaló anteriormente, en estudios pasados se han propuesto medidas de acceso con base microeconómica y consistentes con el enfoque del modelo de transporte ESTRAUS. Sin embargo, parece interesante proponer y probar medidas alternativas, en la perspectiva de acercarse a lo que los agentes de interés perciben como "acceso", que bien pueden discrepar de las medidas extraídas de los modelos.

Con todo lo anterior, surge la necesidad de obtener una fuente de datos que tenga la particularidad de estar enfocada especialmente al problema de percepción del acceso. Esta fuente debiera ofrecer

suficiente variabilidad, con el objeto de permitir estudios posteriores en la estimación y especificación de la variable accesibilidad.

Para construir el instrumento de medición se contó con la amplia experiencia obtenida en la recolección de datos para la modelación de preferencias en elección de modo de transporte (ver por ejemplo Ortúzar y Garrido, 1994; Ortúzar y Willumsen, 1994). En estos trabajos, se ha estado probando distintas formas de generar y aplicar el instrumento de medición, con el fin de adecuarlo a las distintas necesidades de información y posterior uso de los datos en modelación. Una aplicación directa de PD para la modelación de elección de vivienda se puede encontrar en Hunt *et al* (1996), donde se modela la elección de localización en base a un conjunto de variables relacionadas con un entorno genérico de vivienda y localización. La diferencia radical que se presenta en esta investigación, es que se desea generar un modelo de percepción de acceso, y no un modelo de elección de vivienda, lo que permite diferenciar factores relacionados con el sistema de transporte y las variables relacionadas con la vivienda y zona. También se debe agregar que nuestro estudio considera al conjunto completo de integrantes del hogar como elector, lo que de alguna forma es un concepto novedoso.

La medición de las diferentes percepciones que se pueden tener acerca de las medidas de acceso, es un tema nuevo. El desarrollo de esta visión está de alguna forma determinada por la calidad de la información que se pueda obtener. En todo caso, la pregunta relevante en este trabajo se refiere a la manera en que afectan las variables del sistema de transporte a la elección de localización.

Para dar respuesta a esta interrogante se desarrolla una metodología que, aprovechando la experiencia obtenida en el modelo MUSSA, logre obtener resultados independientes respecto del rol del acceso en localización. De esta forma, el punto de partida es la relación entre la disposición a pagar por una determinada localización y las variables de acceso. Además, considerando que el tomador de la decisión opta por una ubicación teniendo un conjunto de alternativas disponibles, parece razonable considerar los siguientes aspectos:

1. Un requerimiento indispensable para medir las variables de acceso desagregadas a nivel de un hogar, es la completa medición de las características de viajes del grupo. Además se debe considerar la recolección de información socioeconómica, que permita clasificar los distintos tipos de hogares de acuerdo a las estratificaciones que se considere apropiadas.
2. A partir de la información anterior, es posible construir un juego de elección o jerarquización para modelar el proceso de localización considerando las variables del sistema de transporte.
3. La mejor forma de medir el concepto de renta, tal como se define en la teoría económica de localización urbana, es a través del arriendo, pues define en forma más precisa el valor de uso de la vivienda. Por esto se recomienda encuestar hogares arrendatarios, con lo que se define un conjunto específico de candidatos a formar parte de la muestra.

La aplicación de la técnica de PD se presenta como una alternativa real y de costo razonable para encontrar un conjunto de individuos tomadores de la decisión de localización cuando se ven enfrentados a cambios en sus variables de transporte. La característica más novedosa que se



presenta en este tipo de estudios, es la construcción del juego de preferencias (u ordenamiento). Estas construcciones toman en cuenta información específica del individuo encuestado, generando diferentes escenarios en el que se sitúa el proceso de elección con el apoyo de herramientas computacionales (Iacobelli, 1994; Simonetti, 1994).

En nuestro caso particular se producen ciertas dificultades, que hacen que el traspaso de la información no sea del todo inmediato. Estos problemas se deben principalmente a que la pregunta acerca de los viajes familiares implicará múltiples viajeros, y la obtención de la información de viajes para todo el grupo familiar aumenta en forma considerable la complejidad del problema. Para abordar este problema, se diseña un juego personalizado en que las alternativas de transporte atañen a los miembros del hogar en forma específica. Esto requiere que la información del hogar debe ser procesada previo a la realización del juego que se propondrá al hogar encuestado. Este tratamiento no es trivial, ya que se debe construir una metodología capaz de obtener el conjunto de viajes representativos dentro del grupo familiar, y sus características relevantes, con el fin de extraer las características que puedan definir la combinación de atributos que componen las diferentes alternativas de localización del hogar encuestado.

### **3.2. El instrumento de medición**

La recolección de información se realizó en dos etapas. En la primera parte se realizó una encuesta que fuera capaz de detectar la estructura de viajes del hogar encuestado, identificando en forma individual a los miembros del hogar y sus viajes. También se consultó por información que permitiera estimar y clasificar su nivel socioeconómico con el fin de hacer estratificaciones posteriores. Una vez recopilada esta información, se procedió a extraer el conjunto relevante de atributos y sus valores, a fin de construir el juego de localización.

#### **3.2.1 Primera parte: recolección de información de viajes**

Para generar este formulario, se tomó como base la encuesta origen-destino (EOD) para la ciudad de Santiago de 1991. La razón fundamental de tomar esta guía es porque en líneas generales se perseguía objetivos similares en esta etapa de la encuesta. El proceso de adaptación es lento de seguir, ya que obviamente la EOD tomada en Santiago no estaba dirigida a la búsqueda de información específica de los hogares con el objeto de conocer los viajes mas representativos que tienen relevancia en la decisión de localización.

En resumen, esta etapa consideró los siguientes aspectos de medición:

1. Información socioeconómica del hogar: en la que quedan cubiertos temas como tipo de vivienda, calidad de la misma, monto de arriendo, ingreso familiar, etc.
2. Información de los viajeros: donde se identifican las características personales de cada viajero que compone el hogar en estudio (nivel de estudio, ocupación, edad, parentesco con el jefe de hogar, etc).
3. Información de viajes: que considera toda la información sobre los viajes de cada viajero identificado en el punto anterior.

Se tuvo especial cuidado en la presentación del material, ya que es de vital importancia que el encuestado esté absolutamente convencido de la seriedad del proceso con el fin de que sienta la mayor confianza posible respecto al proceso, y con esto se asegure una mayor tasa de respuesta a preguntas que suelen ser conflictivas, como por ejemplo el ingreso familiar líquido.

Otra característica importante de mencionar es que, aprovechando que el número de encuestas era relativamente pequeño en comparación con las 30.000 encuestas de la EOD para Santiago del año 1991 (PUCC-CADE, 1992), se optó por otorgar mayor flexibilidad a los encuestados en base a considerar preguntas abiertas que podían ser eventualmente recodificadas.

### 3.2.2 Segunda parte: juego de PD

Las ventajas acerca del enfoque de PD, analizadas por Ortúzar y Willumsen (1994), en alguna medida se transforman en desventajas, reales o potenciales. Esto se debe fundamentalmente al hecho que pueden existir diferencias importantes entre lo que la gente declara que haría, y lo que hace realmente. En parte esto se debe a que las situaciones hipotéticas deben describirse verbalmente o por escrito, y es posible que imprecisiones de lenguaje u otros problemas similares no permitan obtener información completa acerca de la decisión a analizar. Por otro lado, es posible que el conjunto de atributos usados para definir los escenarios no incluyan algún factor importante, aunque esto puede ser minimizado mediante un diseño experimental adecuado.

La innovación que se presenta en este estudio es que el elector es en este caso un hogar, y por lo tanto un conjunto de individuos. El experimento considera diferentes valores para cada atributo y para cada individuo del hogar, y la definición de los niveles de variación se hace con respecto al valor reportado en la encuesta de viajes considerando a cada individuo en particular (ver Figura 2).

Folio: 38  
 Tarjeta: 1

## Tiempo de Viaje

(minutos)

Nombre	Al Trabajo	Al Estudio
Sonia 30		
Ricardo	15	
Pedrito		27

Monto de Arriendo : 150 mil pesos mensuales.

Distancia al Paradero : 1 Cuadra.

**Figura 2 : Tarjeta de Ordenamiento Personalizada**



Esto último permite que las respuestas estén dentro del contexto que cada miembro del hogar conoce, reduciendo con ello el carácter abstracto de la alternativa. El carácter personalizado de las alternativas, que son generadas para cada hogar especialmente, con nombres específicos, otorga una importante componente de realismo al juego. Cabe notar además que la encuesta es contestada por el grupo familiar completo, a modo de simular el proceso de elección del hogar en localización.

Otro aspecto relevante de la encuesta lo constituye el hecho que el hogar es enfrentado a cambios en sus tiempos de transporte y monto de arriendo, pero manteniendo explícitamente fijo el lugar de residencia, su entorno y todo lo relacionado con su localización actual. También se mantienen fijos los viajes generados y sus destinos, así como el uso del suelo en toda el área urbana. Esta situación, de suyo ficticia, tiene por objetivo aislar el compromiso (trade-off) entre tiempo de viaje y renta, de un conjunto de otras variables reconocidamente ambientales relevantes en localización, pero que confunden el rol de la accesibilidad.

La estructuración del juego de ordenamiento consideró tres etapas: un diseño preliminar, un ejercicio de simulación, y la aplicación definitiva.

El diseño preliminar permitió definir con mayor claridad los atributos a considerar, junto con los respectivos niveles de variación. Durante éste, se pensó en incluir todos los motivos de viaje realizados por el hogar, junto con el valor del arriendo pagado, lo que permitiría considerar una posterior valoración de la disposición a pagar por una localización, dado un cambio en el la estructura completa de viajes que se efectúan en el hogar. Este enfoque debió ser reformulado debido a que el motivo de viaje "de compras" no aseguraba confiabilidad en su medición y posterior análisis para ser incorporado en el juego de ordenamiento; esto se debe a que no estaba claro si el de motivo "compras" era el más representativo del viaje reportado debido a la encadenación de viajes. Es así como se optó por no considerarlo como atributo relevante del experimento, postergando para otra investigación la inclusión de este tipo de viajes en el análisis de la percepción de acceso. El problema que aparece con esta nueva formulación es la ausencia de aspectos asociados a viajes no obligados y que tengan influencia en la elección de localización. Lo anterior hace necesario formular a futuro una metodología especial para medir y extraer las características más relevantes que se presentan en estos tipos de viajes, de manera de disminuir el ruido actual y que puedan ser incluidos en experimentos de este tipo.

La incorporación de una variable que ayude a explicar el efecto lejanía-cercanía a los distintos medios de transporte público fue un aspecto importante del estudio. Uno de los temas atractivos de explicar es el efecto urbano del desarrollo de infraestructura de transporte, por ejemplo, el cambio urbano que se genera al implementar una nueva línea de metro, en especial la repoblación que se produce en sus alrededores. Por este motivo se incluyó la distancia al paradero o estación de metro como un atributo que varía entre las alternativas de elección.

El ejercicio de simulación permitió ratificar la capacidad de replicar los valores de los parámetros de la población, dada la estructura del experimento. También ayudó a redefinir valores en los niveles de variación, mejorando así la confiabilidad del instrumento de medición.

Una vez conseguido el diseño definitivo, se entrevistó a 114 hogares con el apoyo de estudiantes de las escuelas de Ingeniería de la Universidad de Chile y Universidad Católica. El trabajo fue meticuloso y con gran capacidad de supervisión, lo que sumado al nivel de los encuestadores, permite asignar alta calidad a los datos obtenidos. La modelación y resultados obtenidos se presentan en el próximo punto.

#### 4. MODELACION Y RESULTADOS OBTENIDOS

La formulación del instrumento de medición pretende confeccionar una base de datos robusta, que pueda entregar información capaz de explicar la percepción de acceso por parte de los tomadores de decisión en la elección de localización. También se ha tenido cuidado con la construcción de la encuesta, de manera de dar flexibilidad para la realización de nuevos estudios. La propuesta es entonces entregar un ordenamiento basado en los atributos recién mencionados, dejando constante el resto de las características no consideradas en forma explícita en las tarjetas, pero variando los factores relacionados con el comportamiento respecto a viajes y sus variables de servicios. Se debe clarificar el hecho que aunque al encuestado se le hizo percibir variaciones en los distintos tiempos de viajes, se dejaba claro que su elección modal permanecía constante, manteniendo así la composición total del viaje (a excepción de la lejanía-cercanía que experimenta a través del tiempo de viaje).

La definición de las variables utilizadas son las siguientes:

$Tt_i$  : Tiempo de viaje al trabajo por el individuo  $i$  (minutos).

$Te_i$  : Tiempo de viaje al estudio por el individuo  $i$  (minutos).

$Cam$  : Distancia del hogar a la estación de metro o buses más cercano (en cuadras).

$Arr$  : Valor del arriendo cancelado (miles de pesos por mes).

$Nt$  : Número de trabajadores en el hogar.

$Ne$  : Número de estudiantes en el hogar.

$ft, fe$  : Frecuencia con que se realiza el viaje con motivo trabajo y estudio (viajes por mes).

$Wt, We$  : Conjunto de individuos del hogar que realizan viajes con motivo trabajo y/o estudio.

Conceptualmente se define la medida de acceso como una medida de la utilidad indirecta condicional en la elección de la alternativa, representada por tiempos viaje y renta, y bajo el supuesto de que el uso del suelo y los viajes (generación y destinos) no se afectan. Es decir es una medida de excedente del consumidor para un análisis restringido, particularmente válido para variaciones marginales de las variables de nivel de servicio; por ello es importante que las alternativas de elección que enfrenta el consumidor se encuentren en el entorno de la actual situación del hogar, lo que se logra con la encuesta personalizada. La derivación de la utilidad indirecta se apoya en el trabajo de Jara-Díaz et al (1995) donde se desarrolla la expresión general de la utilidad a partir del problema de localización dada la estructura de viajes (destinos). La



diferencia con ese trabajo radica que en nuestro caso el uso del suelo juega un rol pasivo pues la localización residencial no se modifica. En consecuencia se propone la medida de acceso de este estudio como:

$$Acc_{hi} = V_h(q_i, I_h - ct_i - r_i, P) \quad (1)$$

donde  $Acc_{hi}$  es la medida de utilidad por accesibilidad del hogar  $h$  en la alternativa  $i$ ,  $I_h$  es el ingreso del hogar,  $ct$  el costo de transporte,  $r$  es la renta representada por el arriendo y  $P$  es el vector de precios numerario del resto de los bienes;  $q$  es un vector de cualidades de la alternativa que incluye los tiempos de viaje. Todas las variables se ajustan a la unidad de temporal mensual.

Para efectos de este trabajo se supone una forma funcional lineal de la accesibilidad, lo que tiene como consecuencia que el ingreso del hogar ( $I_h$ ) y los precios  $P$  no cumplen un rol activo en la elección y por lo tanto no aparecen como variables explicativas; el supuesto implícito en la linealidad en el ingreso es que no existe efecto ingreso.

Por lo tanto, la modelación tuvo como objetivo la búsqueda de distintas especificaciones lineales para explicar la percepción de una variable de acceso, especificada en términos de las variables disponibles a partir de la recolección de información. Con el fin de hacer más clara la evolución en la búsqueda de especificaciones, se definen cinco formas funcionales principales, que ayudarán a expresar los resultados más relevantes de esta parte de la investigación. En todas ellas los parámetros son respectivamente :

$q_1$  : asociado al tiempo de viaje al trabajo;

$q_2$  : asociado al tiempo de viaje al estudio;

$q_3$  : asociado a la distancia al paradero o estación de metro más cercana ;

$q_4$  : asociado al arriendo.

Sin embargo, se debe notar que los valores no son directamente comparables en cada modelo dada la definición de cada función como se muestra a continuación.

Estas formas funcionales están ordenadas de acuerdo a un criterio de análisis especulativo acerca de la posible estructura de una variable que explique la percepción de acceso por parte de los hogares.

En una primera especificación se intentó explicar el acceso mediante un índice que considere el consumo de recursos asociados al sistema de transporte expresado en términos unitarios con el fin de poder comparar hogares con distinto número de componentes. De esta manera, se optó por generar una variable en base al tiempo de viaje total para cada propósito definido, normalizado por el total de personas que realizan los viajes con dichos propósitos; además se consideraron la distancia al paradero o estación de metro más cercana y el valor del arriendo como variables puras. El primer modelo es :

$$Acc = \theta_t \frac{\sum_{i \in W_t} Tt_i}{Nt} + \theta_e \frac{\sum_{i \in W_e} Te_i}{Ne} + \theta_c Cam + \theta_A Arr \quad (2)$$

La razón por la que no se normalizó la variable del arriendo (esto es, dividir por el número de componentes del hogar), es porque no existía una evidencia para pensar que el hogar ponderara un consumo *per cápita* en el valor del arriendo, sino que se pensó que existe un factor aglomerante al tomar la decisión de arrendar. Cabe destacar además que la existencia de un parámetro que acompaña la variable arriendo define que la medida de accesibilidad sea de utilidad (si no se especifica este parámetro pero sí la variable la accesibilidad representa disposición a pagar); segundo,  $\theta_A$  representa la utilidad marginal del ingreso (UMI) con signo negativo.

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos (Modelo 1). Como se puede apreciar, todos los signos son consistentes con la "teoría", ya que se espera que las variables así consideradas tengan un efecto de costo o resistencia en lo que a acceso se refiere. Otro punto importante a considerar es que los test "t" asociados a cada parámetro estimado son muy significativos, concluyendo que este primer modelo es un buen punto de partida par un análisis más detallado.

**Tabla 1**  
**Resultados de la Calibración**

Parámetros, (test-t)	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5
$q_t$	-0,0473 (-10,7)	-0,0468 (-10,8)	-0,0468 (-10,8)	-0,0360 (-8,0)	-0,0354 (-7,9)
$q_e$	-0,0564 (-10,5)	-0,0558 (-10,5)	-0,0594 (-10,5)	-0,0417 (-7,5)	-0,0421 (-7,5)
$q_c$	-0,1739 (-7,7)	-0,1803 (-8,0)	-0,1802 (-8,0)	-0,1221 (-5,1)	-0,120 (-5,0)
$q_A$	-0,0984 (-14,4)	-0,0650 (-14,8)	-0,0650 (-14,8)	-0,0570 (-14,8)	-0,0714 (-13,1)
$q_{Cte}$				1,277 (8,4)	1,269 (8,4)
$\bar{\rho}^2$	0,0984	0,1123	0,1124	0,1361	0,1303

Un segundo modelo intenta internalizar el efecto de la ponderación de un consumo *per cápita* en el costo arriendo:

$$Acc = \theta_t \frac{\sum_{i \in W_t} Tt_i}{Nt} + \theta_e \frac{\sum_{i \in W_e} Te_i}{Ne} + \theta_c Cam + \theta_A \frac{Arr}{Nt + Ne} \quad (3)$$



Los resultados de la calibración de este modelo ((ver Modelo 2 en Tabla 1) entregan valores bastante satisfactorios y similares a los del modelo anterior. De todas formas, se observa una pequeña mejora en el índice general de ajuste  $\bar{\rho}^2$ , junto con la significancia de cada una de las variables. En esta especificación el parámetro  $\theta_A$  representa una UMI per cápita que curiosamente resulta ser sólo un 30% inferior a la obtenida en el modelo 2.

Un tercer modelo incorpora un efecto novedoso en la especificación. Al ingresar la frecuencia con que se realizan los viajes al trabajo y estudio, se logra diferenciar los tiempos viajes realizados por cada miembro del hogar considerando el consumo total en el período mensual. De esta manera se introducen los pesos relativos que aportan los distintos componentes del hogar y se mantiene la normalización de la variable del arriendo; se ha mantenido la misma especificación respecto de las cuabras al paradero. Esto es:

$$Acc = \theta_t \frac{\sum_{i \in W_t} Tt_i \cdot ft_i}{\sum_{i \in W_t} ft_i} + \theta_e \frac{\sum_{i \in W_e} Te_i \cdot fe_i}{\sum_{i \in W_e} fe_i} + \theta_c Cam + \theta_A \frac{Arr}{Nt + Ne} \quad (4)$$

Nuevamente los resultados obtenidos (Modelo 3 Tabla 1) muestran la estabilidad de los parámetros estimados, ya que los resultados son muy similares a los obtenidos anteriormente. De todas formas hay una razón intuitiva que sugiere mantener esta nueva especificación, ya que al introducir las frecuencias de viajes se eliminan posibles observaciones esporádicas que pudieran "deformar" las decisiones del grupo familiar.

En el cuarto y quinto modelo se incorpora una constante específica en la alternativa que representa la situación actual. Este artificio intenta representar la penalidad o aversión al cambio inherente al lugar dónde se habita actualmente. Los factores involucrados pueden ser de diverso orden, y lo que se postula con este parámetro es que pueden ser imputables a un efecto de inercia que representa la actual localización.

La diferencia que existe entre el cuarto y quinto modelo es que la división que se realiza con el valor del arriendo es por un lado el número de viajeros, y por el otro, el número total de habitantes del hogar. El resto de la forma funcional adoptada, es la proveniente del modelo anterior por las razones recién explicadas.

$$Acc = \theta_t \frac{Tt_i \cdot ft_i}{ft_i} + \theta_e \frac{Te_i \cdot fe_i}{fe_i} + \theta_c Cam + \theta_A \frac{Arr}{Nt} + \theta_{Cte} \frac{Arr}{Ne} \quad (4)$$

$$Acc = \theta_t \frac{\sum_{i \in W_t} Tt_i \cdot ft_i}{\sum_{i \in W_t} ft_i} + \theta_e \frac{\sum_{i \in W_e} Te_i \cdot fe_i}{\sum_{i \in W_e} fe_i} + \theta_c Cam + \theta_A \frac{Arr}{N_{hab}} + \theta_{Cte} \quad (5)$$

Los resultados obtenidos en ambos modelos (Modelo 4 y Modelo 5) entregan mejores valores en el ajuste general, introduciéndose una discusión bastante interesante. Al parecer, las familias tienen internamente una aversión al cambio de localización que se ve reflejada en una sobrevaloración de la situación actual frente a las alternativas ofrecidas. De hecho el valor de la constante no deja de ser relevante en su magnitud al ser comparado con los valores de los parámetros asociados al resto de las variables. Aunque si bien puede expresar el efecto de inercia mencionado anteriormente, pudiera darse el hecho de que a través de esta constante se están expresando errores propios del experimento.

Se visualizó interesante generar un índice correspondiente a la razón entre los parámetros relacionados con el tiempo de viaje y el valor del arriendo cancelado. Este índice entregaría una especie de valoración monetaria del ahorro de una unidad de tiempo de viaje al estar en una nueva localización, para una persona del hogar.

La especulación de un resultado esperado para este índice de valoración del tiempo (IVT) es una aproximación al valor subjetivo del tiempo calculado a partir de los modelos de demanda por transporte. La razón de esta creencia se basa en que debiera existir una relación entre los enfoques de medición de beneficios económicos dados por una línea asociada al sistema de transporte, en contraposición con un enfoque ligado al sistema de actividades.

En la Tabla 2, se reportan estos índices calculados para cada uno de los modelos propuestos anteriormente. Este índice se calculó para los dos propósitos de viaje considerados en el experimento de acuerdo a las fórmulas que se indican para cada caso.

**Tabla 2**  
**Resultados del Índice de Valoración del Tiempo (IVT)**

MODELO	$q_t$	$q_e$	$q_A$	IVT. Trab. (\$/min)	IVT. Est. (\$/min)	Formula para obtener IVT.
Modelo 1	-0,0473	-0,0564	-0,0984	8	10	$[q_t/2]/[q_{ATr} 30/1000]$
Modelo 2	-0,0468	-0,0558	-0,0650	40	47	$[q_t/2]/[q_{ATr} 30/(1000 \cdot 3,3)]$
Modelo 3	-0,0468	-0,0594	-0,0650	40	50	$[q_t/2]/[q_{ATr} 30/(1000 \cdot 3,3)]$
Modelo 4	-0,0360	-0,0417	-0,0570	35	40	$[q_t/2]/[q_{ATr} 30/(1000 \cdot 3,3)]$
Modelo 5	-0,0354	-0,0421	-0,0714	36	42	$[q_t/2]/[q_{ATr} 30/(1000 \cdot 4,3)]$

Tal como se puede apreciar en la Tabla 2, los resultados obtenidos en los modelos cuarto y quinto al considerar la muestra completa, arrojan valores del IVT entre 35 y 42 \$/min. Esto valores son completamente consistentes con los valores subjetivos del tiempo (VST) que se han calculado a partir de los modelos de demanda por transporte, lo que agrega otro argumento más para validar el esquema de medición y especificación de esta variable de acceso.

## 5. CONCLUSIONES

Este trabajo permitió realizar una aplicación con técnicas de Preferencias Declaradas (PD), las que aparecieron como una herramienta natural en el proceso de búsqueda de información, y para



ello, se contó con la amplia experiencia existente en el tema de recolección de información para la calibración de modelos de demanda de transporte. De esta forma, la etapa de diseño del experimento de PD planteó un desafío interesante ya que requería un formato variable que se ajustara lo más exactamente posible a la realidad respecto a la toma de decisión por parte de un hogar. Las dificultades que se superaron estaban principalmente relacionadas con la conceptualización del ente elector como el conjunto completo de integrantes del hogar. Así, como primer aporte, se diseñó un experimento que permitió obtener información bastante desagregada, capaz de captar el producto de una negociación o discusión familiar respecto a una decisión, que en este caso correspondió a la elección de una nueva localización.

La base de datos obtenida es el producto de una encuesta que consideró un total de 114 familias, las que realizaron más de 1500 viajes en el día de la encuesta. La distribución de las características socioeconómicas de esta muestra pueden ser consideradas bastante representativas al compararlas con las existentes en la población de la ciudad de Santiago. Esto permitirá contar en el futuro con una fuente valiosa de información para estudios posteriores, ya sea en el ámbito de transporte como también en el de uso de suelos.

Con respecto al proceso de modelación y búsqueda de especificaciones para la variable de percepción de acceso, es posible concluir que el instrumento de medición fue capaz de discriminar efectos de localización en términos de las variables incluidas, ya que sus signos son adecuados y los tests de significancia permiten aceptar los resultados de la modelación, al menos en una etapa preliminar.

Los resultados obtenidos en todos los modelos entregan buenos valores en el ajuste general. En los últimos modelos calibrados, se generó una discusión bastante interesante respecto a la constante modal que se utilizó. Al parecer, las familias tienen internamente una aversión al cambio de localización que se ve reflejada en una sobrevaloración de la situación actual frente a las alternativas ofrecidas. En resumen, se ve que todos los modelos son bastante robustos y estables en sus resultados, lo que es muy satisfactorio, ya que corrobora el cumplimiento de uno de los objetivos principales de esta tesis; que es la obtención de una medida de percepción de acceso.

Por otra parte, la obtención de un índice de valoración de tiempo (IVT) que sea consistente con los resultados obtenidos en los modelos de demanda por transporte (VST) y que interprete monetariamente la disposición a pagar por un ahorro unitario en el tiempo de viaje, dado un cambio en la localización, es un aporte más en la validación del estudio, y deja abierto un camino para resolver metodológicamente comparaciones entre los índices calculados a partir de una modelación con un enfoque basado en el sistema de transporte y el sistema de localización urbana.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha contado con el financiamiento del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) N° 1950.280. Los autores agradecen además el excelente trabajo realizado por los encuestadores pertenecientes a las Escuelas de Ingeniería de la Universidad de Chile y Universidad Católica.

## BIBLIOGRAFIA

Ben-Akiva, M. y S.R. Lerman (1979). Disaggregate travel and mobility-choice models and measures of accesibility. En D.A. Hensher y P.R. Stopher (eds.), **Behavioral Travel Modelling**, Croom Helm, Londres.

Hansen, W. G. (1959) How accesibility shapes land use. **Journal of the American Institute of Planners** 25, 73-79.

Hunt J.D., J.D.P. McMillan y J.E. Abraham (1992) Stated preference investigation of influences on attractiveness of residencial locations. **Transportation Research Record** 1466.

Iacobelli, A. (1994) Valor Subjetivo del Tiempo en Viajes Interurbanos para Bus y Tren. Tesis de Magister, Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.

Jara-Díaz S.R., F.J. Martínez y I. Zurita (1994) A microeconomic framework to understand residential location. **Proceedings of the 22<sup>nd</sup> PTRC Summer Annual Meeting Seminar G**, 115-127

Mackiewicz A. y W. Ratajczak (1996) Towards a new definition of topological accessibility. **Transportation Research** 30. 47-79.

Martínez, F.J. (1992a) The BID-CHOICE land-use model: an integrated economic framework. **Environment and Planning** 24, 871-885.

Martínez, F.J. (1992b) Towards the 5-stages land use-transport model. **Selected Proceedings of the Sixth World Conference on Transportation Research**, Lyon, Francia.

Martínez, F.J. (1995) Access: the transport-land use economic link. **Transportation Research** 29B, 457-470.

Martínez, F.J. y P. Donoso (1995a) MUSSA Model I: the theoretical framework. **Proceedings 7<sup>th</sup> World Conference on Transportation Research**, Sydney, Australia.

Martínez, F.J. y P. Donoso (1995b) MUSSA Model II: the operational model. **Proceedings 7<sup>th</sup> World Conference on Transportation Research**, Sydney, Australia.



- Mc Fadden, D. L. (1978) Modelling the choice of residencial location. En A. Karlqvist, L. Lundqvist, F. Snickars y J. W. Weibull (eds.), **Spatial Interaction Theory and Planing Models**, North-Holland, Amsterdam.
- Neuburger, H. (1971). User benefit in the evaluation of transport and land use plans. **Journal of Transport Economics and Policy** 5, 1-10.
- Ortúzar J. de D. y Garrido, R. A. (1994) On the semantic scale problem in stated preference rating experiments. **Transportation** 21, 185-201
- Ortúzar, J. de D. y Willumsen, L.G. (1994) **Modelling Transport**. John Wiley and Sons, Chichester.
- Pooler J.A. (1995) The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility. **Transportation Research** 29<sup>a</sup>. 421-427.
- PUC-CADE (1992) Encuesta Origen-Destino de Viajes del Gran Santiago 1991. Informe final a la Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Transporte Urbano, Santiago.
- SIGDO KOPPERS-CIS (1989) ESTRAUS: Estudio Estratégico de Transporte del Gran Santiago. Informe final a la Secretaría Ejecutiva de la Comisión de Transporte Urbano, Santiago.
- Simonetti, C. M. (1994) Valor Subjetivo del Tiempo en Viajes Interurbanos en Avión. Tesis de Magister, Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Williams, H.C.W.L. (1976) Travel demand models, duality relations and user benefit analysis. **Journal of Regional Science** 16, 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** 9 A, 285-344.
- Williams, H.C.W.L. y M.L. Senior (1978) Accesibility, spatial interaction and evaluation of land use transportation plans. En A. Karlqvist, L. Lundqvist, F. Snickars y J. W. Weibull (eds.), **Spatial Interaction Theory and Planning Models**, North Holland, Amsterdam.
- Wilson, A.G. (1967) A statistical theory of spatial distribution models. **Transportation Research** 1, 253-269.
- Zurita, I. E. (1996) Un enfoque microeconómico para entender y modelar la localización residencial. Tesis de Magister, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Santiago.