

## VALORACIÓN SOCIAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA A PARTIR DE PERCEPCIONES SUBJETIVAS

Sergio R. Jara-Díaz  
Universidad de Chile  
Casilla 228-3, Santiago, Chile  
(56-2) 689 4206, Fax (56-2) 671 8788  
e-mail: [jaradiaz@cec.uchile.cl](mailto:jaradiaz@cec.uchile.cl)

Cristián Vergara Novoa  
División de Estudios y Desarrollo  
Subsecretaría de Transportes

Tristán Gálvez Pérez  
CITRA Ltda..  
Praga 534, Santiago, Chile  
e-mail: [citra@terra.cl](mailto:citra@terra.cl)

### RESUMEN

En esta investigación se intenta determinar una valoración social de la contaminación atmosférica, a partir de las percepciones individuales de quienes se ven directamente afectados por ésta. Para determinar dichas percepciones se realizó una encuesta de preferencias declaradas (PD) de elección residencial, contexto en el cual los individuos son sensibles a variaciones en esta externalidad. Para representar la contaminación atmosférica dentro del diseño de PD se utilizó la medida objetiva "días de alerta ambiental al año" en cada localización. Considerando también la accesibilidad a los lugares de trabajo y estudio, y los montos de arriendo mensual de cada localización, se estimó un modelo de elección discreta segmentado socioeconómicamente. Lo anterior alimentó el cálculo de las valoraciones sociales usando el enfoque propuesto por Gálvez y Jara-Díaz (1998), el cual descansa en la determinación de las percepciones subjetivas de los atributos que se desean valorar y en el cálculo de una utilidad social del dinero, factor fundamental para la transformación de tales percepciones (utilidades marginales) en valoraciones sociales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las externalidades más nocivas producidas por los sistemas de transporte ha sido la contaminación atmosférica. A lo largo de los años se han realizado múltiples intentos para poder disminuirla, así como por determinar una valoración de ésta y de esa forma poder cuantificar el beneficio social asociado a su reducción. Para esto último se conocen diversos métodos, como valoración contingente (Otterbeck, 1995), cálculo del ahorro directo de recurso (Maddison *et al.*, 1996) y modelos de elección discreta (Bradley *et al.*, 1993), particularmente relevantes para esta investigación pues permiten captar percepciones de los individuos que se ven directamente afectados por esta externalidad.

En este artículo el objetivo es determinar valores sociales para la contaminación atmosférica a partir del método propuesto por Gálvez y Jara-Díaz (1998), el cual depende directamente de las percepciones individuales (utilidad marginal) de los atributos que se desean valorar y de una utilidad social del dinero, que transforma las percepciones subjetivas en valoraciones sociales.

En la sección 2 se presenta el enfoque de evaluación propuesto. En la sección 3, junto con mostrar la aplicación del enfoque al caso de la contaminación atmosférica, se presenta la forma y el contexto de elección en que se ha incorporado esta variable dentro de los modelos de elección discreta. En la sección 4, se resume el experimento de preferencias declaradas realizado para captar la percepción de la contaminación atmosférica y, además, se presenta la forma como fue especificada esta variable dentro del experimento. La sección 5, presenta los modelos estimados. En la sección 6, se calculan las valoraciones sociales de esta externalidad y, finalmente, en la sección 7 se presenta una síntesis con las principales conclusiones.

## 2. UN ENFOQUE PARA LA VALORACIÓN SOCIAL DE CAMBIOS CUALITATIVOS EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

El enfoque de evaluación propuesto por Gálvez y Jara-Díaz (1998) se basa en la existencia de una función de utilidad social ( $W$ ) que depende de la utilidad de cada uno de los individuos ( $W_q$ ) que la componen. Esta última depende de la cantidad óptima de bienes consumidos por cada individuo  $q$  ( $X_{iq}$ ), los que son función del ingreso individual ( $I_q$ ), los precios de mercado ( $P_M$ ) y la calidad de éstos ( $Q$ ). Lo anterior, puede ser expresado como:

$$W = W(W_1, \dots, W_q, \dots, W_n) \quad (1)$$

donde

$$W_q = W_q(X_{iq}[I_q, P_M, Q]) = V_q(I_q, P_M, Q) \quad (2)$$

representa la utilidad indirecta del individuo  $q$ .

Todo nuevo proyecto generará variaciones en la utilidad del individuo o grupo  $q$  lo que producirá una variación en la utilidad social  $W$ . La variación individual de utilidad puede ser cuantificada en términos monetarios a través del excedente del consumidor  $dB_q$ . Por lo tanto, una variación de  $W$  puede ser expresada como

$$dW = \sum_q \frac{\partial W}{\partial W_q} \frac{\partial W_q}{\partial I_q} dB_q = \sum_q \frac{\partial W}{\partial W_q} \lambda_q dB_q \quad (3)$$

donde  $\lambda_q$  es la utilidad marginal del ingreso del grupo socioeconómico  $q$ .

Como fuera planteado en Gálvez y Jara-Díaz (1998) y en Jara-Díaz *et al* (2000), el término  $\partial W / \partial W_q$  representa la importancia que la sociedad asigna al grupo  $q$ . Este “peso social” refleja una decisión política. En este caso, y al igual que en las investigaciones mencionadas, supondremos que todos los individuos son igualmente importantes, con lo que el término  $\partial W / \partial W_q$  puede ser considerado igual a una constante cualquiera  $k$ .

Por otra parte, para poder cuantificar esta variación de la utilidad social en beneficios monetarios ( $dB$ ), es necesario definir un factor de conversión  $\lambda_s$  que hemos llamado utilidad social del dinero, tal que

$$dB = \frac{dW}{\lambda_s} = \sum_q k \frac{\lambda_q}{\lambda_s} dB_q \quad (4)$$

Para calcular  $\lambda_s$  se debe buscar una equivalencia entre utilidad social y dinero que sea aceptada por la sociedad. Dado que estamos hablando de proyectos sociales en el sentido de financiamiento público como parte del presupuesto nacional, una posible fuente de información para el cálculo de  $\lambda_s$  es la estructura de impuestos, ya que ésta supone socialmente conveniente la disminución de utilidad individual con el fin de recaudar un monto determinado. La pérdida marginal de utilidad social debido al pago marginal de impuestos ( $dT_q$ ) por cada grupo socioeconómico puede ser expresada como

$$dW = \sum_q \frac{\partial W}{\partial W_q} \frac{\partial W_q}{\partial I_q} dT_q = k \sum_q \lambda_q dT_q \quad (5)$$

Por otra parte, existirá una recaudación marginal total de impuestos igual a

$$dT = \sum_q dT_q \quad (6)$$

Luego, la razón entre la pérdida marginal de utilidad social y la cantidad marginal total recaudada es, por definición, un factor de conversión implícitamente acordado y aceptado socialmente. Entonces,  $\lambda_s$  queda determinado por

$$\lambda_s = \frac{dW}{\sum_q dT_q} = \frac{k \sum_q \lambda_q dT_q}{\sum_q dT_q} = k \sum_q \lambda_q \theta_q \quad (7)$$

donde  $\theta_q$  representa la proporción marginal, dentro de la recaudación total, tributada por el estrato  $q$ .

Si se reemplaza (7) en (4), se aprecia que al haber considerado igualmente importante a todos los segmentos de la sociedad, la constante  $k$  se cancela en el cálculo del beneficio social. Debido a esto, se puede considerar  $k = 1$  sin afectar los resultados.

A continuación se verá el caso de la ecuación (4) dentro del contexto de modelos de elección discreta, donde la utilidad de la alternativa  $i$ , generalmente, es representada linealmente como

$$V_i = \sum_k \beta_k h_{ki} \quad (8)$$

donde  $h_{ki}$  es el atributo  $k$ -ésimo de la alternativa  $i$  y  $\beta_k$  que es el parámetro asociado a éste representa su utilidad marginal. En este contexto  $\lambda_q$  y  $dB_q$  poseen características particulares. Por una parte,  $\lambda_q$  corresponde al valor absoluto del parámetro asociado al costo (Viton, 1985; Jara-Díaz y Farah, 1988), en tanto que  $dB_q$  corresponde a la variación de la utilidad individual, producida por un proyecto, valorada monetariamente. Según el desarrollo de Jara-Díaz (1990) este término puede ser aproximado como

$$dB_q \approx - \sum_{i \in M_q} X_i^q \Delta c_i + \sum_k VSk^q \sum_{i \in M_q} X_i^q \Delta h_{ki} \quad (9)$$

donde  $X_i^q$  es la demanda promedio del grupo  $q$  por la alternativa  $i$  entre las situaciones con y sin proyecto;  $\Delta c_i$  y  $\Delta h_{ki}$  corresponden a la variación producida por el proyecto en el costo y en el atributo  $k$  de la alternativa  $i$ , respectivamente. Por último,  $VSk^q$  es el valor subjetivo del atributo  $k$  para el grupo  $q$ , que en este caso queda definido por la razón:

$$VSk^q = \frac{\beta_k^q}{\lambda_q} \quad (10)$$

Si se reemplaza (9) en (4), se obtiene que el beneficio social queda determinado por

$$dB = - \sum_q \frac{\lambda_q}{\lambda_s} \sum_{i \in M_q} X_i^q \Delta c_i + \sum_q \sum_k \frac{\beta_k^q}{\lambda_s} \sum_{i \in M_q} X_i^q \Delta h_{ki} \quad (11)$$

donde el primer término corresponde al beneficio social debido a una reducción en los costos de las alternativas, y el segundo al beneficio social debido a una mejora en la calidad de éstas. Por esta razón, el término  $\frac{|\beta_k^q|}{\lambda_s}$  es el valor social del incremento de calidad  $k$  en el grupo  $q$ .

### 3. EL CASO DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: CUANTIFICACIÓN DE BENEFICIOS, CONTEXTO DE ELECCIÓN Y TIPOS DE ATRIBUTOS

De acuerdo a lo desarrollado en la sección 2, el beneficio social debido a variaciones  $\Delta CA_i$  en el atributo asociado a la contaminación atmosférica es

$$dB = \sum_q \frac{|\beta_{CA}^q|}{\lambda_s} \sum_{i \in M_q} \bar{X}_i^q \Delta CA_i \quad (12)$$

Por lo tanto,  $\beta_{CA}^q / \lambda_s$  es un valor social de la contaminación atmosférica por estrato socioeconómico que resulta de asignar la misma importancia a cada segmento de la sociedad en el cálculo del beneficio social. Se trata, entonces, de calcular  $\beta_{CA}^q$  y  $\lambda_s$ .

Para calcular  $\beta_{CA}^q$  se debió analizar dentro de qué contextos los individuos percibían directamente la contaminación atmosférica, y de esa manera captar la utilidad marginal de ésta a través de los modelos de elección discreta. En la literatura se ha incorporado esta externalidad dentro de los contextos de elección de localización residencial, elección de sitios de recreación y elección de modo de transporte. Sin embargo, sólo en los dos primeros casos el individuo percibe el efecto total directo de la contaminación. Su decisión, por lo tanto, refleja en mejor forma el peso relativo de este factor.

Por otra parte, y en conjunto con la determinación del contexto de elección, se debió determinar mediante qué tipo de atributo era más adecuado representar la contaminación dentro de un experimento de preferencias declaradas. La literatura muestra dos corrientes en las que se proponen formas de describir contaminación en un contexto de elección: contaminación del agua y contaminación atmosférica.

En el primer caso, Parson y Kealy (1992) estimaron modelos de elección de sitio de recreación utilizando dos indicadores de la calidad del agua: oxígeno disuelto y claridad. Adamowicz *et al* (1994), utilizaron una variable dummy para representar la calidad del agua en sus modelos de elección de sitios de pesca. Por otra parte, otras investigaciones han intentado captar la percepción de la contaminación acuática a través de medidas más objetivas que las anteriores. Por ejemplo, Kaoru *et al* (1995) estimaron modelos de elección de sitios de pesca, considerando como una medida de la calidad del agua la carga de nitrógeno y la demanda biológica de oxígeno. Así, también, Tay y McCarthy (1994) representaron la calidad del agua a través de las concentraciones de coliformes fecales, aceite, fósforo, plomo y cobre en ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En cuanto a la percepción de la contaminación atmosférica, ésta ha sido, principalmente, ligada al contexto de elección residencial. Por ejemplo, Hunt *et al* (1995) realizaron un experimento de PD, basado en una jerarquización, para determinar cuáles eran los atributos más importantes que determinaban la elección de residencia en Calgary, Canadá. Para esto consideraron cuatro factores que debían ser importantes en este tipo de decisión, siendo uno de éstos el medio ambiente, cuya calidad fue representada por tres elementos: frecuencia con que la calidad del aire es considerada mala por el organismo estatal Alberta Environment, proximidad a valles de ríos o a áreas de

importancia medioambiental, y pérdida de espacios públicos debido a la construcción de alguna carretera a través del valle de un río o en un área de importancia medioambiental.

En la investigación realizada por Wardman *et al* (1991), se intentó estimar una valoración monetaria de la calidad ambiental y la accesibilidad a partir de medidas objetivas de la calidad del aire, como la presencia (concentración) de dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) en  $\mu g/m^3$ . Para esto los autores realizaron encuestas de preferencias declaradas a familias donde se incorporaron atributos como la calidad del aire, nivel de ruido y accesibilidad. En cuanto al atributo ambiental, éste fue especificado basándose en dos enfoques: descripción específica de la localización y porcentajes de cambio. El primero de ellos consistió en presentar a cada jefe de hogar 5 localizaciones con calidad de aire muy mala y 5 localizaciones con calidad de aire muy buena, debiendo seleccionar una de cada grupo denotadas Best y Worst. Luego, se les hacía escoger una localización entre pares de alternativas, donde se enfrentaba la localización actual de cada hogar con cada una de las dos localizaciones escogidas anteriormente. En el segundo enfoque también se les enfrentaba con pares de alternativas, las cuales presentaban variaciones porcentuales con respecto a la situación actual de cada familia en cada atributo.

Cabe señalar, por último, que investigaciones como la realizada por Bradley *et al* (1993), enfocada a captar la percepción de la contaminación atmosférica a través de la elección modal, ratifican que esta externalidad no es percibida por los individuos dentro de un contexto de elección de modo. Aunque se obtuvo un parámetro significativo para el atributo asociado a la contaminación, los autores advierten que éste debe ser interpretada cuidadosamente, ya que este atributo puede ser asociado con el "**Bien Social**" de mejorar la calidad del aire y no con la percepción directa de esta externalidad. Además, advierten que un **consumidor individual no puede recibir directamente el beneficio de adquirir un vehículo más limpio**, y que el beneficio de una mejor calidad del aire sólo ocurre cuando un número importante de vehículos con tecnologías más limpias son utilizados.

#### 4. DISEÑO DEL EXPERIMENTO DE PREFERENCIAS DECLARADAS Y ESPECIFICACIÓN DE LA VARIABLE AMBIENTAL

##### 4.1. Aspectos generales

Según se ha visto, es más adecuado captar la percepción subjetiva de la contaminación atmosférica dentro del contexto de elección residencial, ya que sería en este tipo de decisiones donde los individuos percibirían directamente esta externalidad, presentándose situaciones de compromiso entre dinero y calidad ambiental, lo que permitiría determinar valoraciones subjetivas (disponibilidades a pagar individuales), y luego las valoraciones sociales asociadas a este atributo.

Con el objetivo de captar la percepción individual de la contaminación aérea, se realizó una encuesta de preferencias declaradas (PD) sobre elección de localización residencial a diversas familias de estudiantes de ingeniería civil de la Universidad de Chile. Previo a lo anterior, experiencias piloto y entrevistas personales permitieron determinar las variables a incorporar en la encuesta de PD, junto con sus niveles de variación. De estas experiencias también se pudo concluir que familias arrendatarias (no dueñas) de sus viviendas consideran más realista la idea de cambiar

de lugar de residencia<sup>1</sup> y, por lo tanto, tienen una percepción más clara del mercado de arriendo de viviendas.

La encuesta se basó principalmente en la metodología propuesta por Ortúzar *et al* (2000). Ésta constó de dos etapas. En la primera los objetivos principales eran obtener información acerca de la ubicación geográfica de cada hogar en Santiago, los tiempos de viaje desde éste a los lugares de trabajo y estudio para cada uno de los integrantes de la familia, el monto de arriendo cancelado mensualmente por la vivienda y la percepción de cada familia con respecto a la calidad del aire en el entorno del lugar de residencia. La segunda etapa consistió en un experimento de PD de elección de localización residencial, generado para cada familia a partir de los datos obtenidos en la primera etapa, dónde cada localización estuvo descrita por tres a cuatro atributos: tiempos de viaje al trabajo ( $T_w$ ) y/o estudio ( $T_e$ ) para cada integrante de la familia (según correspondiera), montos de arriendo (*Arr*) a cancelar por una vivienda en dicha localización y una variable asociada a la calidad del aire (*CA*) en el entorno de ésta.

#### 4.2. Tratamiento de la variable ambiental

Para representar la contaminación atmosférica dentro del experimento de preferencias declaradas, se decidió utilizar la clasificación empleada por el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA) para medir la calidad del aire en cada una de las ocho estaciones de monitoreo que existen en la Región Metropolitana. Estas mediciones son realizadas diariamente por este organismo, por lo que se contó con un registro de la calidad del aire para cada día del año, el que es de conocimiento público. Esto último es muy favorable ya que, al ser divulgada por diversos medios de comunicación (televisión, radios y periódicos), es posible suponer que gran parte de la población posee algún grado de conocimiento acerca de calidad del aire en la capital. La clasificación utilizada por el SESMA se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Clasificación de la calidad del aire en Santiago según el SESMA

INDICE	CATEGORÍA	COMENTARIO
0 a 100	BUENO	No sobrepasa la norma chilena de calidad del aire.
101 a 200	REGULAR	Comienza a empeorar la calidad del aire. Molestias leves
201 a 300	MALO	Situación de <b>ALERTA ambiental</b> . Posibles daños en la salud
301 a 400	CRITICO	Efectos potenciales en la salud en grupos de riesgo. Se supera el índice 300. Situación de <b>PRE-EMERGENCIA ambiental</b>
401 a 500	PELIGROSO	
Sobre 500	EXCEDE	Superado el límite 500. Situación de <b>EMERGENCIA ambiental</b>

Fuente : Programa de Vigilancia de Calidad del Aire SESMA (1998)

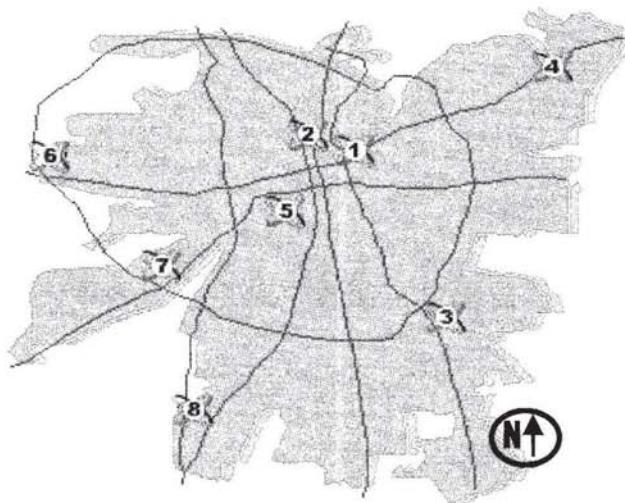
<sup>1</sup> Una familia declaró textualmente en una de las entrevistas: "Los arrendatarios somos personas nómades, siempre estamos considerando la posibilidad de cambiar de casa"

En cada estación de monitoreo se miden distintos tipos de contaminantes, tales como CO (monóxido de carbono), NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno), MP10 (material particulado bajo 10 micrones), O<sub>3</sub> (ozono) y SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre). Sin embargo, se pudo constatar que el único que sobrepasó el índice 200 durante el año 1998, provocando situaciones de alerta ambiental, fue el MP10. El resto de los contaminantes siempre se mantuvo bajo el índice 100, nivel hasta el cual la calidad del aire es considerada buena. Cabe hacer notar que, por esta razón, los días de alerta ambiental sólo reflejan contaminación generada por el MP10 (en el año considerado).

Es importante aclarar que durante 1998 bastaba que sólo una de las estaciones de monitoreo superara el índice 200, para que fuera decretada la alerta ambiental en toda la Región Metropolitana para el día siguiente al que había sido realizada la medición. Actualmente existe un método predictivo que, entre otras cosas, se basa en mediciones de cada estación, para decretar los episodios ambientales en la ciudad.

En cuanto a la distribución espacial de las estaciones de monitoreo, es posible observar de la figura 1 que éstas abarcan distintas áreas de la capital (Centro, Nor-Oriente, Nor-Poniente, Sur-Oriente y Sur-Poniente), lo que permitiría encontrar diferencias en los niveles de contaminación ambiental entre distintas zonas de Santiago. Por lo tanto, es de esperar que existan distintas percepciones individuales con respecto a este fenómeno.

**Figura 1: Distribución espacial de las estaciones de monitoreo**



**Fuente:** SESMA (1998)

Con las concentraciones diarias de MP10, en ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), registradas en cada estación durante 1998, fue posible obtener la cantidad de días al año en cada categoría. Es importante destacar que todos los días en que se superó el índice 200 ocurrieron durante los meses de otoño e invierno, meses que corresponden al período más crítico de la contaminación atmosférica en Santiago (82 días).

A partir de los datos anteriores y de las experiencias piloto, se decidió que lo más adecuado era representar la calidad del aire a través del número de días de alerta ambiental, dentro del cual se consideraron los días de pre-emergencia y emergencia debido a que en éstos, también, se supera el índice 200 y, por lo tanto, la calidad del aire es considerada mala. Tal vez los individuos no sepan

exactamente la cantidad de días de alerta ambiental en el entorno de sus hogares; sin embargo, deberían tener alguna percepción de éstos. Además, la mayoría de los santiaguinos saben que el período de mayor contaminación ocurre durante los meses de otoño e invierno y, también, relacionan una mayor contaminación del aire con una mayor cantidad de días de alerta, pre-emergencia o emergencia ambiental.

A pesar de lo anterior, se consideró el hecho que algunas familias no supieran cómo es la calidad ambiental en el entorno de sus viviendas, ni en Santiago en general, y se decidió darles a conocer, antes del ejercicio de PID, la cantidad de días de alerta ocurridos durante 1998 en la estación de monitoreo más cercana a sus residencias, y la cantidad de días ocurridos en toda la Región Metropolitana. De esta manera cada familia podría determinar qué tan buena era la calidad ambiental en su entorno con respecto a toda la capital.

#### 4.3. Experimento de preferencias declaradas

Para la confección de este experimento se utilizó un diseño factorial fraccional (Kocur *et al.* 1982) considerando sólo efectos principales y todas las variables con tres niveles de variación, lo que dio como resultado un diseño con nueve alternativas, en el que cada una de ellas correspondía a una variación porcentual con respecto a la situación actual de cada hogar, en cada uno de los atributos considerados. Es decir, el diseño fue personalizado en forma relativa a la experiencia vigente de cada hogar. Además, a éste se le adjuntó una alternativa que representaba la situación actual de cada familia, con el fin de otorgarle naturalidad y realismo a los encuestados con las situaciones planteadas. La hipótesis planteada fue que la vivienda actual de cada familia se mantenía exactamente igual, y sólo variaban los atributos mencionados. Finalmente, las familias debían jerarquizar el conjunto de diez localizaciones, generados a partir de los niveles de variación presentados en el cuadro 2, desde la más conveniente hasta la menos conveniente. Esto con el objeto de convertir una respuesta familiar en nueve elecciones implícitas.

**Cuadro 2: Niveles de variación de cada atributo**

	0	1	2
Tiempo de viaje al trabajo (min)	-25%	+20%	+40%
Tiempo de viaje al estudio (min)	+25%	-20%	-40%
Arriendo (\$/mes)	-10%	+15%	+20%
Días de alerta ambiental (durante meses de otoño-invierno)	0	-3	-5

Fuente: Elaboración propia

La muestra estuvo compuesta por 134 hogares, provenientes de las encuestas realizadas por Rodríguez (2000) y Vergara (2000).

El cuadro 3 presenta la distribución de las familias según su ingreso familiar per-cápita mensual.

**Cuadro 3: Número de familias en cada estrato según ingreso familiar per-cápita mensual**

ESTRATO	\$ DE 1999	Nº DE FAMILIAS
1	Entre 0 y 37.879	2
2	Entre 37.879 y 75.758	4
3	Entre 75.758 y 106.061	3
4	Entre 106.061 y 166.667	18
5	Entre 166.667 y 257.576	31
6	Entre 257.576 y 378.788	31
7	Entre 378.788 y 757.576	21
8	Más de 757.576	9
9	No contesta	15

Fuente: Elaboración propia

Con esta segmentación se definieron dos grupo de ingreso, uno Bajo (estratos 1 a 4) que poseía un ingreso familiar promedio de \$397.222 al mes y pagaba, en promedio, un arriendo mensual de \$138.778 aproximadamente (lo que equivale a un 35% del ingreso). Por otra parte, el grupo de ingreso Alto (estratos 5 a 8) poseía, en promedio, un ingreso familiar de \$1.116.440 mensuales, y pagaba un arriendo promedio al mes de \$219.540 (20% del ingreso). Es importante señalar que la mayoría de las familias pertenecían a comunas clasificables como de altos ingresos promedio, tales como Las Condes, La Reina y Vitacura.

Por último, se debe mencionar que se realizó un proceso de filtro a la muestra con la intención de obtener estimaciones no sesgadas de los parámetros asociados a cada atributo. Para esto se hizo un análisis de las jerarquizaciones realizadas por los hogares y se eliminó a aquéllos que revelaron elecciones lexicográficas (jerarquizan sólo de acuerdo a un atributo; Saelesminde, 1998) y/o irracionales (prefieren alternativas inferiores), quedando finalmente la muestra reducida a 112 familias.

## 5. MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO FRENTE A LA ELECCIÓN RESIDENCIAL

Al verse enfrentada a la decisión de dónde localizar su lugar de residencia, cada familia considera una serie de atributos relacionados con las características propias de la vivienda y el entorno de ésta, junto con analizar cuál será la influencia de estas componentes en la realización de diversas actividades. Para modelar este proceso de elección se consideró el enfoque propuesto por Jara-Díaz y Martínez (1999), en el cual después de algunos desarrollos se obtiene la función de utilidad de la localización  $s$

$$V_s = \beta_{Arr} p_s + \beta_{CA} CA_s + acc_s \quad (13)$$

donde  $p_s$  es el valor del arriendo y  $CA_s$  la cantidad de días de alerta ambiental ocurridos en la localización  $s$ . Por otra parte,  $acc_s$  corresponde a la accesibilidad desde la localización  $s$ , y fue desagregada en dos términos: accesibilidad al trabajo y al estudio, asociándola a los tiempos de viaje al trabajo ( $T_w$ ) y estudio ( $T_e$ ) de cada integrante de la familia. Para modelar lo anterior, se

utilizó la ecuación (14) que considera el tiempo total destinado a viajar por cada familia durante una semana

$$acc_s = \beta_{tw} \underbrace{\left( \sum_{j \in W} f_j t_j \right)}_{tw_s} + \beta_{te} \underbrace{\left( \sum_{j \in E} f_j t_j \right)}_{te_s} \quad (14)$$

donde:

$W$ : Conjunto de individuos en el hogar que realizan viajes con motivo trabajo.

$E$ : Conjunto de individuos en el hogar que realizan viajes con motivo estudio.

$t_j$ : Tiempo de viaje del individuo  $j$  desde su residencia al lugar de trabajo o estudio. [minutos]

$f_j$ : Frecuencia semanal con que el individuo  $j$  realiza el viaje con motivo trabajo o estudio.

La estimación de los parámetros de la ecuación (13) se realizó a partir de un modelo logit simple explotado, según el cual en cada jerarquización las familias realizan varias elecciones implícitas. Así, en la primera jerarquización las familias realizan una elección con un conjunto de alternativas disponibles igual a  $N$ , con  $N$  el número de localizaciones a jerarquizar. En la segunda jerarquización el conjunto de alternativas disponibles es  $N-1$ . En el tercero, será  $N-2$ , y así sucesivamente hasta quedar sólo dos localizaciones. De este proceso se observa que la jerarquización de las 10 localizaciones, puede ser explotado como 9 elecciones por familia. Con lo anterior, se obtiene una fuente de datos de 1.008 (112\*9) observaciones válidas.

Los parámetros de los grupos socioeconómico considerados (Bajo y Alto) fueron estimados en forma conjunta, considerando un único factor de escala de manera de evitar introducir inconsistencias en el cálculo de la valoración social  $\beta_{C4}^B / \lambda_s$ , en el cual es necesario que este factor se desvanezca al realizar el cuociente entre los términos.

El cuadro 4 muestra los parámetros estimados para cada atributo.

Cuadro 4: Estimación de parámetros

[Utiles/(minuto/semana)]				[Utiles/(día de alerta/año)]		[Utiles/(miles de \$/mes)]	
$\beta_{tw}^B$	$\beta_{tw}^{A1}$	$\beta_{te}^B$	$\beta_{te}^{A1}$	$\beta_{CA}^B$	$\beta_{CA}^{A1}$	$\beta_{Arr}^B$	$\beta_{Arr}^{A1}$
-0,0029 (-5,5)	-0,0034 (-9,3)	-0,0025 (-5,0)	-0,0023 (-6,4)	-0,2206 (-5,0)	-0,2613 (-10,3)	-0,0394 (-7,2)	-0,0264 (-12,3)
$L(\beta) = -1051,7324$							
$L(Cte) = -1298,2041$							
$\rho^2 = 0,19$							

Fuente: Elaboración propia

() : t-estadístico

Del cuadro anterior se aprecia que todos los parámetros son estadísticamente significativos. Además, se observa que los parámetros asociados al tiempo de viaje al trabajo y a la

contaminación atmosférica resultan levemente superiores en valor absoluto para el segmento de ingreso Alto, revelando una mayor desutilidad debido a un incremento marginal en cada uno de éstos. En cambio, en los parámetros asociados al tiempo de viaje al estudio y al arriendo se observa el efecto inverso, siendo más marcada la diferencia en el caso del arriendo, que como era de esperar siempre resulta más significativo para los segmentos de menores ingresos.

Debido a las similitudes detectadas en algunos parámetros, se decidió testear la hipótesis de igualdad entre estratos en las percepciones del tiempo de viaje al trabajo, tiempo de viaje al estudio y contaminación atmosférica. Para esto se estimó un modelo restringido que sólo diferenció socioeconómicamente en los parámetros asociados al arriendo. El cuadro 5 presenta las estimaciones obtenidas en este caso.

**Cuadro 5: Estimación de parámetros en el modelo restringido**

[Utiles/(minuto/semana)]		[Utiles/(día de alerta/año)]	[Utiles/(miles de \$/mes)]	
$\beta_{Tw}$	$\beta_{Te}$	$\beta_{CA}$	$\beta_{Arr}^B$	$\beta_{Arr}^A$
-0.0032 (-10,8)	-0.0024 (-8,2)	-0.2515 (-11,4)	-0.0405 (-7,7)	-0.0262 (-12,4)
$L(\beta_{restringido}) = -1.052,3244$				
$L(Cte) = -1.298,2041$				
$\rho^2 = 0,19$				

Fuente: Elaboración propia

() : t-estadístico

Del cuadro 5 se aprecia que al considerar un modelo restringido en los tiempos de viaje y la contaminación, los parámetros asociados a estas variables se encuentran al interior de los intervalos obtenidos para cada grupo socioeconómico en el cuadro 4. Además, de los cuadros 4 y 5 es posible realizar el test de hipótesis

$$\chi^2 = -2(L(\beta_{restringido}) - L(\beta)) = 1,184 \quad (15)$$

Este valor es menor que el punto crítico de aceptación en una distribución chi cuadrado con 3 grados de libertad al 95% de confianza. De acuerdo a este criterio, los parámetros pueden ser considerados iguales entre ambos segmentos. Este es un resultado particularmente interesante, ya que todas las diferencias en valores subjetivos entre estratos se deberán a la diferencia entre las utilidades marginales del ingreso, en tanto que los valores sociales serán iguales.

El cuadro 6 presenta las valoraciones subjetivas de cada uno de los atributos, para cada grupo socioeconómico, a partir del modelo restringido. En cada caso, estos valores corresponden a los cuocientes entre los parámetros asociados a cada atributo y la utilidad marginal del ingreso ( $-\beta_{Arr}$ ). Para que estas valoraciones resultaran en (\$/minuto) en el caso de los tiempos de viaje, fue necesario dividir los valores del tiempo por el factor (30/7), que equivale al número efectivo de semanas que tiene un mes. En el caso de la contaminación atmosférica fue necesario multiplicar los cuocientes por 12, que corresponde al número de meses que posee un año, para obtenerlos en (\$/día de alerta ambiental). Por último, se debió multiplicar por 1000 todas las valoraciones

subjetivas, debido a que los montos de arriendo fueron presentados en miles de pesos al mes en la encuesta de PD.

**Cuadro 6: Valoraciones subjetivas**

Tiempo de viaje al trabajo [\$/min]		Tiempo de viaje al estudio [\$/min]		Contaminación [\$/Día de alerta ambiental al año]	
B	A	B	A	B	A
18	28	14	21	74.519	115.191

Fuente: Elaboración propia

Como se adelantara, los valores subjetivos para todos los atributos resultan mayores para el segmento Alto, debido exclusivamente a que la utilidad marginal del ingreso ( $-\beta_{tr}^1$ ) es mucho menor para este grupo socioeconómico (ver cuadro 5).

A partir de los datos de ingreso y arriendos mensuales reportados para cada segmento en la sección 4.3, se obtiene que el valor subjetivo o disponibilidad a pagar por disminuir en una unidad los días de alerta ambiental al año, es del orden del 1,6% del ingreso promedio anual en el segmento de ingreso Bajo, y del orden del 1% en el segmento de ingreso Alto. De igual manera, esta disponibilidad a pagar corresponde a un 4,5% del pago anual promedio por concepto de arriendo en el segmento Bajo y a un 4,3% en el segmento Alto. Lo anterior muestra que dichos valores no son proporciones exageradamente altas ni del ingreso ni del arriendo.

- Por último, cabe hacer notar que los valores subjetivos de los tiempos de viaje al trabajo y estudio resultan en el entorno de los obtenidos por otras investigaciones realizadas en Santiago, como por ejemplo Ortúzar *et al* (2000) con modelos de elección residencial y Jara-Díaz *et al* (1988) y Guevara (2000) con modelos de elección de modo. En todos estos casos los resultados se encuentran entre los 8 y 69 (\$/min) para el tiempo de viaje al trabajo, y entre los 10 y 50 (\$/min) para el tiempo de viaje al estudio.

## 6. VALORACIÓN SOCIAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Como se especificó en la sección 2, para poder determinar una valoración social de la contaminación atmosférica es necesario calcular la utilidad social del dinero  $\lambda_s$ , que depende de las utilidades marginales del ingreso y de las proporciones marginales de impuestos pagadas por cada segmento (ecuación 7).

Las utilidades marginales del ingreso fueron estimadas en la sección anterior. Por lo tanto, queda por determinar las proporciones marginales de impuestos. Para esto, se utilizaron los desarrollos realizados por Engel *et al* (1998), en cuanto a la distribución de ingresos e impuestos en la sociedad chilena. Dicha distribución se presenta en el cuadro 7.

**Cuadro 7: Distribución de ingresos e impuestos en la sociedad chilena**

Decil	Ingreso promedio mensual (Ch\$)*10 <sup>3</sup>	Ingreso como porcentaje del PIB ( $\phi_i$ )	Impuesto pagado como porcentaje del ingreso ( $\varepsilon_i$ )
1	16,5	1,45	14,4
2	32,5	2,74	16,0
3	45,5	3,77	15,8
4	59,5	4,73	15,2
5	75,5	5,57	15,0
6	96,5	6,76	14,3
7	124,5	8,22	13,8
8	170,5	10,60	13,1
9	256,0	15,42	12,2
10	728,5	40,75	11,8

Fuente: Elaboración propia a partir de los desarrollos de Engel *et al* (1998)

A partir de la columna de ingreso promedio, es posible asociar los diferentes deciles de la población con los segmentos considerados en la estratificación según ingreso (cuadro 3). Así, los estratos 1 a 4 (segmento de ingreso Bajo) corresponderían aproximadamente a los deciles 1 a 8, en tanto que los estratos 5 a 8 (segmento de ingreso Alto) están contenidos completamente en los deciles 9 y 10. Con lo anterior, el cálculo de las proporciones marginales de impuesto tributadas por cada segmento puede aproximarse por

$$\theta_B \approx \frac{dT_B}{\sum_{q=1}^P dT_q} \approx \frac{\sum_{i=1}^8 \varepsilon_i \phi_i}{\sum_{i=1}^{10} \varepsilon_i \phi_i} \approx 0,484 \quad \text{y} \quad \theta_A \approx \frac{dT_A}{\sum_{q=1}^P dT_q} \approx \frac{\sum_{i=9}^{10} \varepsilon_i \phi_i}{\sum_{i=1}^{10} \varepsilon_i \phi_i} \approx 0,516 \quad (16)$$

con lo que  $\lambda_s$ , resulta en este caso

$$\lambda_s = 0,484 \beta_{irr}^B + 0,516 \beta_{irr}^A \quad (17)$$

El cuadro 8 presenta las valoraciones sociales de la contaminación atmosférica y de los tiempos de viaje al trabajo y estudio, las que, a diferencia de los valores subjetivos, resultan iguales entre estratos debido a la igualdad entre utilidades marginales.

**Cuadro 8: Valoraciones sociales**

$\theta_B$	$\theta_1$	$\lambda_s$	Valor Social		
			Contaminación	Tiempo de viaje al trabajo	Tiempo de viaje al estudio
			(\$/Día de alerta al año)	(\$/minuto)	(\$/minuto)
0,484	0,516	0,033121	91.120	23	17

Fuente: Elaboración Propia

Es importante notar que el valor social obtenido para la contaminación proviene de modelos que arrojan valoraciones subjetivas de este atributo que, como se mostró en la sección anterior, parecen razonables intuitivamente. Lo mismo puede decirse para los valores sociales del tiempo. Cabe hacer notar que estos últimos resultan menores que la valoración social de 25 [\$/minutos] para el tiempo de viaje interurbano, determinada en Jara-Díaz *et al* (2000), lo que es razonable dado que se trata de viajes más cortos.

## 7. SÍNTESIS Y COMENTARIOS FINALES

En este artículo se ha presentado y aplicado un enfoque para calcular valores sociales para la contaminación atmosférica. Dicho enfoque tiene dos elementos principales: primero, la formulación del cambio en la utilidad social debido a un proyecto, expresado como la suma ponderada de los beneficios individuales. El segundo elemento es la transformación de los útiles sociales a unidades monetarias a través de la utilidad social del dinero. Con estos elementos hemos argumentado que el cuociente entre la utilidad marginal de la contaminación atmosférica y la utilidad social del dinero puede ser aceptado como un valor social de esta externalidad.

Se logró determinar que los individuos perciben directamente la contaminación atmosférica en el contexto de elección residencial, debido a que afecta la calidad de vida y la calidad de las actividades que pueden ser realizadas en el lugar de residencia. Como la compra de una vivienda es una decisión de largo plazo, se determinó que lo más apropiado era encuestar a familias que fuesen arrendatarias de sus viviendas, ya que son éstas las que en el corto plazo aceptarían un cambio de lugar de residencia, lo que hace que consideren como realista un ejercicio de PD de elección de localización de hogar.

También fue posible determinar un atributo apropiado para representar esta externalidad. En esto fue de gran ayuda el conocimiento por parte de la ciudadanía de las medidas utilizadas por los organismos ambientales para medir la calidad del aire en Santiago. Se determinó que la cantidad de días de alerta ambiental durante el período otoño-invierno, es un índice percibido en forma clara por los santiaguinos. En el experimento de PD se usó, además, los montos de arriendo mensual y los tiempos de viaje al trabajo y estudio.

A pesar de lo significativo que resultaron las valoraciones (sociales y subjetivas) obtenidas, se debe tener presente que éstas sólo consideran la contaminación producida por MP10, contaminante que más veces provocó situaciones de alerta ambiental en Santiago durante 1998. Creemos necesario identificar otras dimensiones (con sus respectivas representaciones objetivas) de la

contaminación ambiental que permitan determinar sus valoraciones sociales usando esta misma metodología. Entre ellas, el ozono es importante ya que es el que más afecta al sector oriente de la ciudad de Santiago, sin traducirse hasta ahora en alertas ambientales.

Finalmente, sería interesante determinar qué parte del valor social corresponde, por ejemplo, al hecho de disminuir los efectos nocivos sobre la salud, o qué cantidad corresponde, simplemente, a la valoración que se le asigna a vivir en un entorno más agradable. Lo anterior, podría ser llevado a cabo incorporando nuevas variables en el diseño experimental que permitieran a los individuos percibir efectos de largo plazo que puedan deteriorar la salud de las personas.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por Fondecyt. Agradecemos a Gonzalo Rodríguez y al Dr. Juan de Dios Ortúzar por su colaboración y comentarios.

## REFERENCIAS

- Adamowicz, W.L., J. Louviere, y M. Williams (1994) Combining revealed and stated preference methods for valuing environmental amenities. **Journal of Environmental Economics and Management** 26, 271-292.
- Bradley, M., D.S. Bunch, T.F. Golob, R. Kitamura, y G.P. Occhiuzzo (1993) Demand for clean-fuel personal vehicles in California: A discrete-choice stated preference study. **Transportation Research** 27A , 237-253.
- Engel, E., A. Galetovic y C. Raddatz (1998) Taxes and income distribution in Chile: Some unpleasant redistributive arithmetic. **Journal of Development Economics** 59, 155-192
- Gálvez, T. y S.R. Jara-Díaz (1998) On the social valuation of travel time savings. **International Journal of Transport Economics** XXV (2), 205-2190.
- Guevara, A. C. (1999) **Valor subjetivo del tiempo individual considerando las relaciones entre bienes y tiempo asignado a actividades.** Tesis de Magister, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- Hunt, J.D., J.E. Abraham y D.M. Patterson (1995) Computer generated conjoint analysis surveys for investigating consumer preferences. En R.Wyatt y H. Hossain (eds.), **Proceedings 4th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management.** The University of Melbourne, Parkville.
- Jara-Díaz S.R. y M. Farah (1988) Valuation of user's benefits in transport system. **Transport Reviews** 8, 197-218.
- Jara-Díaz, S. R. (1990) Consumer's surplus and the value of travel time savings. **Transportation Research** 24B, 73-77.

Jara-Díaz, S.R. y F.J. Martínez (1999) On the specification of indirect utility and willingness to bay for discrete residential location models. **Journal of Regional Science** 39, 675-688.

Jara-Díaz, S.R., J. de D. Ortúzar y R. Parra (1988) Valor subjetivo del tiempo considerando efecto ingreso en la partición modal. **Actas del V Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte**, 18-22 Julio, Mayaguez.

Jara-Díaz, S.R., J. de D. Ortúzar y R. Parra (1988) Valor subjetivo del tiempo considerando efecto ingreso en la partición modal. **Actas del V Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte**, 18-22 Julio, Mayaguez.

Jara-Díaz, S.R., T. Gálvez y C. Vergara (2000) Social valuation of road accident reductions using subjective perceptions. **Journal of Transport Economics and Policy** 34, Part2, 215-232.

Kaoru, Y., V.K. Smith, y J.L. Liu (1995) Using random utility models to estimates the recreational value of estuarine resources. **American Journal of Agricultural Economics** 77, 141-151.

Kocur, G., T. Adler, W. Hyman y B. Aunet (1982) **Guide to forecasting travel demand with direct utility assessment**. Technical report U.S. UMTA-NH\_11-0001-82-1 Department of Transportation.

Maddison, D., D. Pearce, O. Johansson, E. Calthrop, T. Litman y E. Verhoef (1996) **The true costs of road transport**. Blueprint 5. Earthscan Publications, Londres.

Ortúzar, J. de D., Martínez, F.J. y Varela, F.J. (2000) Stated preferences in modelling accesibility. **International Planning Studies** 5, 65-85.

Otterbeck, J. (1995) **Willingness to pay for improved air quality in Santiago de Chile**. Unit for Environmental Economics. Department of Economics Gothenburg University.

Parsons, R. y M. Kealy (1992) Randomly drawn opportunity sets in a random utility model of lake recreation. **Land Economics** 68, 93-106.

Fadríguez, G. (2000) Preferencias declaradas en la valoración de la contaminación atmosférica en un contexto de elección residencial. Tesis de Magister, Departamento de Ingeniería de Transporte, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Saelesminde, K. (1998) **The impact of choice inconsistencies on the valuation of travel time in stated choice studies**. Institute of Transport Economics, Oslo.

SESMA (1998) **Programa de vigilancia de calidad del aire (PVCA)**.

Tay, R. S. y P.S. McCarthy (1994) Benefit of improved water quality: a discrete choice analysis of freshwater recreational demand. **Environment and Planing A**, 26, 1625-1638.

Vergara C. (2000) Valoración social de la disminución de externalidades en proyectos de transporte a partir de percepciones subjetivas. Tesis de Magister, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

Viton, P. (1985) On the interpretation of income variables in discrete choice models. **Economic Letters** 17, 203-206.

Wardman, M., A. Bristow, y F. Hodgson (1997) Valuations of noise, air quality and accessibility: evidence for households and businesses. **Proceedings of the European Transport Forum**, Seminar C, PTRC, London.