



# Una estimación de los beneficios en salud de reducir la contaminación atmosférica en Santiago (\*)

---

*José Miguel Sánchez C. y José Tomás Morel L.*

---

*José Miguel Sánchez* es Ingeniero Comercial, Pontificia Universidad Católica de Chile. Doctor en Economía, Universidad de Minnesota. Investigador y profesor del Programa de Posgrado en Economía, Iades/Georgetown University. Miembro de la Comisión de Medio Ambiente del Centro de Estudios Públicos.

*José Tomás Morel* es Ingeniero Comercial, Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigador del Programa de Posgrado en Economía, Iades/Georgetown University.

(\*) Trabajo preparado para la Comisión de Medio Ambiente del Centro de Estudios Públicos.

Los autores agradecen los valiosos comentarios de Ricardo Katz, doctor Juan Giaconi, Gunnar Eskeland y Bart Ostro. Por supuesto, los errores que aún persisten son de nuestra exclusiva responsabilidad. También agradecemos en forma muy especial a Cristian Echeverría por facilitarnos la base de datos de su tesis y a Ignacio Olaeta por la información de la red MACAM.

## 1. Introducción

**L**a ciudad de Santiago presenta serios problemas de contaminación atmosférica, los que la sitúan entre las más contaminadas del mundo. El contaminante crítico es el material particulado. Escudero y Cofre (en este volumen) reportan que la norma anual de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  es superada ampliamente, con un promedio anual de PM10 2,17 veces mayor que el valor de la norma.<sup>1</sup> Respecto de los promedios mensuales de PM10, estos mismos autores reportan que entre los meses de abril a septiembre la norma de 24 horas ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) es superada en forma frecuente.

La contaminación tiene una serie de efectos negativos sobre el bienestar de las personas debido a su incidencia en la salud, en la productividad de los recursos, en la duración de los materiales, en la visibilidad, en el olor, etc.

En este trabajo nos centraremos en los efectos en salud de la contaminación atmosférica.

El material particulado, y en especial la fracción respirable (PM10), ha sido relacionado con una serie de efectos adversos sobre la salud en diversos estudios epidemiológicos. En un trabajo reciente, Ostro<sup>2</sup> revisa el estado del conocimiento científico en esta materia. Los

estudios que él considera relacionan concentraciones de material particulado con efectos en salud, incluyendo: mortalidad, admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias de las vías inferiores para niños, ataques de asma y enfermedades crónicas. En varios de estos estudios se obtienen relaciones estadísticamente significativas usando distintas medidas de material particulado.

Para el caso de Santiago, el Estudio Epidemiológico de la Intendencia Regional Metropolitana<sup>3</sup> (1989) asoció el material particulado con efectos en salud, al comparar poblaciones de esta ciudad con las de Los Andes.

Aun cuando hay evidencia de que existe una asociación positiva entre la contaminación atmosférica por material particulado y la salud, los esfuerzos por tratar de estimar los costos en salud que la contaminación impone sobre los habitantes de Santiago han sido escasos.<sup>4</sup>

La cuantificación de los costos en salud provee a los encargados de las políticas ambientales de información necesaria para evaluar los beneficios potenciales en salud de reducir la contaminación. Como los recursos que se dedican a la descontaminación son limitados, resulta conveniente que el diseño de las políticas así como la priorización de sus objetivos estén avalados por estimaciones, aunque sean gruesas, de sus costos y beneficios

En este trabajo se realiza un ejercicio de estimación de los beneficios en salud que se obtendrían al reducir la contaminación atmosférica en Santiago.<sup>5</sup> La estimación se hace en dos etapas. En la primera, se intenta relacionar estadísticamente los niveles de PM10 con las consultas por enfermedades respiratorias para obtener una elasticidad que permita inferir la reducción en el número de consultas que se lograría al disminuir los niveles de PM10 en un cierto porcentaje. Esto se presenta en la sección 2. En la segunda etapa, sección 3, se intenta

---

<sup>3</sup> Véase Intendencia Regional Metropolitana, «Estudio Epidemiológico sobre Efectos de la Contaminación Atmosférica», Intendencia Regional Metropolitana, SERPLAC, Santiago, diciembre, 1989.

<sup>4</sup> Para una revisión reciente de los trabajos que se han realizado para Santiago, véase Sánchez (1992).

<sup>5</sup> Un ejercicio similar realizado para Ciudad de México se presenta en Margulis (1992)



asignar costos a los efectos en salud predichos en la primera etapa. Para ello se aplican las elasticidades de las enfermedades respiratorias respecto del PM10, a una estimación de la población total de consultas por enfermedades respiratorias en Santiago.

En la sección 4 se presentan las conclusiones. Un apéndice describe los detalles de la construcción de la muestra.

## 2. Estimación de la relación entre la contaminación por partículas respirables y enfermedades respiratorias

El objetivo de esta sección es cuantificar la relación entre enfermedades respiratorias y niveles de contaminación por partículas respirables (PM10) en la ciudad de Santiago.

### a) Especificación del modelo

El modelo que se estima es del tipo serie de tiempo. La gran ventaja de estos modelos es que minimizan los problemas de variables confundentes y de variables omitidas. Para un período razonablemente corto —por ejemplo, un año— es esperable que sean mínimos los cambios en otros factores que influyen en el riesgo de contraer enfermedades respiratorias, tales como el hábito de fumar y el acceso a los servicios de salud. Debemos concentrarnos, por lo tanto, solamente en variables que afecten la probabilidad de contraer enfermedades respiratorias y que varíen a lo largo del año, tales como la contaminación y el clima. Por este motivo, junto al PM10 se incluyen variables climatológicas como temperatura y humedad. Otro elemento que debiera incluirse es la contaminación intradomiciliaria, en particular aquella asociada a la calefacción, pues no es constante durante el año. Aunque esta variable no pueda ser incluida directamente por carecer de información suficiente, en la medida que exista una relación estrecha y constante entre contaminación intradomiciliaria y las variables climatológicas, la inclusión de este segundo tipo de variables permite capturar alguna fracción del efecto de la primera. Si así fuera, las elasticidades respecto de las variables temperatura y humedad que se obtengan en las estimaciones serían mayores (en valor absoluto) que las efectivas.

Otro aspecto que se debe considerar al especificar el modelo

es la posibilidad de que exista correlación entre las variables climatológicas y entre éstas y el PM10. Por lo tanto, es posible que en las estimaciones se obtengan parámetros de escasa significancia individual para ambos tipos de variables.

Los estudios econométricos que relacionan morbilidad con contaminación señalan la sensibilidad de los resultados a la forma funcional escogida y de hecho no existe acuerdo respecto de cuál es la más adecuada<sup>6</sup>. Un aspecto particular de la especificación es la estructura de rezagos. Debido a que la contaminación y el clima de algún período pasado también afectan la salud en el presente, es necesario incorporar rezagos en las variables explicativas. Además, debido a que las enfermedades respiratorias pueden ser en alguna medida contagiosas y/o las personas acuden al consultorio más de una vez por la misma enfermedad, quedando registrados como casos distintos, es probable que los casos de enfermedades presentes estén en algún grado relacionados con los del pasado. De esta manera corresponde también incluir rezagos de la variable dependiente. Sería importante conocer la magnitud del problema de repetición de los registros, toda vez que la presencia de rezagos de la variable dependiente determina que las elasticidades de largo plazo difieran de las de corto plazo.

Otro elemento a considerar en la especificación del modelo es la presencia de «umbrales» en las variables explicativas contaminación y temperatura. Esto se refiere a que sobre o bajo cierto nivel la contaminación y la temperatura pueden tener efectos significativamente distintos al del resto de las observaciones. Para la contaminación, se podría pensar que en tramos de bajos índices no afecta significativamente la salud, independientemente del nivel de la contaminación dentro de esos tramos. Sin embargo, Margulis<sup>7</sup>(1992) reporta que la evidencia al respecto es insuficiente.

Por último, sería aconsejable, en la medida que los datos lo permitan, considerar separadamente los grupos étnicos, ya que los efectos de la contaminación sobre la salud poblacional serían distintos entre ellos.

---

<sup>6</sup> Véase Bart Ostro, «Air Pollution and Morbidity Revisited: A Specification Test», *Journal of Environmental Economics and Management* 14, pp. 87-98, 1987.

<sup>7</sup> Véase Sergio Margulis, «Back of the Envelope Estimates of Environmental Damage Costs in México», The World Bank, *Policy Research Working Papers* N° 824, enero 1992.



En resumen, la especificación del modelo es en sí un resultado de las estimaciones.

b) Descripción de la muestra

En esa subsección se describen la muestra y las variables empleadas en la estimación. Los detalles acerca de la construcción de las mismas están contenidos en el Apéndice 1.

Los datos epidemiológicos provienen del trabajo «Estudio Epidemiológico sobre efectos de la Contaminación Atmosférica», Intendencia Región Metropolitana<sup>8</sup> (1989). La muestra del estudio señalado contiene información diaria —excluidos los fines de semana— recogida en 5 consultorios de Santiago, sobre consultas diagnosticadas como enfermedades respiratorias, en el período marzo-diciembre de 1988. Las enfermedades respiratorias son rinofaringitis aguda, sinusitis aguda, faringitis aguda, laringotraqueítis aguda, inflamación aguda de las vías respiratorias, bronquitis no especificadas, bronquitis-bronqueolitis, asma bronquial y neumonías y bronconeumonías.

Los datos de contaminación se obtuvieron de la Red MACAM de Medición de Contaminantes Atmosféricos y cubre el período mayo-diciembre de 1988. El contaminante escogido para este estudio fueron las partículas en suspensión con diámetro inferior a 10  $\mu\text{g}$ . (PM10), que corresponde a la suma de las fracciones fina y gruesa.

Debe destacarse que en 1988 se implementó por primera vez la red de monitoreo, lo cual derivó en un funcionamiento irregular de las estaciones durante ese año. En este estudio, por problemas con el número de observaciones, se incluyeron los promedios diarios de estaciones que funcionaron 12 o más horas.<sup>9</sup>

Dada la cercanía de cada estación monitorea con un consultorio, era posible, en principio, estimar distintas ecuaciones, relacionando cada consultorio con su respectiva estación monitorea. Con ello se podría cuantificar el efecto de la contaminación por

---

<sup>8</sup> Véase Intendencia Región Metropolitana *op. cit.*

<sup>9</sup> Diversos expertos consideran representativamente una medición promedio diaria de PM10 si la estación funciona 18 o más horas en el día.

partículas en distintas zonas de Santiago. Sin embargo, esta alternativa se desechó, ya que la alta movilidad de la población dentro de la ciudad enturbia la relación entre la zona en que se está expuesto a la contaminación (ubicación de la estación de monitoreo) y el consultorio al que se acude. Además, los casos de enfermedades respiratorias en cada consultorio son escasos, lo cual agrega problemas numéricos a la estimación (por ejemplo, pasar de 2 a 3 casos de enfermedades respiratorias es un aumento del 50%). Por estas razones se optó por utilizar la suma de casos de consultas por enfermedades respiratorias de todos los consultorios escogidos y relacionarlos con el promedio de contaminación por partículas respirables medida en las estaciones de monitoreo. Es decir, se estaría midiendo el efecto agregado de la contaminación en varias zonas de Santiago.

El hecho de estimar las consultas agregadas de los consultorios y el promedio de contaminación de las estaciones requería una coincidencia de observaciones entre todos ellos. Esto imponía serias restricciones a la construcción de la muestra. De hecho, fue necesario eliminar dos de los consultorios y la estación monitora móvil, por presentar importantes carencias de datos.<sup>10</sup>

Para la variable de temperatura, se obtuvo el promedio entre las temperaturas medias diarias registradas por las estaciones monitoras.<sup>11</sup> La variable humedad corresponde a la media diaria del promedio de esas mismas estaciones de monitoreo.

En el Cuadro 1 se presentan algunos estadísticos descriptivos para las variables usadas en la estimación.

En el Cuadro 2 se presenta la matriz de correlaciones entre las variables explicativas.

En definitiva, la muestra de este estudio consta de 81 observaciones diarias que cubren el período julio-noviembre. La estructura de rezagos determina cuántas observaciones se «pierden» en las estimaciones.

---

<sup>10</sup> Los consultorios eliminados fueron el de Monjitas y Dr. Aníbal Ariztía. El primero porque la recolección de datos comenzó muy tarde en el año y el segundo por el elevado número de valores faltantes que exhibía.

<sup>11</sup> En la estimación también se probó con el promedio de las temperaturas mínimas, lográndose resultados menos satisfactorios que con temperatura media.



CUADRO 1

Estadísticos Descriptivos				
	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Consultas Enf. Respiratorias	100,3	36,2	43,0	199,0
PM10	100,5	57,7	0,9	271,0
Temperatura (a)	13,4	3,6	6,6	21,2
Humedad (b)	71,0	8,0	54,0	87,0

NOTAS: a) La temperatura está medida en grados celcius. b) La humedad está medida en porcentaje.

CUADRO 2

Matriz de correlaciones entre PM10 y Variables Climatológicas			
	PM10	Temperatura	Humedad
PM10	1,0	-0,25	-0,14
Temperatura		1,0	-0,68
Humedad			1,0

Por ejemplo, si se utilizan dos rezagos y se cuenta con observaciones de lunes a viernes —tal como ocurre en este estudio—, ello implica que se pierden todas las observaciones de los lunes y martes. En este estudio se incluyeron entre uno y tres rezagos para variables endógenas y exógenas, lo cual implicó que en las estimaciones se utilizaran muestras con alrededor de 29 observaciones en un modelo con tres rezagos y 61 en un modelo con un rezago.

c) Estimación y resultados

Las ecuaciones que relacionan el número total de las consultas diagnosticadas como enfermedades respiratorias, con los niveles promedios diarios de PM10, temperatura media y humedad media diarias, sus rezagos y los de la variable dependiente, se estimaron a través de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).<sup>12</sup>

La estrategia utilizada fue comenzar estimando ecuaciones lo más generales posibles, que incluían todas las variables que se consideraron pertinentes, además de sus rezagos.<sup>13</sup> Luego se simplificaron las ecuaciones generales eliminando aquellas variables no significativas, tanto desde un punto de vista individual como global. Para ello se examinan los test «t» de cada coeficiente y la resta entre los logaritmos de la función de verosimilitud de los modelos generales y restringidos (con variables eliminadas).

Al graficar la variable dependiente con las explicativas no se apreció una forma funcional con características particulares que justificaran explorar modelos no lineales. En particular, no se observó ningún efecto umbral. Por lo tanto, se escogió un modelo logarítmico que inicialmente contenía como variables explicativas tres rezagos de la variable endógena, el PM10 corriente y sus tres primeros rezagos, la temperatura media y la humedad (la humedad expresada en porcentaje, no en logaritmo) con sus tres rezagos.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la estimación del modelo final que se obtuvo luego del proceso de simplificación. El coeficiente del primer rezago de la variable dependiente permaneció en el modelo con un valor bastante significativo (0,56). Ello significa que existe una inercia importante en las consultas por enfermedades respiratorias. Ya se planteó que las explicaciones probables serían los contagios de este tipo de enfermedades y/o las consultas reiterativas de las mismas personas.

---

<sup>12</sup> Se probó estimar el modelo en forma simultánea como bloque con una ecuación para cada grupo etéreo, pero no se lograron buenos resultados. La razón fundamental, al parecer, es que hay grupos etéreos con muy pocos casos de enfermedades respiratorias.

<sup>13</sup> Por un problema de grados de libertad, en este modelo se consideraron los tres primeros rezagos de cada variable explicativa, entre ellos los rezagos de la variable dependiente.

CUADRO 3 RESULTADO DE LA ESTIMACIÓN  
CONSULTAS TOTALES  
MODELO CON TRES REZAGOS

ln (consultas totales)		
	coeficiente	test-t
constante	1,490	1,537
ln(con. totales <sub>t-1</sub> )	0,563	5,679
ln(pm10 <sub>t-1</sub> )	0,509	4,548
ln(pm10 <sub>t-2</sub> )	-0,460	-4,317
ln(pm10 <sub>t-3</sub> )	0,261	2,746
ln(temp. media)	-0,749	-5,125
ln(temp. media <sub>t-2</sub> )	0,898	3,472
ln(temp. media <sub>t-3</sub> )	-0,503	-2,272
humedad media	-1,322	-3,702
humedadmedia <sub>t-1</sub>	1,322	3,702
número de observaciones	29	
R <sup>2</sup>	0,926	
H de Durbin	1,853	

NOTA: a) los coeficientes de la humedad están restringidos a la suma igual a cero, b) ln representa el logaritmo natural.

El coeficiente del PM10 corriente fue eliminado, quedando sus tres rezagos. Llama la atención el cambio de signo del segundo rezago. En vez de interpretar ese signo negativo «literalmente» —mientras mayor la contaminación dos días atrás, menos casos de enfermedades— estaría señalando la presencia de problemas dinámicos. Si se considera la suma de los tres coeficientes se obtiene una relación positiva entre nivel de PM10 y número de consultas por enfermedades respiratorias.

En estimaciones preliminares se probó la temperatura mínima diaria. Sin embargo, debido a que se obtenía una alta autocorrelación de los errores, se optó por utilizar la temperatura media diaria, aun cuando el ajuste con esta variable disminuía marginalmente. La escasa significancia del primer rezago de la temperatura motivó su eliminación. El efecto agregado de los coeficientes de la temperatura es negati-

vo, tal como se esperaría; las personas se enferman más cuando la temperatura es menor.

En la ecuación final aparecen los coeficientes de la humedad corriente y su primer rezago. Inicialmente, la suma de ambos era escasamente negativa, al contrario de lo que era razonable suponer. Por lo tanto, se probó restringir los parámetros a que la suma entre ellos era igual a cero. Dado que la restricción pasó al test de la diferencia de logaritmos de la función de verosimilitud, ésta permaneció en el modelo final.

En todas las variables independientes se obtuvieron cambios de signo en sus parámetros, entre rezagos. Ello estaría indicando la presencia de problemas dinámicos. De hecho, el test H de Durbin (se aplica con variable endógena rezagada) muestra que no es posible descartar la presencia de autocorrelación de primer orden. No fue posible corregir este modelo por autocorrelación, ya que se perdían demasiadas observaciones al considerar un rezago más. En presencia de autocorrelación, las varianzas obtenidas con MCO son menores a las efectivas. Luego los tests-treportados en el Cuadro 3 están sobreestimados.

El ajuste del modelo a los datos resultó muy bueno, con un  $R^2=0,93$ .

El Cuadro 4 contiene las elasticidades de largo plazo respecto de las consultas totales. Estas son de largo plazo en el sentido de que se han sumado las elasticidades para los distintos rezagos (suma de coeficientes, ya que el modelo es logarítmico). Es decir, es el efecto acumulado entre el día corriente y tres días atrás, de las variables explicativas sobre el número de consultas. Así, por ejemplo, la semielasticidad (la humedad no está expresada en logaritmo) de largo plazo respecto a la humedad es cero, porque los coeficientes reportados en el Cuadro 3 suman cero.

Se reportan dos valores que definen un rango para cada elasticidad, dependiendo de la interpretación que se haga del coeficiente de la variable endógena rezagada. Si suponemos que la significancia estadística de este coeficiente se debe sólo a un problema de registro de los casos, en el sentido de que las mismas personas concurren varias veces al consultorio por un mismo caso de enfermedad, entonces las elasticidades relevantes son las de la izquierda. Si, en cambio, se supone que el efecto «contagio» es el que predomina, entonces es necesario dividir las elasticidades de la izquierda por uno menos el coeficiente del rezago de la variable endógena.

CUADRO 4 ELASTICIDADES CONSULTAS TOTALES  
MODELOS CON TRES REZAGOS

pm10	0,310/ 0,709
temperatura media	-0,354/ -0,809

NOTA: Las elasticidades de la derecha se obtienen dividiendo las elasticidades de la izquierda por uno menos la suma de los coeficientes de los rezagos de la variable endógena.

La elasticidad del PM10 indica, tomando los promedios muestrales de las variables, que frente a una reducción de 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el PM10 (de 100 a 90), las consultas por enfermedades respiratorias disminuirían entre 3 y 7%. En el caso de la temperatura media, un aumento de 1,3 C° (de 13,4 a 14,7) haría caer las consultas entre 3,5 y 8%.

Es importante reiterar que estos resultados se obtuvieron en presencia de autocorrelación. Por lo tanto, en la medida en que las varianzas de los estimadores de los coeficientes son en realidad mayores que los aquí encontrados, las elasticidades que *se* reportan pierden en algún grado su significancia. El ajuste, por su parte, no se ve afectado por la autocorrelación.

Debido a que el modelo con tres rezagos evidenció problemas dinámicos, reflejados en el cambio de signo entre los rezagos de las variables explicativas, se procedió a estimar un modelo con un solo rezago en todas las variables.<sup>14</sup> El objetivo principal de este ejercicio era ver si el primer rezago capturaba el efecto acumulado de tres rezagos. Un efecto lateral muy importante de esta reducción de rezagos es el aumento en el número de observaciones para la estimación.

El Cuadro 5 presenta los resultados de la estimación del modelo con un rezago.

<sup>14</sup> También se estimó un modelo que inicialmente contenía dos rezagos, pero en el proceso de eliminación de variables no significativas se excluyeron todos los segundos rezagos.

CUADRO 5 RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN  
CONSULTAS TOTALES  
MODELO CON UN REZAGO

	Inconsultas totales)	
	coeficiente	test-t
constante	1,490	1,537
ln(con. totales <sub>t-1</sub> )	0,526	6,121
ln(pm10 <sub>t-1</sub> )	0,224	3,648
ln(temp. media)	-0,396	-3,460
humedad media	-0,754	-2,381
humedadmedia <sub>t-1</sub>	0,754	2,381
número de observaciones	61	
R <sup>2</sup>	0,788	
H de Durbin	1,246	

NOTA: los coeficientes de la humedad están restringidos a la suma igual a cero.

Nuevamente el parámetro de la variable endógena rezagada es altamente significativo y similar en valor al estimado en el modelo anterior. El PM10 entra en su primer rezago con el signo correcto y bastante significativo, indicando que la contaminación del día anterior tiene un efecto positivo sobre el número de consultas por enfermedades respiratorias. El valor del parámetro resultó menor que la suma de los tres rezagos en el modelo anterior. La temperatura media también tiene el signo correcto y su valor es similar a la suma de los rezagos estimados en el modelo anterior. Al igual que en el modelo con tres rezagos, la humedad pasó el test de la suma de coeficientes igual a cero. El ajuste de esta ecuación es inferior al del modelo de tres rezagos, mostrando un R<sup>2</sup> de 0,78. Sin embargo, esta regresión supera a la anterior en cuanto a que el estadígrafo H de Durbin no permite rechazar la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación.

En el Cuadro 6 se presentan los valores de las elasticidades que surgen del modelo de un rezago.

CUADRO 6 ELASTICIDADES CONSULTAS TOTALES  
MODELO CON UN REZAGO

pm10	0,224/0,472
temperatura media	-0,396/-0,835

NOTA: Las elasticidades de la derecha se obtienen dividiendo las elasticidades de la izquierda por uno menos el coeficiente del rezago de la variable endógena.

Como se puede apreciar, las elasticidades que entrega este modelo respecto del PM10 son más bajas que las del modelo de tres rezagos.

Tal como en el otro modelo, se reporta un rango para las elasticidades dependiendo de los supuestos respecto de la variable endógena rezagada. La elasticidad del PM10 indica, tomando los promedios muestrales de las variables, que frente a una reducción de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el PM10 (de 100 a 90), las consultas por enfermedades respiratorias disminuirían aproximadamente entre un 2 y 5%. En el caso de la temperatura media, un aumento de  $1,3 \text{ C}^\circ$  (de  $13,4 \text{ C}^\circ$  a  $14,7 \text{ C}^\circ$ ) haría caer las consultas entre 4 y 8%.

Los resultados obtenidos de la estimación de los modelos con tres y un rezago no permiten establecer la superioridad de uno sobre el otro. Por una parte, el modelo con tres rezagos tiene mejor ajuste que el modelo con un rezago, lo que estaría indicando que la contaminación y las variables climatológicas de dos y tres días atrás tienen efecto sobre las enfermedades respiratorias del día corriente. Por otra parte, el modelo de tres rezagos mostró serios problemas dinámicos, reflejados en la presencia de autocorrelación y en alternancia de signos entre rezagos en las variables explicativas. La presencia de autocorrelación implica que los coeficientes estimados tienen una varianza menor que la efectiva. Así, las elasticidades obtenidas a partir del modelo de tres rezagos tienen un menor grado de confiabilidad que aquellas del modelo de un rezago.

En otras palabras, los resultados sugieren que las elasticidades verdaderas de las enfermedades respiratorias respecto del PM10 y de la temperatura debieran ser mayores (en valor absoluto) que las encontradas a partir del modelo de un rezago. La magnitud de esa

diferencia no pudo ser determinada confiablemente a través del modelo de tres rezagos aquí estimado.

Resulta interesante comparar las elasticidades obtenidas en este trabajo con las que reporta Ostro<sup>15</sup> en su reciente revisión de la literatura. Respecto de los efectos de las partículas en la morbilidad, el autor cita un estudio que estimó la asociación entre las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias y PM10, entre 1985 y 1989, en varios valles de Utah, EE. UU. Este estudio indica que un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en PM10 está asociado con un aumento de 8,9% en las admisiones hospitalarias en un valle y un 2,7% en el otro.

### 3. Estimación de los beneficios en salud de reducir la contaminación atmosférica

#### a) Metodología

Si se acepta la hipótesis de que la contaminación atmosférica por PM10 tiene efectos adversos sobre la salud de las personas que habitan en Santiago, es importante tratar de estimar cuáles son los costos asociados con estos efectos. Básicamente, los costos asociados con morbilidad son de tres tipos. El primero de ellos corresponde a costos médicos directos, tanto de prevención como de tratamiento. El segundo tipo corresponde a costos por productividad perdida por la enfermedad (días de trabajo y actividad restringidos). El tercer tipo de costo corresponde a la disminución en bienestar que sufre la persona enferma por las molestias propias de la enfermedad y el costo de oportunidad del tiempo perdido. En general, los dos primeros tipos de costos se pueden estimar de manera más o menos directa. El tercer tipo de costo, sin embargo, es más difícil de estimar por cuanto requiere contar con información respecto de la valoración subjetiva de las personas en relación a esas variaciones en bienestar.<sup>16</sup> Por este motivo, el ejercicio que se realiza en esta sección sólo se relaciona (parcialmente) con los dos primeros tipos de costos.

---

<sup>15</sup> Bart Ostro, «Generic Estimates of the Economic Effects of Criteria Air Pollutants: A Review and Synthesis», *op. cit.*

<sup>16</sup> Este tipo de información requiere estimar la disposición a pagar de las personas para lograr mejoras en sus niveles de salud.



La estimación de los beneficios económicos asociados con las mejoras en salud, que se lograrían al reducir la contaminación, se basa en la idea de que los beneficios corresponden a los costos evitados por los menores casos de enfermedades respiratorias que se lograrían con la disminución en los niveles de PM10.

La cuantificación de los beneficios consiste en los siguientes pasos. Primero se aplican las elasticidades obtenidas en la sección 2 al total de consultas médicas por enfermedades respiratorias en Santiago, para obtener la disminución en el número de consultas asociado a una reducción determinada en el nivel de PM10. El paso siguiente consiste en calcular los costos evitados por el menor número de consultas. Esto requiere contar con una estimación del costo que implica cada caso de enfermedad respiratoria.

b) La estimación

En esta subsección se presenta un intento de cuantificación de los beneficios en salud asociados con la reducción de la contaminación atmosférica en Santiago. Es importante notar que sólo es posible capturar una parte de los mismos, por cuanto en la literatura para el caso de Santiago se cuenta con estimaciones bastante gruesas de tan sólo una parte de los costos evitados. En particular, los costos por morbilidad de enfermedades respiratorias considerados son: costo promedio por consulta por enfermedades respiratorias, costos por hospitalización y por ausentismo laboral. Para ello se usan algunos de los valores obtenidos por Bardón<sup>17</sup> para el año 1988, que es precisamente el año al cual corresponden los datos utilizados en la estimación de las elasticidades.

Siguiendo los pasos descritos en la sección a), lo primero es obtener el número total de consultas por enfermedades respiratorias durante el año 1988, sobre el cual se aplican las elasticidades respecto del PM10. El número total de consultas por morbilidad para niños, mujeres y adultos efectuadas en la Región Metropolitana durante el año

---

<sup>17</sup> María Paz Bardón, «Costos Económicos de las Enfermedades Asociadas con la Contaminación Atmosférica», Seminario de Título para optar al grado de Licenciado en Ciencias Económicas y al Título de Ingeniero Comercial. Universidad de Chile, marzo 1990. No publicado.

1988 en el sistema público (SNSS) fue de 5.064.216 y de 1.257.865 en el sector privado.<sup>18</sup> Esto da un total de consultas por morbilidad para el año 1988 de 6.322.081. Para obtener el número de estas consultas que corresponden a enfermedades respiratorias se usó el porcentaje que se obtuvo a partir de los datos del Estudio Epidemiológico de la Intendencia Regional (1989). En esa muestra (descrita en el apéndice), un 15% del total de consultas correspondió a enfermedades respiratorias.

Con estos supuestos el número total de consultas por enfermedades respiratorias en la Región Metropolitana durante el año 1988 fue de 948.312.

Si se toma el promedio de las elasticidades obtenidas en la sección anterior —0,4— debido a que no se puede argumentar que una es mejor que otra, se tiene que frente a una reducción del 50% en el PM10, las consultas respiratorias hubieran disminuido en un 20% el año 1988, que corresponde a 189.662 consultas ese año.<sup>19</sup>

El paso siguiente es asignar valores monetarios a estos casos evitados. El primer costo que se cuantifica es el de consultas médicas. Para ello se toma el costo promedio por consulta de enfermedades respiratorias del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias reportado por Bardón y que corresponde a \$ 2.688 de junio de 1988. Aplicando esta cifra al total de consultas por enfermedades respiratorias (tanto en el SNSS como en el sistema privado), obtenemos un costo evitado por concepto de consultas que asciende a \$ 509.811.456 en pesos de junio de 1988.

El segundo costo considerado es el de hospitalización. Para poder calcularlo, debemos saber qué porcentaje de las consultas totales por enfermedades respiratorias resulta en hospitalización. Como no se conoce esa cifra con exactitud, se supone que corresponde al número de egresos hospitalarios por enfermedades respiratorias en establecimientos del SNSS de la Región Metropolitana (reportado en Bardón), en

---

<sup>18</sup> Como sólo se conoce el número total de las consultas privadas, siguiendo a Bardón se supuso que su distribución entre categorías es la misma que en el SNSS, la cual es conocida.

<sup>19</sup> Se tomó una reducción del 50% en el PM10 debido a que el promedio para la muestra es de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , por lo que para llegar a la norma anual de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  se requiere una reducción de esa magnitud. Como un antecedente adicional está el citado en la introducción, donde usando las cifras de Escudero y Cofre, durante los años 1989 a 1991 se hubiera tenido que disminuir el PM10 en un 54% para alcanzar la norma anual.

relación al total de consultas por enfermedades respiratorias en el SNSS. Este porcentaje es de 0,4%. Si se supone que este mismo porcentaje se aplica a las consultas del sector privado, el número total de hospitalizaciones por enfermedades respiratorias evitadas asciende a 759. Recurriendo nuevamente a Bardón, se tiene que el costo promedio de tratamiento de enfermedades respiratorias por persona en establecimientos hospitalarios del SNSS, considerando el costo por día- cama, el costo de laboratorio y radiología, y el costo de farmacia, es de \$ 83.192. Si se aplica esta cifra al total (público más privado) de admisiones hospitalarias evitadas, se obtiene un costo evitado de \$ 63.142.728 en moneda de junio de 1988.

El último costo que cuantificamos es el de ausentismo laboral. Para ello suponemos que los ingresos perdidos reflejan adecuadamente las pérdidas en productividad por la pérdida de días trabajados. Para calcularlos, se requiere conocer la proporción de personas en edad laboral dentro de las consultas por enfermedades respiratorias. En la muestra del Estudio Epidemiológico de la Intendencia de la Región Metropolitana (1989), un 17,7% del total de consultas por enfermedades respiratorias correspondió a personas en edad adulta (20 a 64 años). Usando ese porcentaje se tiene que, de las hospitalizaciones evitadas calculadas en el párrafo anterior, 134 corresponderían a adultos en edad laboral y de las consultas (evitadas) por enfermedades respiratorias que no resultan en hospitalización, 33.436 corresponderían a adultos.

Bardón reporta, citando como fuente al Hospital de Enfermedades Respiratorias y Cirugía Torácica, que el número promedio de días de hospitalización por enfermedades respiratorias (excluido el cáncer al sistema respiratorio) fue el año 1988 de 20 días. Tomando 15 de esos días como laborales, se tiene que el número total de días laborales perdidos por hospitalización debido a enfermedades respiratorias que se hubieran evitado el año 1988, alcanza a 2.010 días.

Por otra parte, suponemos que las consultas por enfermedades respiratorias de adultos que no resultan en hospitalización corresponden a episodios de enfermedades que duran en promedio dos semanas o 10 días laborales.<sup>20</sup> Esto significa que el número de días laborales perdidos por este concepto que se hubieran evitado en 1988 alcanza a 334.360.

---

<sup>20</sup> Véase Bart Ostro, «Generic Estimates of the Economic Effects of Criteria Air Pollutants: A Review and Synthesis», *op. cit.*

Para valorar los días perdidos se utiliza el ingreso proveniente del trabajo por día para el año 1988, estimado por Bardón a partir de la Encuesta de Ingresos por Actividad Económica de junio de 1988 de la Universidad de Chile. Esta cifra es de \$ 1.659. Por lo tanto, el costo evitado por ausentismo laboral hubiera alcanzado el año 1988 a \$ 558.037.830 en pesos de ese año.

El Cuadro 7 resume los beneficios económicos en salud, expresados en pesos de diciembre de 1992, asociados a una reducción del 50% en el PM10, estimados en esta sección a partir de información del año 1988.

CUADRO 7 ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS EN SALUD ASOCIADOS CON UNA REDUCCIÓN DEL 50% EN PM10.  
(Expresados en \$ de diciembre de 1992)

Tipo de Beneficio	Monto en millones de \$
Costo evitado en consultas por enfermedades respiratorias	1.132
Costo evitado en hospitalizaciones	140
Costo evitado por ausentismo laboral	1.239
Costo total evitado	2.511

#### 4. Resumen y conclusiones

En este trabajo se ha realizado una estimación gruesa de los potenciales beneficios en salud de reducir la contaminación atmosférica en la ciudad de Santiago. Al hacerlo se han considerado sólo algunos de los efectos sobre la morbilidad dejando afuera otros posibles sobre la mortalidad y otros efectos adversos que la contaminación tiene sobre el bienestar de las personas.

El estudio tiene dos partes claramente separables. En la primera se intenta obtener una medida de la sensibilidad de las consultas por enfermedades respiratorias frente al PM10, controlando por variables climatológicas. En la segunda parte, se utiliza la elasticidad estimada en la primera, para tratar de cuantificar los beneficios econó-



micos de reducir la contaminación en un 50%, que es aproximadamente lo que se hubiera requerido el año 1988 para alcanzar la norma anual de PM10. Se pudo estimar tan sólo tres costos: por consulta, por hospitalización y por ausentismo laboral. El beneficio total, estimado como los costos evitados por la reducción de PM10, ascendió a \$2.511 millones expresados en pesos de diciembre de 1992

Por último, el objetivo fundamental de este ejercicio ha sido mostrar que este tipo de análisis arroja resultados que pueden ser de enorme utilidad para la toma de decisiones en materia de descontaminación ambiental. Hay varias direcciones en que este tipo de análisis podría ser refinado al contar con datos más actualizados y completos. Sería útil hacerlo.

### Apéndice 1 Descripción de los datos epidemiológicos y de contaminación

Los consultorios incluidos son: Dr. Hernán Alessandri, en Providencia; Independencia, en Conchalí; Monjitas, en Santiago; Dr. Carlos Avendaño, en Pudahuel, y Dr. Anibal Ariztía, en La Reina.

La enfermedades respiratorias son:

Rinofaringitis Aguda (CIE 460)  
Sinusitis Aguda (CIE 461)  
Faringitis Aguda (CIE 462)  
Laringo-traqueítis Aguda (CIE 464)  
Inflamación Aguda de las Vías Respiratorias (CIE 465)  
Bronquitis no Especificadas (CIE 490)  
Bronquitis-Bronqueolitis (CIE 466)  
Asma Bronquial (CIE 493)  
Neumonías y Bronconeumonias (CIE 480-483,485,486).

Además, las consultas estaban clasificadas en 7 grupos etéreos: de 0 a 1 año, de 1 a 2 años, de 2 a 5 años, de 6 a 14 años, de 15 a 19 años, de 20 a 64 años y 65 y más años.

Los datos de contaminación se obtuvieron del Sistema MACAM de Medición de Contaminantes Atmosféricos. Este sistema consta de estaciones de monitoreo que entregan mediciones horarias —en 1988, entre lunes y viernes— de monóxido de carbono, dióxido de



nitrógeno, ozono, anhídrido sulfuroso y partículas en suspensión separadas en fracción gruesa y fina. Cada una de estas estaciones se encuentra en las cercanías de uno de los consultorios señalados anteriormente. Las estaciones de monitoreo están distribuidas geográficamente del siguiente modo:

Estación MACAM A	:	Zona Central Centro
Estación MACAM B	:	Zona Central Oriente
Estación MACAM C	:	Zona Central Norte
Estación MACAM D	:	Zona Central Sur
Estación MACAM Móvil	:	Zona Oriente

Los datos de temperatura y humedad provienen de estas estaciones de monitoreo, excepto aquella asociada al consultorio Monjitas. Para la temperatura también se utilizó información proveniente de una estación meteorológica localizada en la Quinta Normal.