

**CONTAMINACION ATMOSFERICA Y SALUD: ESTIMACION
DE UNA FUNCION DOSIS-RESPUESTA PARA CALI***

**CARLOS H. ORTIZ QUEVEDO
JAIME ESCOBAR MARTINEZ
DIEGO GARCIA MUÑOZ**

* La realización de esta investigación fue posible por el apoyo financiero del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) de la ciudad de Cali. El economista Johnny Rojas realizó una labor eficaz como asistente de investigación.

CARLOS H. ORTIZ QUEVEDO; JAIME ESCOBAR MARTINEZ; DIEGO GARCIA MUÑOZ.
CONTAMINACION ATMOSFERICA Y SALUD: ESTIMACION DE UNA FUNCION DOSIS-
RESPUESTA PARA CALI. En publicación: Documento de Trabajo no. 27. CIDSE, Centro de
Investigaciones y Documentación Socioeconomica: Colombia. Octubre 1996.

1. INTRODUCCION

¿Cuáles son los costos sociales y ambientales de la contaminación atmosférica? ¿Cuáles son, en especial, los costos de la contaminación atmosférica en términos de morbilidad? Estas y otras preguntas relacionadas con la valoración de los recursos naturales y ambientales se han convertido en una preocupación fundamental de las agencias internacionales, los gobiernos y los agentes privados en todo el mundo. Este es también el caso de Colombia, especialmente desde que la ley 99/1993, por la cual se creó el Ministerio del Medio Ambiente, autorizó el cobro de tasas retributivas y compensatorias por el deterioro de los recursos naturales y ambientales (ver el artículo 42 de la ley 99).

Dada la usual separación entre los costos privados de los contaminadores y los costos sociales derivados de la contaminación, la eficiencia económica requiere la internalización de los costos sociales (en los costos privados) por medio de las tasas. Por tanto, el gobierno debe estimar de alguna forma los costos de la contaminación. Esta es claramente una responsabilidad mayor, pues una subestimación de los costos podría impedir una reconversión hacia tecnologías más limpias, y una sobreestimación podría lograr que algunos sectores productivos dejen de ser económicamente viables.

Este trabajo se propone contribuir a la problemática planteada con una estimación del impacto de la contaminación atmosférica en la salud. Para ello se estima la función dosis-respuesta que determina el impacto de la contaminación atmosférica en Cali sobre un conjunto de enfermedades respiratorias relacionadas. Valorando el costo de estas enfermedades se realiza un ejercicio provisional de estimación del costo social de la morbilidad inducida por la contaminación atmosférica.

Algunas advertencias son necesarias. Cualquier análisis estadístico del impacto de la contaminación atmosférica sobre la morbilidad en Cali enfrenta las dificultades propias de la inexistencia de información, la escasez de la información disponible y la baja calidad de la misma. Naturalmente, estas deficiencias afectan la precisión del análisis. Tampoco sobra advertir que el impacto de otras externalidades derivadas de la contaminación atmosférica, en especial las relacionadas con la mortalidad, no es considerado en este estudio, primordialmente por falta de información adecuada. Por otra parte, aunque los datos examinados son consistentes con la hipótesis de que la contaminación atmosférica sí induce enfermedades respiratorias, todavía se requiere un mayor estudio de la relación entre emisión de contaminantes y nivel de contaminación para calcular el costo social (en términos de morbilidad) de la emisión de contaminantes atmosféricos. Así, pues, este informe deja un espacio amplio para que esta línea de investigación se desarrolle y refine.

El artículo está organizado como se describe a continuación. En la segunda sección se presenta brevemente alguna literatura de carácter regional e internacional sobre la relación entre contaminación atmosférica y morbilidad respiratoria. En la tercera sección se presenta una estimación econométrica de la función dosis-respuesta para la morbilidad respiratoria en Cali. En la cuarta sección se propone una estimación preliminar del costo marginal de la contaminación atmosférica por material particulado en términos de morbilidad respiratoria. Algunas conclusiones se presentan en la sección quinta. En el Apéndice se relacionan las fuentes de información y también se discuten los procedimientos de procesamiento de la

información y los problemas de la información disponible. Una gráfica y las regresiones se presentan en un anexo al final.

2. ESTUDIOS RELACIONADOS

En esta sección se presentan brevemente algunos trabajos científicos sobre la relación entre contaminación y salud en Cali y municipios aledaños -Yumbo y Jamundí-. También se presenta alguna literatura internacional sobre el mismo tema. Todos los informes presentados evidencia del impacto de la contaminación atmosférica en las enfermedades respiratorias.

Palacios et al (1992) desarrollan un estudio para analizar el contenido de metales pesados en la atmósfera -Fe, Cu, Zn, Pb, As y Hg- y su incidencia en la salud en la ciudad de Cali. De acuerdo con resultados preliminares, un 10% de la población expuesta exhibió preocupantes niveles de plomo en la sangre.

Tafur y Quintero (1994) realizan un análisis para comparar la incidencia sobre la morbilidad en el área de influencia de una fábrica de productos derivados de azufre. El análisis se desarrolló en dos etapas. Entre abril y mayo de 1977, cuando aún funcionaba la planta, se comparó la prevalencia de morbilidad -síntomas respiratorios agudos, enfermedades respiratorias no especificadas y asma- entre la población expuesta directamente y una población de control ubicada en una zona no industrial. En la segunda etapa del análisis, 1994, una vez cerrada la planta industrial, la incidencia de enfermedades respiratorias se redujo tanto en el área aledaña a la fábrica como en el área donde residía la población de control. Este resultado parecería indicar que la contaminación atmosférica en Cali, dadas las características de dispersión existentes, incide de manera negativa y relativamente uniforme sobre una gran proporción de los habitantes de la ciudad.

Rico (1995) realiza un análisis comparativo entre la población residente en Yumbo -zona de alta contaminación atmosférica- y la población residente en Jamundí, la cual se caracteriza por bajos niveles de contaminación atmosférica. La evidencia estadística sugiere que la incidencia de enfermedades respiratorias es significativamente mayor en Yumbo que en Jamundí. Además, el estudio también encuentra evidencia significativa de que la contaminación atmosférica incide positivamente en la demanda de servicios médicos por la comunidad.

La experiencia internacional en el enfoque analítico de dosis-respuesta también sugiere en muchos estudios que la contaminación atmosférica sí afecta positiva y significativamente tanto la morbilidad como la mortalidad. Para el caso de Estados Unidos, Lester y Seskin (1973) presentan evidencia estadística significativa de que los contaminantes en el aire pueden iniciar o agudizar un amplio rango de enfermedades respiratorias, incluyendo bronquitis crónica, enfisema, asma y posiblemente cáncer de pulmón.

Lave y Seskin (1978), utilizando información correspondiente a 177 ciudades norteamericanas, encuentran evidencia estadística significativa sobre la incidencia del material particulado y del dióxido de azufre en la mortalidad. El estudio concluye que la reducción de estos contaminantes disminuye significativamente la tasa de mortalidad.

Gerkin y Stanley (1986) avanzan sobre el trabajo anterior, pero se alejan del enfoque dosis-respuesta para concentrarse en una metodología basada en la revelación de la disponibilidad a pagar de los habitantes de Saint Louis (USA) por un mejoramiento de la calidad del aire. Los costos incurridos por el tratamiento médico de enfermedades respiratorias son incorporados en una función de producción de salud que presenta argumentos en dichos gastos, la calidad del aire y una serie de argumentos cualitativos -salud, educación, raza, etc.-. El estudio concluye que las personas analizadas estarían dispuestas a pagar 25 dólares anuales -el 60% del valor de una consulta médica- para disfrutar una disminución del 30% en los niveles de contaminación por ozono en el área de St. Louis.

Ostro (1983, 1987), recupera el enfoque de la función dosis-respuesta y estima por mínimos cuadrados ordinarios una expresión que muestra en forma robusta y significativa la correlación positiva entre la contaminación atmosférica por la concentración de material particulado y dióxido de azufre con la morbilidad de la población en 84 ciudades norteamericanas. El análisis econométrico controló las características socioeconómicas de la población afectada y las características atmosféricas de las ciudades de la muestra. Con respecto a estos trabajos, Azqueta (1994) señala que los coeficientes calculados resultan ser significativamente mayores para el caso de la morbilidad que para la mortalidad.

También Ostro et al. (1995), utilizando información sobre niveles de contaminación por material particulado (PM10) y mortalidad en Santiago de Chile, encuentra evidencia robusta sobre el efecto de esta contaminación sobre la tasa de mortalidad.

3. ANALISIS DOSIS-RESPUESTA

Para el análisis econométrico se imponen tres restricciones sobre la población seleccionada:

1- Sólo se consideran las enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica: infecciones respiratorias agudas, bronquitis, enfisema y asma. Estudios internacionales muestran que este conjunto de enfermedades respiratorias se relacionan de forma sistemática con la contaminación atmosférica, en particular con la concentración de partículas suspendidas en el aire -emitidas primordialmente por fuentes fijas- y la concentración de gases como monóxido de carbono y dióxido de azufre -emitidos primordialmente por fuentes móviles-. (ver O'Neil et al, 1994; y Ostro, 1983, 1987, 1995).

2- Se toma como población de referencia solamente a los menores de 15 años que fueron reportados enfermos durante el período de estudio. Esta restricción se plantea bajo el supuesto de que la población infantil está permanentemente expuesta a la contaminación de su entorno, ya que desarrolla sus actividades rutinarias en el área donde se generan las emisiones. Para justificar esta restricción se puede argüir que la inclusión de personas de mayor edad en la población analizada podría inducir sesgos en las estimaciones por consumo de tabaco, desplazamientos a zonas con condiciones atmosféricas diferentes y riesgos de contaminación ocupacional.

3- El objeto de nuestro estudio es la zona industrial de Cali, ubicada en el sector norte del área urbana, en la jurisdicción de los Sistemas Locales de Salud (SILOS) 2 y 3.

Aunque algunas enfermedades respiratorias se relacionan con algunos contaminantes atmosféricos específicos (ver Awad, s.f), los análisis econométricos dosis-respuesta sólo presentan robustez para el conjunto de las enfermedades respiratorias mencionadas. Por tanto, este estudio se concentra en la estimación agregada de la función dosis-respuesta. El análisis se basa en la información anual del período 1985-1992 presentada en el Cuadro 1. La segunda columna presenta la serie del número de niños menores de 15 años con enfermedades respiratorias que fue reportado en los centros de salud de la zona de estudio. La tercera columna presenta la serie estimada de la población en la zona mencionada. La cuarta columna es la serie de la tasa bruta de morbilidad por diez mil habitantes ($TBM = \text{MORBILIDAD} * 10.000 / \text{POBLACION}$); no fue posible calcular la tasa específica porque no existe información confiable sobre el tamaño de la población menor de 15 años ubicada en el área de estudio. Sin embargo, dada una estructura de edades, se puede esperar que la tasa específica de morbilidad sea proporcional a la bruta. La quinta columna presenta la serie de la concentración de las partículas suspendidas en el aire en la zona. Teniendo en cuenta la evolución anual del consumo promedio de gasolina, calculamos en la sexta columna la serie del parque automotor registrado de Cali se presenta en la sexta columna la serie del consumo total de gasolina por fuentes móviles. En el análisis econométrico, el consumo de gasolina se presenta como una variable “proxy” de la emisión de gases contaminantes realizada por el parque automotor caleño: se puede suponer razonablemente que tal emisión es proporcional al consumo de gasolina.

Aunque el número de observaciones de que disponemos es muy reducido -sólo ocho observaciones-, el análisis dosis-respuesta es consistente con los análisis realizados en otros estudios. La gráfica presentada en el anexo muestra que pareciera existir una estrecha relación entre enfermedades respiratorias y contaminación atmosférica por material particulado en el aire; a excepción del año 1990, estas variables fluctúan anualmente en la misma dirección.

En el análisis de regresión utilizaremos las variables definidas en el Cuadro 1. Los resultados de las regresiones se presentan en el anexo. Las estimaciones se realizan por mínimos cuadrados ordinarios. La letra **L** denota logaritmo natural; la letra **D** indica variación anual; la letra **C** denota el intercepto de la regresión.

Cuadro 1

Variables del Análisis de Morbilidad Respiratoria
Cali, SILOS 2 y 3
1985-1992

| Obs | Morbilidad | Población | TBM (*10000) | PS (<i>ug/m3</i>) | Parque Automotor | Gasolina |
|------|------------|-----------|-----------------|------------------------|---------------------|----------|
| 1985 | 11020 | 565260 | 194,95 | 262 | 135607 | 80675 |
| 1986 | 9500 | 583647 | 162,77 | 171 | 143008 | 82962 |
| 1987 | 11718 | 602632 | 194,46 | 191 | 150217 | 88272 |
| 1988 | 12360 | 622234 | 198,64 | 198 | 151644 | 87884 |
| 1989 | 12110 | 642474 | 188,49 | 194 | 161480 | 89902 |
| 1990 | 13024 | 647530 | 201,09 | 170 | 167359 | 91985 |
| 1991 | 18750 | 652566 | 287,31 | 195 | 182017 | 97348 |
| 1992 | 17164 | 658129 | 260,8 | 179 | 196340 | 101879 |

Símbolos y Fuentes. **MORBILIDAD**: Cálculos del CIDSE con base en información de la Secretaría de Salud de Cali. **POBLACIÓN**: Proyecciones de Población, Secretaría de Salud Pública Municipal. **TBM**: Tasa Bruta de Morbilidad por 10.000 habitantes. **PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN**: número de microgramos en el aire por metro cúbico (promedio aritmético anual). **GASOLINA**: miles de galones de gasolina consumida por el parque automotor registrado en Cali.

La primera regresión (ver el Anexo) arroja que tanto la contaminación por material particulado como la variable “proxy” de la contaminación generada por el parque automotor parecen incidir directamente sobre la morbilidad por enfermedades respiratorias. De hecho, los coeficientes de la regresión exhiben los signos positivos esperados y son significativos al 5%. A pesar de la brevedad de las series utilizadas, el grado de ajuste es sorprendentemente alto: 88.6% de la variación de la tasa bruta de morbilidad es explicada por la regresión. Además, el modelo no parece sufrir de problemas de autocorrelación, heteroscedasticidad u otro tipo de problema econométrico. Como resultado obtenemos un estimativo de la elasticidad de la tasa bruta de morbilidad con respecto a la contaminación por material particulado de 0.69.

La posibilidad de que las variables sigan procesos con raíces unitarias no puede verificarse dada la brevedad de nuestras series. Pero suponiendo esta posibilidad corremos la regresión 2 en diferencias. La nueva estimación de la elasticidad contaminación de la TBM es 0.67, la cual es bastante aproximada al valor previamente estimado y es estadísticamente significativa al 5% (prueba de una cola). Sin embargo, la variable “proxy” de la contaminación automotor no parece ser significativa aunque se obtiene el signo esperado. Por demás, esta nueva regresión también presenta un buen ajuste (el R^2 es alto: 69.2%), y no parece sufrir de ningún problema econométrico. Así, pues, aunque el poder de este ejercicio es escaso, debido, repetimos, a la brevedad de nuestras series, parecería que el factor más importante para explicar el comportamiento de la tasa bruta de morbilidad es la contaminación por material particulado.

Excluyendo de la anterior regresión la variable independiente no significativa (“DLGAS”) obtenemos la Regresión 3. Este ejercicio arroja una estimación de la elasticidad de la contaminación por material particulado de la TBM del 0.74; la estimación es significativa al 5%. El R^2 es del 61.9% y no aparece evidencia de algún problema econométrico.

La regresión (4) es una versión no restringida de la ecuación (3): descomponiendo la tasa bruta de morbilidad ($TBM=MORB/POB$), utilizamos el logaritmo de la población como variable independiente. Esta regresión tiene muy pocos grados de libertad; pero arroja que la estimación del coeficiente asociado al material particulado -la elasticidad de la morbilidad ante contaminación por material particulado- es igual a 0.71 y es significativo al 5% (prueba de una cola). Sin embargo, la estimación del coeficiente asociado a la población no es significativa -este fenómeno se explica por el lento crecimiento de la población de la zona a partir de 1989-. La exclusión de la variable no significativa de la regresión (4) arroja la regresión (5), de donde obtenemos una estimación de la elasticidad de la morbilidad con respecto al material particulado de 0.74. Esta regresión no parece sufrir de problemas econométricos y presenta un R^2 alto: 63.2%.

Aunque los ejercicios econométricos realizados hasta ahora no parecieran sufrir de problemas estadísticos, la pequeñez de la muestra agregada podría arrojar dudas sobre la significación estadística de los resultados. Afortunadamente, la información sobre morbilidad se puede descomponer en dos subgrupos: niños menores de cinco años y niños entre 5 y 14 años. Esto nos permite duplicar el número de observaciones independientes. La descomposición de la información mencionada se presenta en el siguiente cuadro 2.

Cuadro 2

**Morbilidad Respiratoria en Niños Menores de 15 según Rangos de Edad
CALI, SILOS 2 y SILOS 3
1985-1992**

| AÑO | NIÑOS (0-4) | NIÑOS (5-14) |
|------------|------------------------|-------------------------|
| 1985 | 7280 | 3740 |
| 1986 | 6390 | 3110 |
| 1987 | 8027 | 3691 |
| 1988 | 8460 | 3900 |
| 1989 | 8295 | 3815 |
| 1990 | 9530 | 3494 |
| 1991 | 12860 | 5890 |
| 1992 | 12029 | 5135 |

Fuente: Secretaría de Salud Pública Municipal.

Utilizando mínimos cuadrados ordinarios se corre una regresión del logaritmo natural de los casos de morbilidad contra el logaritmo del grado de contaminación atmosférica por material particulado, el logaritmo del consumo de gasolina del parque automotor y una variable dicótoma (“dummy”) de la edad que asume el valor 0 para niños menores de cinco años y 1 para niños entre 5 y 14 años. Los resultados se presentan en la regresión 6. Se observa, nuevamente, un buen ajuste ($R^2=97.3\%$), mucho mayor que el de los ejercicios previos. Todos los coeficientes presentan los signos esperados y parecen ser significativos a cualquier nivel. La estimación de la elasticidad de la morbilidad ante contaminación por material particulado es 0.69, igual a las estimaciones previas. El coeficiente asociado a la variable “dummy” es negativo, lo cual parece indicar, como era de esperar, que los niños menores de cinco años son más propensos a contraer enfermedades respiratorias por contaminación atmosférica, lo cual da validez a la restricción sobre inmovilidad de la población, para efectos de medir el impacto de la contaminación sobre la salud. Finalmente, la regresión 6 no parece sufrir de problema econométrico alguno.

4. ESTIMACIÓN DEL COSTO MARGINAL DE LA CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO

Una vez calculada la elasticidad entre contaminación atmosférica y morbilidad, podemos realizar un ejercicio de estimación del costo marginal social de la contaminación midiendo los costos de tratamiento.

Ahora bien, un eslabón fundamental de este cálculo es la relación entre emisiones y concentración. Dado que Cali se caracteriza por deficientes condiciones de ventilación: se presenta una alta estabilidad atmosférica durante el 40% del año (ver Sánchez y Herrera, 1994; Medina y Uribe, 1994; Gómez, Montejo y Saavedra, 1994), se puede suponer de forma conservadora que existe una relación proporcional entre emisión y nivel de contaminación. Aunque este supuesto es razonable y no permite avanzar en los cálculos siguientes, es

conveniente mencionar que todavía es necesario un estudio de dispersión para establecer la relación exacta entre la emisión de contaminantes y nivel de la contaminación en el área de Cali. Por esta razón, los cálculos siguientes deben tomarse como provisionales.

De acuerdo con los cálculos de la sección anterior, la elasticidad de la morbilidad con respecto a la concentración de material particulado en el aire es 0.7 ($=\partial M/\partial C \times C/M$). Suponiendo que la elasticidad de la concentración con respecto a la emisión es 1 ($=\partial C/\partial E \times E/C$), se sigue que la elasticidad de la morbilidad con respecto a la emisión es igual a 0.7 ($=\partial M/\partial E \times E/M$). Una estimación realizada en el corredor industrial Cali-Yumbo para el año 1990 arrojó que la industria emite 34.928 toneladas anuales de material particulado (Gómez, Montejo y Saavedra, 1994). En ese mismo año, el número de niños menores de quince años con enfermedades respiratorias reportado en los centros de salud de la zona industrial de Cali fue 13.021. Por tanto, la estimación de la relación marginal entre morbilidad y emisión es igual a 0.26 ($=\partial m/\partial E$). De acuerdo con la información suministrada por la Cooperativa Médica del Valle -COOMEVA-, el costo promedio de la consulta, tratamiento y hospitalización de una enfermedad respiratoria es de \$1.000.000 de 1995. Por tanto, si este costo promedio es aproximado al costo marginal -nosotros suponemos que la tecnología de atención en salud está sujeta a rendimientos decrecientes, con lo cual el costo promedio subestima el costo marginal-, el costo marginal social de la emisión de material particulado es aproximadamente \$260.000 de 1995 ($0.26 \times \$1.000.000$); i.e. cada tonelada de material particulado que emite la industria tiene un costo marginal social igual al monto mencionado.

Utilizando el índice de precios del productor para la industria manufacturera, el costo marginal de la emisión de material particulado se estima en \$104.369 de 1990. Teniendo en cuenta la estimación de la emisión industrial de material particulado para el año 1990, obtenemos un costo total de \$3.645,4 millones de 1990. Esto representa, de acuerdo con la cifras del *Anuario de la Industria Manufacturera 1990* (DANE), el 0.7% del PIB y el 0.9% del excedente bruto de explotación de la industria manufacturera localizada en la zona metropolitana Cali-Yumbo.

5. CONCLUSIONES

La conclusión general de los ejercicios econométricos realizados en la tercera sección es que la relación entre contaminación por material particulado y morbilidad respiratoria en la ciudad de Cali parece ser positiva y robusta incluso cuando se controla el efecto de la contaminación automotor. Esta robustez implica que la relación se mantiene ya sea que la morbilidad se mida en tasas o en niveles. Los estimativos obtenidos implican una elasticidad de 0.7: un incremento del 10% en la contaminación por material particulado aumenta los casos de enfermedades respiratorias en 7%. Para efecto de comparación se puede mencionar que las estimaciones de esta elasticidad para Estados Unidos arrojan valores entre 0.31 y 0.45 (ver Ostro, 1983, 1987). Que los estimativos para Cali sean mayores no es sorprendente dado que todos sus Sistemas Locales de Salud (SILOS) para los cuales se obtiene información sobre calidad del aire, registran niveles de concentración de material particulado que superan permanentemente la norma de emisión. De acuerdo con el decreto 02 de 1982, la norma de emisión para Cali es de $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pero, como lo muestra el dato promedio de la zona industrial de Cali (ver el Cuadro 1 o la Gráfica del ANEXO), en el período 1985-1992, las concentraciones de material particulado

en la atmósfera no disminuyeron de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, en la zona de estudio, se presentan sectores en las cuales la norma es superada hasta cinco veces (Gómez, Montejo v Saavedra, 1994). Si, como es de esperar, la elasticidad de la morbilidad con respecto a la contaminación aumenta exponencialmente con el grado y la duración de la contaminación atmosférica (Azqueta 1994), los resultados obtenidos son consistentes con las mediciones internacionales.

Otra conclusión del estudio es que el costo del tratamiento de la morbilidad inducida por la contaminación industrial con material particulado no representa ni el 1% de las ganancias de la industria manufacturera ubicada en la zona metropolitana Cali-Yumbo. Así, pues, la internalización de estos costos por medio de tasas retributivas no debería inducir el abandono de la actividad por las industrias contaminantes. Sin embargo, todavía queda por estudiar si estas tasas podrían inducir el control de la contaminación y/o la reconversión hacia tecnologías más limpias.

Finalmente, a partir de este estudio se puede recomendar que las autoridades municipales se preocupen con mayor énfasis por llevar registros permanentes y frecuentes de las estadísticas relacionadas con la contaminación ambiental (ver al respecto el Apéndice de este trabajo). Sólo contando con esta información se podrá llegar a estudios precisos sobre el impacto socioeconómico de la contaminación ambiental.

APENDICE

FUENTES DE LA INFORMACIÓN ESTADÍSTICA, PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y DEFICIENCIAS

Se presenta a continuación una descripción somera de las fuentes de información, los procedimientos de procesamiento de la información y los problemas encontrados. Esta sección es necesaria porque, como se menciona en la introducción, las mayores dificultades del estudio se encontraron en la disponibilidad de la información, la deficiente calidad de las estadísticas y la demora en el procesamiento de las mismas.

Contaminación Atmosférica

Con respecto a la contaminación atmosférica sólo se obtuvo información sobre la concentración de material particulado -el cual se mide en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)- para la zona industrial del norte de Cali. La información es recolectada por la Secretaría de Salud Pública Municipal, más específicamente por la Red de Monitoreo de la Calidad Ambiental de la ciudad de Cali, la cual es manejada por la Unidad de Epidemiología y Estadística de la Secretaría de Salud desde 1985. Tres estaciones de la Red se ubican en el área objeto de estudio: la Estación del Centro de Diagnóstico Automotor, la Estación del Centro de Salud del Barrio Villacolombia y la Estación del Centro de Salud del Barrio Popular. Así, pues, el estudio utilizó las series mensuales de estas estaciones sobre el número total de Partículas Suspendidas a partir del año de 1985 hasta el año 1992. Por una razón que se explicará posteriormente, las series se anualizaron para las tres estaciones de monitoreo mencionadas calculando promedios geométricos de la concentración de material particulado en los doce meses del año; posteriormente se agregó la información calculando promedios aritméticos de la concentración anual en las tres estaciones de monitoreo mencionadas. No fue posible conseguir información posterior a 1992 porque el deterioro de los equipos de muestreo y la falta de reposición o reparación impidió la continuidad de la toma de muestras de la calidad del aire.

Morbilidad

Hasta el año de 1988, el Servicio Seccional de Salud dividía la ciudad de Cali en 4 áreas de operación; estas áreas llevan un registro permanente del número de casos reportados por tipos de enfermedades, como también del número de decesos producidos por causas; anualmente se reportaban las diez o veinte primeras causas de morbilidad o mortalidad, clasificadas por grupos de edad y sexo.

A partir de 1989, cuando el Departamento de Planeación Municipal conformó la actual distribución político-administrativa de la ciudad, cada zona fue asignada a una Unidad Ejecutora de Saneamiento (UES) y en cada una comenzó a operar un Sistema Local de Salud (SILOS). Esta asignación fue diseñada para descentralizar las actividades de atención a la salud y de saneamiento básico. La ciudad quedó así distribuida en siete Unidades y otros tantos Sistemas correspondientes; seis Unidades están situadas en el casco urbano y la otra comprende toda el área rural del municipio.

Cada UES se encarga de recolectar la información estadística sobre salud y saneamiento local, para presentar anualmente el informe de atención a la Unidad de Estadística de la Secretaría de Salud Pública Municipal (SSPM), donde se realiza el proceso de sistematización de la información. Desafortunadamente esta información no se procesa mensualmente, razón por la cual el análisis econométrico realizado en este estudio se debió limitar a trabajar con series anuales. De esta forma, se pierde una gran cantidad de valiosa información y, naturalmente, las series de análisis se acortan considerablemente. Peor aún, a la fecha de edición de este informe, la Unidad de Estadística de la SSPM sólo ha procesado la información correspondiente a los años 90, 91 y 92. Por tanto, solamente se cuenta con una serie anual muy corta que abarca el período 1985-1992. Debe advertirse, adicionalmente, que la información procesada por la SSPM es fragmentaria, pues toma en cuenta solamente las personas que reportan su estado de salud a los Centros de Atención y Hospitales de niveles II y, III que son de la jurisdicción de la UES correspondiente; se deja así por fuera la información sobre las enfermedades reportadas a servicios privados de salud, al Seguro Social y a los centros hospitalarios de nivel 1.

Afortunadamente no se presentó incompatibilidad de las series en los dos períodos (85-89 y 90-92) porque las áreas 2 y 3 del antiguo sistema de salud, corresponden exactamente a la zona norte de la ciudad, o lo que en la actualidad se denomina como SILOS 2 y SILOS 3.

Población

La información proviene de las Proyecciones de Población realizadas por Bayona (1994) para la Secretaría de Salud Pública Municipal y el Departamento de Medicina Social de la Universidad del Valle. En el estudio se consideró la actual distribución político administrativa de Cali, y las estimaciones se hicieron para cada una de las comunas que conforman las áreas urbana y rural del municipio. Se presenta igualmente el problema de la serie de tiempo muy corta, pues las proyecciones abarcan el período de 1989 a 1992. Para los años anteriores al año 1989 se emplearon las informaciones publicadas por Planeación Municipal, con estimaciones para cada uno de los barrios que conforman las comunas.

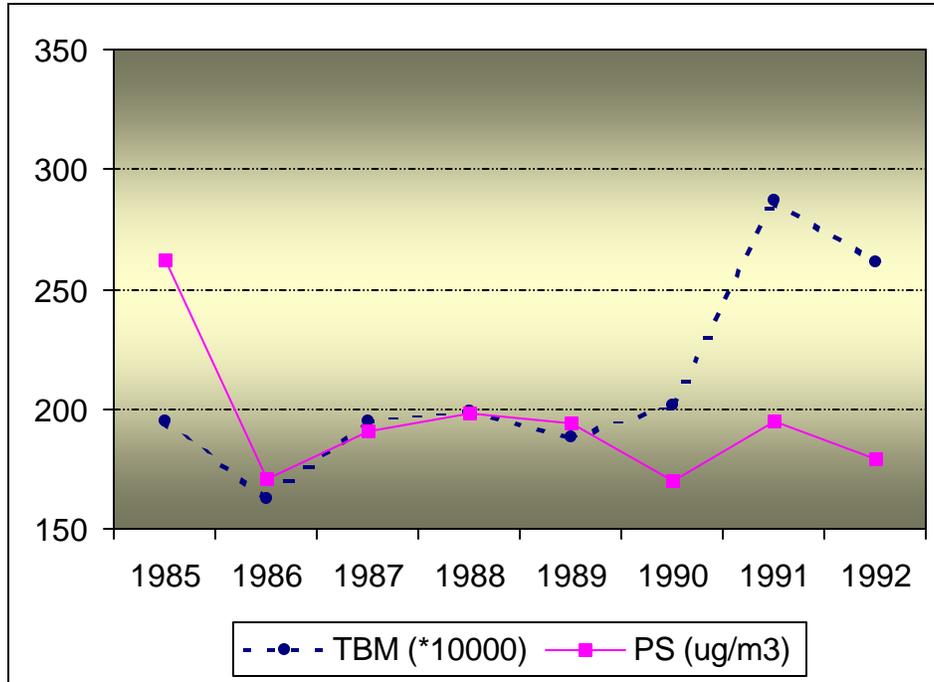
Parque Automotor y Consumo de Gasolina Motor

La Secretaría de Tránsito Municipal y el Centro de Diagnóstico Automotor de Cali son las entidades encargadas del registro y conteo del Parque Automotor matriculado en las oficinas de tránsito municipal.

Utilizando los registros de ECOPETROL sobre el consumo de combustibles en la ciudad, el CIDSE estimó el consumo de Gasolina motor y de ACPM en Cali hasta el año 2000. Esta información fue obtenida de un estudio realizado por el CIDSE en 1991 (ver Corchuelo, 1991).

ANEXO

Tasa Bruta de Mortalidad y Contaminación por Material Particulado Cali 1985-1992



PS: Partículas Suspendidas Totales (Microgramos por metro cúbico)

TBM: Tasa Bruta de Mortalidad

Regresión 1

Ordinary Least Squares Estimation

| Dependent variable is LTASA | | | | | |
|--|-----------------|----------------------------|------------------|---------------|---|
| 8 observations used for estimation from 1985 to 1992 | | | | | |
| Regressor | Coefficient | Standard Error | T-Ratio [Prob] | | |
| C | -36.7360 | 5.3691 | -6.8421 [.001] | | |
| LUG | .68756 | .23122 | 2.9737 [.031] | | |
| LGAS | 2.5638 | .41022 | 6.2498 [.002] | | |
| R-Squared | .88652 | F-statistic F (2, 5) | 19.5303 [.004] | | |
| R-Bar-Squared | .84113 | S. E. of Regression | .073397 | | |
| Residual Sum of Squares | .026936 | Mean of Dependent Variable | -3.8736 | | |
| S. D. Of Dependent Variable | .18414 | Maximum of Log-likelihood | 11.4235 | | |
| DW.satatic | 2.2796 | | | | |
| Diagnostic Tests | | | | | |
| Test Statistics | * | LM Version | * | F Version | * |
| * A: Serial Correlation | * CHI-SQ (1) = | .30567[.580] | * F (1, 4) = | .15891[.711]* | |
| * B: Functional Form | * CHI-SQ (1) = | 1.4089[.235] | * F (1, 4) = | .85500[.407]* | |
| * C: Normality | * CHI-SQ (2) = | .10879[.947] | * Not applicable | | |
| * D: Heteroscedasticity | * CHI-SQ (1) = | 1.3695[.242] | * F (1, 6) = | 1.2393[.308]* | |

A: Lagrange multiplier test of residual serial correlation

B: Ramsey's RESET test using the square of the fitted values

C: Based on a test of skewness and kurtosis of residuals

D: Based on the regression of squared residuals on squared fitted values

Regresión 2

Ordinary Least Squares Estimation

Dependent variable is DLTASA

7 observations used for estimation from 1986 to 1992

| Regressor | Coefficient | Standard Error | T-Ratio [Prob] |
|-----------------------------|-------------|----------------------------|----------------|
| C | .0040114 | .094021 | .042665 [.968] |
| DLUG | .66514 | .27532 | 2.4159[.073] |
| DLGAS | 2.2125 | 2.2800 | .97037 [.387] |
| R-Squared | .69157 | F-statistic F (2, 4) | 4.4844 [.095] |
| R-Bar-Squared | .53735 | S. E. of Regression | .12296 |
| Residual Sum of Squares | .060480 | Mean of Dependent Variable | .041570 |
| S. D. Of Dependent Variable | .18078 | Maximum of Log-likelihood | 6.6972 |
| DW-statistic | 2.2016 | | |

Diagnostic Tests

| Test Statistics | * | LM Version | * | F Version | * |
|-------------------------|-----------------|--------------|------------------|----------------|---|
| * A: Serial Correlation | * CHI-SQ (1) = | 1.7737[.183] | * F (1, 3) = | 1.0182[.387] | * |
| * B: Functional Form | * CHI-SQ (1) = | 2.3684[.124] | * F (1, 3) = | 1.5341 [.304] | * |
| * C: Normality | * CHI-SQ (2) = | .41145[.814] | * Not applicable | | |
| * D: Heteroscedasticity | * CHI-SQ (1) = | .13396[.714] | * F (1, 5) = | .097552[.767]* | |

A: Lagrange multiplier test of residual serial correlation

B: Ramsey's RESET test using the square of the fitted values

C: Based on a test of skewness and kurtosis of residuals

D: Based on the regression of squared residuals on squared fitted values

Regresión 3

Ordinary Least Squares Estimation

Dependent variable is DLTASA

7 observations used for estimation from 1986 to 1992

| Regressor | Coefficient | Standard Error | T-Ratio [Prob] |
|-----------------------------|-------------|----------------------------|----------------|
| C | .082097 | .048342 | 1.6982 [.150] |
| DLUG | .74467 | .26130 | 2.8499[.036] |
| R-Squared | .61896 | F-statistic F (1, 5) | 8.1219 [.036] |
| R-Bar-Squared | .54275 | S. E. of Regression | .12224 |
| Residual Sum of Squares | .074717 | Mean of Dependent Variable | .041570 |
| S. D. Of Dependent Variable | .18078 | Maximum of Log-likelihood | 5.9573 |
| DW-statistic | 1.9298 | | |

Diagnostic Tests

| Test Statistics | * | LM Version | * | F Version | * |
|-------------------------|-----------------|---------------|------------------|----------------|---|
| * A: Serial Correlation | * CHI-SQ (1) = | .051040[.821] | * F (1, 4) = | .029380[.872]* | |
| * B: Functional Form | * CHI-SQ (1) = | 2.4589[.117] | * F (1, 4) = | 2.1660 [.215]* | |
| * C: Normality | * CHI-SQ (2) = | .54879[.760] | * Not applicable | | |
| * D: Heteroscedasticity | * CHI-SQ (1) = | .030535[.861] | * F (1, 5) = | .021906[.888]* | |

A: Lagrange multiplier test of residual serial correlation

B: Ramsey's RESET test using the square of the fitted values

C: Based on a test of skewness and kurtosis of residuals

D: Based on the regression of squared residuals on squared fitted values

Regresión 4

Ordinary Least Squares Estimation

 Dependent variable is DLMORB

7 observations used for estimation from 1986 to 1992

| Regressor | Coefficient | Standard Error | T-Ratio [Prob] |
|-----------------------------|-------------|----------------------------|----------------|
| C | .15744 | .098599 | 1.5967 [.186] |
| DLUG | .71160 | .26986 | 2.6370[.058] |
| DLPOB | -2.5498 | 4.0194 | -.63436 [.560] |
| R-Squared | .66594 | F-statistic F (2, 4) | 3.9869 [.112] |
| R-Bar-Squared | .49891 | S. E. of Regression | .12502 |
| Residual Sum of Squares | .062525 | Mean of Dependent Variable | .063300 |
| S. D. Of Dependent Variable | .17662 | Maximum of Log-likelihood | 6.5808 |
| DW-statistic | 1.9216 | | |

Diagnostic Tests

| Test Statistics | * | LM Version | * | F Version | * |
|-------------------------|-----------------|---------------|------------------|----------------|---|
| * A: Serial Correlation | * CHI-SQ (1) = | .75079 [.386] | * F (1, 3) = | .36043[.591]* | |
| * B: Functional Form | * CHI-SQ (1) = | 4.3406[.037] | * F (1, 3) = | 4.8964 [.114]* | |
| * C: Normality | * CHI-SQ (2) = | .47925[.787] | * Not applicable | | |
| * D: Heteroscedasticity | * CHI-SQ (1) = | .10585[.745] | * F (1, 5) = | .076770[.793]* | |

A: Lagrange multiplier test of residual serial correlation

B: Ramsey's RESET test using the square of the fitted values

C: Based on a test of skewness and kurtosis of residuals

D: Based on the regression of squared residuals on squared fitted values

Regresión 5

Ordinary Least Squares Estimation

| Dependent variable is DLMORB | | | |
|--|-----------------|----------------------------|-----------------------------|
| 7 observations used for estimation from 1986 to 1992 | | | |
| Regressor | Coefficient | Standard Error | T-Ratio [Prob] |
| C | .10332 | .046394 | 2.2270 [.076] |
| DLUG | .73536 | .25077 | 2.9324[.033] |
| R-Squared | .63233 | F-statistic F (1, 5) | 8.5992 [.033] |
| R-Bar-Squared | .55880 | S. E. of Regression | .11732 |
| Residual Sum of Squares | .068815 | Mean of Dependent Variable | .063300 |
| S. D. Of Dependent Variable | .17662 | Maximum of Log-likelihood | 6.2453 |
| DW-statistic | 1.9721 | | |
| Diagnostic Tests | | | |
| Test Statistics | * | LM Version | * F Version |
| * A: Serial Correlation | * CHI-SQ (1) = | .18611[.666] | * F (1, 4) = .10925[.758]* |
| * B: Functional Form | * CHI-SQ (1) = | 2.9948[.084] | * F (1, 4) = 2.9909 [.159]* |
| * C: Normality | * CHI-SQ (2) = | .51776[.772] | * Not applicable |
| * D: Heteroscedasticity | * CHI-SQ (1) = | .011600[.914] | * F (1, 5) = 0082996[.931]* |

A: Lagrange multiplier test of residual serial correlation

B: Ramsey's RESET test using the square of the fitted values

C: Based on a test of skewness and kurtosis of residuals

D: Based on the regression of squared residuals on squared fitted values

Regresión 6

Ordinary Least Squares Estimation

| Dependent variable is LMORB | | | | | |
|--|-----------------|----------------------------|------------------|-----------------|---|
| 16 observations used for estimation from 1 to 16 | | | | | |
| Regressor | Coefficient | Standard Error | T-Ratio [Prob] | | |
| C | -29.8967 | 4.3998 | -6.7951 [.000] | | |
| LUG | .69327 | .18947 | 3.6590[.003] | | |
| LGAS | 3.0982 | .33615 | 9.2167 [.000] | | |
| DUMMY | -.79371 | .042529 | -18.6627[.000] | | |
| R-Squared | .97309 | F-statistic F (3, 12) | 144.6599 [.000] | | |
| R-Bar-Squared | .96637 | S. E. of Regression | .085058 | | |
| Residual Sum of Squares | .086818 | Mean of Dependent Variable | 8.6946 | | |
| S. D. Of Dependent Variable | .46380 | Maximum of Log-likelihood | 19.0292 | | |
| DW-statistic | 2.3560 | | | | |
| Diagnostic Tests | | | | | |
| Test Statistics | * | LM Version | * | F Version | * |
| * A: Serial Correlation | * CHI-SQ (1) = | 1.3653[.243] | * F (1, 11) = | 1.0262[.333]* | |
| * B: Functional Form | * CHI-SQ (1) = | 1.3013[.254] | * F (1, 11) = | .97389 [.345]* | |
| * C: Normality | * CHI-SQ (2) = | .87388[.646] | * Not applicable | | |
| * D: Heteroscedasticity | * CHI-SQ (1) | .1039E-4[.997] | * F (1, 14) = | .9092E-5[.998]* | |

A: Lagrange multiplier test of residual serial correlation

B: Ramsey's RESET test using the square of the fitted values

C: Based on a test of skewness and kurtosis of residuals

D: Based on the regression of squared residuals on squared fitted values

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Awad, C. sin fecha. "Enfermedades respiratorias relacionadas con la ocupación y el ambiente"

Azqueta, D. 1994. *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*, McGraw Hill /Interamericana de España, S.A., Madrid, España.

Bayona, A. 1994. "Proyecciones de Población", Informe final de investigación, Secretaría de Salud Pública Municipal y Departamento de Medicina Social de la Universidad del Valle.

Corchuelo, A. 1991. "Demanda y Oferta de Energéticos en el Suroccidente Colombiano", Informe final de Investigación para EMCALI, CVC y Ministerio de Minas y Energía, Universidad del Valle-CIDSE, Cali.

DANE. *Anuario de Industria Manufacturera 1990*, Bogotá.

Gerkin, S. y Stanley, L.R. 1986. "An Economic Análisis of Air Pollution and Health: the case of Saint Louis", *The Review of Economics and Statistics*, LXVIII (1), p. 115-121.

Gómez, G., Montejo, S. y Saavedra, E. 1994. "Contaminación Atmosférica". *Contaminación Industrial en Colombia*, DNP - PNUD. Tercer Mundo Editores, Colombia, Agosto.

Lester, L. y Seskin, E.P. 1973. "An Analysis of the Association Between U.S. Mortality and Air Pollution", *Journal of the American Statistical Association*, June.

Lave, L.B. y Seskin, E.P. 1978. "Air Pollution and Human Health", *Resources for the Future*, John Hopkins University Press, Baltimore.

Medina, Y. y Uribe, E. 1994, "La contaminación industrial en Colombia", *Revista Planeación y Desarrollo*, Vol. XXV, No. 1. pags. 59-72. Bogotá.

O'Neil, W., Maurer, M., Polanía, D. 1994. "La Contaminación Industrial en Colombia", Fedesarrollo, Informe Final de Investigación para el proyecto "Diagnóstico y Control de la Contaminación Industrial", Departamento Nacional de Planeación y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Bogotá.

Ostro, B.D. 1983 "The Effects of Air Pollution on Work Loss and Morbidity" *Journal of Environmental Economics and Management*, 10, p. 372-382.

Ostro, B.D. 1987. "Air Pollution and Morbidity Revisited: A Specification Test", *Journal of Environmental Economics and Management*, 14, p. 87-98.

Ostro, B.D., et al, 1995. "Air Pollution and Mortality: Results from Santiago, Chile", *The World Bank, Policy Research Working Paper No. 1453*, Public Economic Division.

Palacios, N., Gallego, A. y Paredes, J. 1992. “Estudio de Metales Pesados en el Aire de Cali y su Efecto sobre la Salud de las Comunidades Expuestas”, Informe Final de Investigación presentado a COLCIENCIAS, Universidad del Valle, p. 99.

Rico, J. 1995. “Demanda de Servicios de Salud Pública y Calidad del Aire: Un Estudio Comparativo entre Yumbo y Jamundí”, Informe Final de Investigación, Universidad del Valle, Facultad de Salud, Escuela de Salud Pública, Septiembre.

Sanchez, E. y Herrera, C. 1994. “El estado del ambiente en Colombia”. *Contaminación Industrial en Colombia*, DNP - PNUD, Tercer Mundo Editores, Colombia, Agosto.

Sanchez Triana, E. y Uribe Botero, E. 1994. *Contaminación Industrial en Colombia*, DNP - PNUD, Tercer Mundo Editores, Colombia, Agosto.

Taffur, L. y Quintero, J. 1994. “Contaminación Ambiental y Enfermedad Respiratoria en Cali”, *Revista Avances en Medicina Social*, Vol. 4, No. 1.