

## La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad?\*

### *Not so sweet sugar cane*

Eleonora Dávalos Álvarez\*\*

#### Resumen

Existen numerosos estudios acerca de la relación entre la contaminación del aire y las enfermedades respiratorias, pero generalmente han sido realizados en grandes ciudades de países desarrollados donde dicho problema es asociado a las emisiones de fuentes móviles y fijas. Esta investigación se centra en una pequeña ciudad de Colombia: Palmira (Valle del Cauca) con no más de 300.000 habitantes, pero con un serio problema de contaminación originado por la quema de la caña de azúcar. De este modo, se plantea una función lineal para establecer si la quema de la caña de azúcar tiene relación con la concentración de partículas menores a diez micras (PM10), seguida de una función concentración-respuesta para establecer si las variaciones en la concentración de PM10 afectan la morbilidad. La relación entre la quema de la caña de azúcar y la concentración de PM10 se estimó por medio de un modelo de mínimos cuadrados ordinarios, mientras que en la relación entre las variaciones en la concentración del PM10

---

\* Agradezco la colaboración de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, el Hospital San Vicente de Paúl de Palmira y la Empresa de Energía del Pacífico, los comentarios de los profesores Henry Sámaca, Ana María Ibáñez y Juan Carlos Echeverry, y la ayuda brindada por Leonardo Morales en la construcción de este documento.

\*\* Asistente de Investigación Convenio BID-Gobernación de Antioquia. Alianza de Antioquia por la Equidad, Medellín, Colombia. Correo electrónico: *eleonora.davalos@antioquia.gov.co*.

Este artículo fue recibido el 15 de enero de 2007, modificado el 14 de mayo de 2007 y aceptado el 17 de mayo de 2007.

y la morbilidad se empleó un modelo Poisson. En ambas estimaciones se utilizaron datos de series de tiempo diarias entre febrero y junio de 2004. Se halló una asociación positiva entre aumentos en la quema de la caña de azúcar y la concentración del contaminante, seguida de una relación positiva entre la concentración del contaminante y el número de consultas médicas por infecciones respiratorias agudas (IRA). Este documento analiza por primera vez los efectos de la quema de la caña de azúcar en la salud pública en Colombia.

*Palabras clave:* infecciones respiratorias agudas, contaminación del aire, salud pública.

*Clasificación JEL:* I18, Q53.

## **Abstract**

There have been many studies on the relationship between air pollution and respiratory health, but these have usually been conducted in large cities of developed countries, where pollution is associated to mobile and fixed-source emissions. This study was conducted in a small Colombian city of fewer than 300,000 residents, but with substantial air pollution from sugar cane burning. To establish how sugar cane burning relates to respiratory health, a lineal function was used to describe the relationship between controlled sugar cane burns and the concentration of particles less ten microns (PM10), and a concentration-response function to relate the concentration of PM10 and the occurrence of respiratory disease. The relationship between burning and PM10 concentration was estimated with a least-square model, while a Poisson model described the relationship between PM10 concentration and disease occurrence. Both estimates used daily time series data between February and June for each variable. A positive association between sugar cane burns and the concentration of pollutants was found, as well as a positive relationship between concentrations of pollutants and the number of daily hospital admissions for acute respiratory illnesses (ARI). These analyses document for the first time the effects of controlled sugar cane burns on public health in Colombia.

*Key words:* acute respiratory illnesses, air pollution, public health.

*JEL Classification:* I18, Q53.

## Introducción

Los países en desarrollo se encuentran frente a un nuevo y creciente problema, la contaminación del aire. Los elevados niveles de contaminación son un riesgo para la salud de los habitantes de estos centros urbanos. Sin embargo, el parque automotor y la industria siguen creciendo, haciendo que las mediciones diarias superen los estándares sugeridos por The United States Environmental Protection Agency (EPA). Como resultado, la quinta parte de las enfermedades se originan por factores ambientales (Martínez, 2003) y en Colombia, se estima que anualmente mueren 6.040 personas a causa de la contaminación atmosférica (Banco Mundial, como se cita en Minambiente, 2006), manifestada a través de enfermedades cardiopulmonares, cáncer de pulmón e infecciones respiratorias agudas (IRA).

La relación entre contaminación y morbilidad o mortalidad, ha sido objeto de numerosos estudios en la última década, especialmente para emisiones originadas por fuentes móviles (automóviles) y fijas (industrias), pero con escasas investigaciones en fuentes de área (quemadas agrícolas). Existe, por tanto, incertidumbre acerca de la magnitud del efecto que puede generar esta práctica agrícola sobre las poblaciones vecinas. Pese a lo anterior, se lleva a cabo en Colombia durante todo el año como parte del proceso productivo de la caña de azúcar. Dicha actividad agrícola se extiende por todo el suroccidente del país, a lo largo del valle geográfico del río Cauca (véase anexo 1), ocupando 200.000 hectáreas, las cuales son sembradas y cortadas con intervalos de 12 meses aproximadamente, es decir, se corta y quema caña de azúcar diariamente.

El objetivo de este artículo es el de analizar el impacto de la quema de caña de azúcar sobre la salud de la población vecina. Para ello se emplea el municipio con mayor área de caña de azúcar sembrada en Colombia: Palmira (Valle del Cauca), el cual es un sitio propicio para analizar una de las externalidades que se puede derivar de esta práctica agrícola. En este municipio, se desconoce qué proporción de la contaminación es emitida por esta actividad y no se ha identificado el impacto que esta contaminación está generando en sus habitantes. No obstante, es la principal actividad productiva de la región, razón por la que esta investigación tiene como objetivos: i) Estimar una aproximación a la magnitud de emisiones generadas por las tres fuentes; ii)

Establecer la asociación entre dichas emisiones y la quema de la caña de azúcar, y iii) Determinar la relación entre las fluctuaciones en la concentración de PM10<sup>1</sup> y la morbilidad por IRA.

Estas estimaciones se llevan a cabo mediante la construcción de una función lineal que establece la relación entre la contaminación atmosférica y las tres fuentes. Después se emplea una función concentración-respuesta para estimar la relación entre morbilidad y contaminación, con base en la información suministrada por la autoridad ambiental y el principal hospital del municipio. La función se construye bajo el enfoque de un estudio ecológico y se estima a través de un modelo Poisson.

La presente investigación se compone por cinco secciones. La sección I realiza una descripción de la literatura existente. La sección II expone el modelo teórico que se busca aplicar al estudio de caso. En la sección III se describe la información utilizada, los métodos y la estimación empleada, a fin de presentar los resultados en la sección IV. Por último, se plantean algunas conclusiones y recomendaciones en la sección V.

## **I. La contaminación del aire, la morbilidad y la mortalidad**

Un medio ambiente sano permite el correcto desarrollo físico y mental de los individuos. En consecuencia, cambios en la calidad ambiental alteran de forma positiva o negativa la calidad de vida, aumentando o disminuyendo la probabilidad de enfermedad o muerte. Un cambio negativo en el medio ambiente, a través de un aumento de la contaminación, ocasiona un incremento en la morbilidad y mortalidad y, por ende, una caída en el bienestar.

La contaminación del aire es una externalidad negativa que implica una pérdida de bienestar. En este caso, la externalidad se aborda desde la morbilidad. El área de estudio objeto de esta investigación se limita al municipio de Palmira, localizado en el valle geográfico del río Cauca, al suroccidente de Colombia, con una población aproximada de 294.000 habitantes y un área plana de 505 km<sup>2</sup>, de los cuales el

---

<sup>1</sup> Contaminante emitido por los tres tipos de fuentes.

97% (40.000 hectáreas) está sembrado de caña de azúcar (Olaya y Ramírez, 2003).

### A. El proceso productivo

La caña de azúcar es un pasto perenne que puede producir durante varias décadas. Debido a las condiciones climáticas del valle geográfico del río Cauca, en Colombia no existe zafra<sup>2</sup>. Por tanto, este cultivo puede ser sembrado y cosechado a lo largo de todo el año (CEPAL, 2002). La siembra se hace manualmente y el riego se realiza por surcos. Aproximadamente 12 meses después se procede a cosechar, actividad que se puede llevar a cabo de manera mecánica, alcanzando rendimientos entre 20 y 30 toneladas por hora (Madrinán, 2002), o manualmente a través del corte de la caña; éste puede hacerse en verde o quemando la caña.

Al quemar la caña de azúcar, un cortero<sup>3</sup> corta entre dos y tres toneladas diarias (Madrinán, 2002), mientras que si se quema la caña, se alcanza un rendimiento de entre cinco y seis toneladas diarias por cortero. Por consiguiente, quemar la caña de azúcar antes de la cosecha facilita la tarea de cortar generando un aumento del 100% en la productividad de los corteros. Éste es uno de los principales motivos por los cuales dicha actividad se ha popularizado en todos los países productores de caña de azúcar, como Brasil, Australia, Cuba, Estados Unidos y Colombia, entre otros (Asocaña-Cenicaña, 2003).

Para el caso particular de Colombia, el 80% de la caña es cosechada manualmente y entre el 60% y 80% es quemada antes de ser cortada a fin de eliminar parte del follaje y facilitar el proceso de corte (Durán, 1999). Dicha quema agrícola genera aumentos en la productividad, pero libera en la atmósfera monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO), (NO<sub>2</sub>), (NOX), metano (CH<sub>4</sub>), hidrocarburos no metálicos (NMHC) y partículas menores de 10 micras (PM10) (Madrinán, 2002). Estas sustancias alteran el funcionamiento normal del sistema respiratorio (Arbex, 2001), cardiovascular, re-

---

<sup>2</sup> Período en el cual se puede realizar el corte.

<sup>3</sup> Persona que lleva a cabo la tarea de cortar manualmente la caña de azúcar.

productivo y neurológico (Curtis, Rea, Smith-Willis, Fenyves, Pan, 2006). Este trabajo se centra en los efectos nocivos que genera la contaminación en el sistema respiratorio.

## **B. Los efectos**

La exposición a los contaminantes liberados por la quema de la caña de azúcar genera inicialmente irritación en las mucosas respiratorias y nasales, seguida de una hiper-reactividad alérgica ocasionada por la inflamación del sistema mucociliar (Passali, Lauriello, Mezzedimi, Bellussi, 1999). Después, dicha inflamación puede degenerar en afecciones respiratorias altas y bajas, como faringitis, resfriado común, sinusitis, laringitis, otitis media, bronquitis, neumonía, bronconeumonía, asma bronquial y enfermedad pulmonar obstructiva crónica, las cuales se clasifican como IRA (Ostro, Eskeland, Feyzioglu, Sánchez, 1998).

Estas afecciones se presentan con mayor frecuencia en individuos asmáticos (Nikasinovic *et al.*, 2006) y en niños menores de 15 años (Ostro *et al.*, 1998), quienes aún no tienen totalmente desarrollado el sistema respiratorio<sup>4</sup>. Además, afecta con mayor frecuencia a adultos mayores<sup>5</sup> (Samakovlis, Huhtala, Bellander, Svartengren, 2005), quienes se encuentran en situación de vulnerabilidad ya que el sistema inmunológico se deteriora debido al proceso normal de envejecimiento. Dicha situación ha generado interés de diversos estamentos gubernamentales y sociales, los cuales motivados por la problemática, han realizado números esfuerzos por disminuir los efectos de la quema agrícola en las comunidades vecinas.

## **C. Esfuerzos para disminuir el impacto de la quema de caña de azúcar**

La práctica agrícola de la quema de la caña de azúcar se adoptó en Colombia en la mitad de la década de los setenta (Asocaña-Cenicaña, 2003), a fin de facilitar el corte, reducir las plagas, eliminar las malezas,

---

<sup>4</sup> El 80% de los alvéolos se desarrollan entre la fase posnatal hasta la adolescencia (Committee on Environmental Health, 2004).

<sup>5</sup> Individuos con una edad superior a los 60 años.

aumentar la eficiencia del cortero y reducir la cantidad de materia extraña que se incorpore en el procesamiento. Esta práctica trajo consigo el origen de diversas externalidades mencionadas anteriormente. Por tal motivo, la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña), ha tratado de disminuir los efectos nocivos generados a las poblaciones vecinas. Para ello, ha realizado diversas investigaciones, entre las cuales se destaca el estudio de impacto ambiental efectuado por la Universidad de la Salle (1991), el cual estableció la necesidad de instalar una red de estaciones meteorológicas y eliminar las quemas alrededor de las poblaciones y los aeropuertos.

En 1996, Asocaña llevó a cabo la evaluación del programa de quemas de caña en el valle geográfico del río Cauca (como se cita en Asocaña-Cenicaña, 2003), el cual recomendó la instalación de nuevas estaciones meteorológicas y el mejoramiento de las prácticas agrícolas. Ello produjo la instalación de 29 estaciones meteorológicas automáticas, que proporcionan hasta el momento información acerca de los patrones climáticos, permitiendo tomar decisiones acerca de las quemas. Simultáneamente se firmó el Convenio de Producción Limpia (1996) entre el Ministerio del Medio Ambiente, las Corporaciones Autónomas del Valle del Cauca, Risaralda, Caldas, Asocaña, trece ingenios azucareros y la comunidad del municipio de Palmira, a fin de regular la actividad de las quemas y llevar a cabo el cumplimiento de las leyes vigentes.

El gobierno nacional reglamentó paralelamente la protección y control de la calidad del aire mediante el decreto 948 de 1995, el cual declaró prohibidas las quemas rurales abiertas, exceptuando las quemas agrícolas y mineras controladas, quemas que debían ser eliminadas antes del año 2005. Posteriormente, el decreto 4296 de 2004 modifica el artículo 30 del decreto 948 de 1995, autorizando de manera indefinida las quemas agrícolas controladas. Ello significa que se anula el párrafo en el cual las quemas agrícolas serían eliminadas a partir del año 2005, dando vía libre a esta actividad agrícola. En cuanto a los niveles de PM10 máximos permitidos, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial por medio de la resolución 601 de 2006, reduce los límites anuales máximos permitidos a  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nivel que se encuentra por encima del máximo permitido por la EPA ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), es decir, los habitantes de Colombia deben tolerar un nivel de contaminación superior al adecuado para llevar una vida sana (EPA, 1990).

## D. Estudios empíricos

La contaminación ambiental es una problemática mundial. Las investigaciones al respecto se han realizado a lo largo de los cinco continentes, hallando resultados muy similares en todos los casos. Por ejemplo, Pino, Walter, Oyarzun, Villegas y Romieu (2004) establecieron en Chile una relación positiva y fuerte entre los altos niveles de concentración de partículas menores a 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>) y el padecimiento de bronquitis en niños. Mientras que Freidman, Powell, Hutwanger, Graham y Teague (2001) hallaron en Atlanta, Estados Unidos, que una disminución del 28% en la emisión de ozono (O<sub>3</sub>) genera una disminución del 40% de las visitas de los niños al médico por asma, Penard-Morand *et al.* (2005) encontraron en Francia que aumentos en las emisiones de PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> tienen una significativa relación con altas tasas de asma y rinitis en niños.

Por otro lado, en Australia y Nueva Zelanda, Barnett *et al.* (2005) establecieron una fuerte relación entre la exposición a altos niveles de concentración de PM<sub>2,5</sub> y las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, sin establecer ninguna diferencia por grupos de edad, pero manteniendo la relación positiva entre contaminación y enfermedades respiratorias. En este sentido, Samakovlis *et al.* (2005) hallaron que, en Suecia, ligeras variaciones en la concentración de la contaminación generan un aumento en las enfermedades respiratorias. Para Bogotá, Colombia, Lozano (2004) encontró una fuerte y significativa relación entre contaminación ambiental y el número de consultas médicas por IRA.

En el caso específico de la contaminación generada por la quema de la caña de azúcar, Arbex *et al.* (2000) encontraron en Araraquara, Brasil, una significativa y positiva relación entre esta quema agrícola y la cantidad de terapias respiratorias, llegando a la conclusión que esta práctica ocasiona un deterioro en la salud de la población expuesta a la contaminación generada por la quema de la caña de azúcar. Posteriormente, Cançado *et al.* (2006) hallaron en Piracicaba, Brasil, una fuerte relación entre la quema de caña de azúcar y las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, confirmando una vez más el deterioro de la salud que padecen los individuos que habitan en cercanía a cultivos sometidos a esta práctica.

Por último, entre las investigaciones que relacionan contaminación con mortalidad, se destacan en la India, Cropper, Simon, Alberini, Aroa, Sharma (1997), quienes hallaron que los niños y los adultos mayores de 60 años son los dos grupos de la sociedad más afectados por la contaminación, padeciendo enfermedades respiratorias y cardiovasculares que finalmente los lleva a la muerte. Mientras que en Chile, Ostro, Sánchez, Aranda, Eskeland (1996) hallaron una fuerte y consistente asociación entre la exposición al PM10 y la muerte por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Por otro lado, en Colombia, Urdaneta (1999) afirma que existe una relación positiva y altamente significativa entre los niveles de PM10 y la mortalidad por enfermedades respiratorias. Simultáneamente, Lee, Shin, Chung (1999) corroboran este resultado para Corea. Aproximadamente siete años después en China, Wong, Tam, Yu, Wong (2006) establecen una significativa asociación entre la muerte por enfermedades respiratorias y la concentración de SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y PM10.

Una vez expuestos los resultados de algunas investigaciones realizadas en este campo, es conveniente examinar las investigaciones que se han llevado a cabo en el área de estudio de esta investigación (Valle del Cauca). En el caso de la quema de la caña de azúcar, Asocaña en 1996 y 1999 contrató a la Fundación Neumológica Colombiana para realizar una evaluación del humo de la caña de azúcar en el sistema respiratorio. Esta investigación concluyó que no existían diferencias entre las poblaciones expuestas al humo y aquellas que no lo estaban. Por otro lado, Olaya y Ramírez (2003) realizaron un inventario de las fuentes móviles y fijas del municipio de Palmira, para evaluar la calidad del aire, obteniendo una alta correlación entre partículas suspendidas totales (PST) y PM10, resultados que fueron asociados al parque automotor y al sector industrial debido a la falta de datos para el sector agrícola.

El impacto del sector agrícola de Palmira en la contaminación del aire, es aún desconocido, ya que no se cuenta con investigaciones publicadas al respecto. Esta situación limita ampliamente cualquier tipo de estudio, debido a que es la principal actividad del municipio<sup>6</sup>. No se

---

<sup>6</sup> Palmira tiene sembradas 40.000 hectáreas de caña de azúcar, lo cual representa el 97% del área plana del municipio. El 98% de las empresas en Palmira pertenecen a la categoría de

ha establecido, además, ningún tipo de asociación entre enfermedades respiratorias y exposición a las emisiones de la quema de caña de azúcar. Por tal motivo, este trabajo presenta una aproximación del aporte del sector agrícola a la contaminación y el efecto de la contaminación en las enfermedades respiratorias de los habitantes de Palmira.

## II. Marco teórico

Los estudios empleados para establecer la relación entre la contaminación ambiental y la morbilidad o mortalidad por enfermedades respiratorias se dividen en dos grupos dependiendo de la unidad de observación empleada (Pope, Schwartz, 1996; Samet, Johathan, Jaakkola, 1999). Aquellos que utilizan la unidad de observación individual, establecen relaciones entre el estado de salud del individuo y los diferentes niveles de exposición al contaminante en un momento del tiempo, es decir, emplean información de corte transversal. En este grupo se incluyen, además, los estudios de cohorte, que permiten analizar los efectos acumulativos de la exposición a los contaminantes durante el período de estudio, esto es, son útiles para investigar los efectos crónicos generados por la contaminación. Sin embargo, implican un elevado costo ya que se debe establecer un seguimiento individual a la cohorte que se está estudiando. Los estudios de cohorte son similares al análisis de corte transversal, pero incluyen variaciones en la exposición a través del tiempo, es decir, forman paneles de información.

En contraste se encuentran los “estudios ecológicos”, los cuales emplean como unidad de observación el grupo. Dichos estudios examinan la relación entre los contaminantes y la salud, cuando la exposición al aire contaminado se da en comunidad (Arbex, 2001; Lozano, 2004). También son útiles para observar los efectos agudos que genera la contaminación; permite estudiar las variaciones en el número de ocurrencias de un evento (muertes, visitas al médico o a la sala de emergencia) a lo largo del tiempo, como función de variables ambientales (temperatura, humedad relativa, lluvia) y de los diferentes contaminantes (Saldiva, 1998). Este análisis emplea información de

---

pequeña industria con menos 20 empleados. El 2% restante corresponde a dos ingenios azucareros, dos químicas, dos termoeléctricas, siete empresas de muebles y una de alimentos (Olaya y Ramírez, 2003).

series de tiempo, la cual puede estar en diferentes frecuencias (días, meses, años) dependiendo de la disponibilidad de la información y del interés del investigador.

La información acerca de los contaminantes, se puede capturar a través de instrumentos directos, como los sistemas de monitoreo individuales, que capturan la información tanto de niveles del contaminante como del tiempo al cual está expuesto el individuo a la contaminación; a esto se le llama “exposición”. Por otro lado, se encuentran los instrumentos indirectos, como los sistemas de monitoreo de la calidad ambiental ubicados a lo largo de las ciudades; éstos capturan la información acerca de la concentración del contaminante en el tiempo; a esto se le llama “concentración”. Emplear la información proveniente de instrumentos indirectos implica generalmente una disminución en los costos de la investigación, ya que las estaciones de monitoreo se encuentran previamente instaladas, pero obliga a suponer que todos los individuos estuvieron expuestos por igual a una determinada concentración de contaminante, lo cual puede ser un supuesto importante. Un estudio ideal consistiría en emplear instrumentos directos, pero éstos son costosos y difíciles de transportar.

Una vez establecido el tipo de información que se va a utilizar y, por ende, el estudio a desarrollar, se procede a establecer la relación entre la contaminación ambiental y la morbilidad o mortalidad. Ésta se puede llevar a cabo a través de funciones dosis-respuesta o concentración-respuesta dependiendo de la información con que se cuente, es decir, si se dispone de información acerca de la exposición al contaminante se debe emplear una función dosis-respuesta, mientras que si se dispone de información acerca de la concentración del contaminante se elige una función concentración-respuesta (EPA, 1999). En otras palabras, el tipo de información determinará la metodología a emplear (individual o ecológico) y la función a estimar (dosis-respuesta o concentración-respuesta). En este caso se desarrolla un estudio ecológico y se estima una función concentración-respuesta.

### **A. Función concentración-respuesta**

Este estudio estima una función concentración-respuesta que relaciona la concentración de PM10 con la incidencia de IRA. Para traducir los

cambios en la concentración de un contaminante a efectos en la salud, se emplean las funciones concentración-respuesta, donde el análisis se basa en la estimación de la derivada parcial, respecto a la variable relacionada con la contaminación. Este tipo de funciones se pueden expresar con diversas formas funcionales dependiendo de la necesidad de la investigación, el tipo de información empleada o la facilidad para interpretar los resultados. La ecuación (1) describe la forma funcional empleada en esta investigación.

$$Mor = \beta_0 + \beta_1 Cont + \beta_2 Met + e \quad (1)$$

Donde  $Mor$  representa el número de consultas diarias por IRA,  $Cont$  es la concentración máxima diaria de PM10,  $Met$  es una variable ambiental y  $e$  es un término de error estocástico. Al derivar parcialmente respecto a la variable que representa la concentración del contaminante, se obtiene la ecuación (2), la cual es un efecto marginal que refleja cómo cambia el número de consultas diarias por IRA, cuando se presentan variaciones en la concentración máxima diaria de PM10.

$$\frac{\partial Mor}{\partial Cont} = \beta_1 \quad (2)$$

Para estimar los efectos en la salud (morbilidad) que pueden ser atribuidos a la contaminación ambiental, se deben incluir en el análisis algunas variables de control, como temperatura, humedad relativa, lluvia, entre otros, dependiendo de la disponibilidad de la información. De no ser así, se estaría incurriendo en un sesgo de especificación por variables omitidas, lo cual invalidaría los resultados.

## B. Modelo Poisson

El número de consultas diarias por IRA es una variable de conteo, con una distribución diferente a una normal. Por tal razón, se emplea una distribución probabilística alternativa tipo Poisson para llevar a cabo la estimación. Dicha distribución supone que la variable dependiente toma valores independientes entre sí, determinados por parámetros que dependen de variables exógenas. Por tanto, sea  $Y_i$  una variable de conteo discreta que representa el número de observaciones que toma la variable en  $N$  (siendo  $N$  el conjunto de todos los valores posibles que puede tomar  $Y_i$ ) donde  $i = 1, \dots, n$ , con parámetros  $\lambda_i$

los cuales dependen de los valores asumidos por la variable exógena  $K: X_i = (x_{i1}, \dots, x_{ki})$  se tiene que:

$$\lambda_i = \exp(X_i b) \quad (3)$$

Donde  $b_k$  son parámetros y la media y la varianza de  $Y_i$  son iguales a  $\lambda_i$  con la siguiente distribución de probabilidad asociada:

$$f(y_i) = \frac{\exp(-\lambda_i) \lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (4)$$

Entonces:

$$E(y_i) = \text{var}(y_i) = \lambda_i$$

$$E(y_i) = \exp(X_i b)$$

$$\frac{\partial E(y_i)}{\partial X_i} = b \exp(X_i b)$$

$$\frac{\partial E(y_i)}{\partial X_i} = b \lambda_i \quad (5)$$

Donde (5) representa los efectos marginales (Gourieroux, 2000).

### III. Metodología

Esta investigación estima una aproximación a la proporción de PM10 emitido por cada una de las fuentes, utilizando el procedimiento expuesto por Madriñán (2002) y las estimaciones de Olaya y Ramírez (2003). Posteriormente, plantea una relación entre las emisiones de PM10 y las tres fuentes a través de una función lineal, la cual se construye con información acerca de la concentración máxima diaria de PM10 en el municipio de Palmira, el número de hectáreas quemadas diariamente, el consumo de energía eléctrica industrial y el número de galones de gasolina extra y corriente vendidos en este mismo municipio. Por último, se basa en un estudio ecológico, que relaciona series de tiempo diarias de contaminación del aire, con admisiones hospitalarias diarias en el municipio de Palmira, estimando una función concentración-respuesta a través de un modelo Poisson.

## A. Información utilizada

Los datos usados en este estudio se dividen en tres categorías: los datos ambientales, las fuentes de emisión y la información de morbilidad.

Los datos ambientales fueron suministrados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). Éstos incluyen información de una estación de monitoreo de aire, la cual mide dirección y velocidad del viento, calidad del aire, humedad relativa y temperatura. La información fue suministrada por horas diarias para el año 2004. Sin embargo, no se cuenta con los 365 días, ya que la estación de monitoreo presentó fallas en más de 190 días y pequeños espacios en el resto de tiempo. Por consiguiente, sólo se empleó la parte continua de la información que se limita a 119 días, entre el 2 de febrero y el 6 de junio y un solo contaminante (PM10).

Las emisiones provienen de los tres tipos de fuentes; en el caso de la fuente de área, la quema de la caña de azúcar es programada mensualmente por cada uno de los ingenios azucareros. Esta programación es enviada a Asocaña; ésta agrega la información y la envía a la CVC. Sin embargo, la información acerca del número de hectáreas quemadas programadas diariamente y los incendios accidentales diarios, no fue suministrada directamente por Asocaña. Por tanto, se emplearon los informes entregados por Asocaña a la CVC. Dichos informes incluyen datos acerca del ingenio azucarero que llevó a cabo la cosecha, el nombre de la hacienda, el área cosechada, el método usado para cosechar (en verde, quema o incendio), la duración de la quema y la edad de la plantación.

En cuanto a las fuentes fijas, se empleó el consumo de energía eléctrica industrial como variable *proxy* que captura la actividad industrial en este municipio; esta información fue suministrada en agregados mensuales por la Empresa de Energía del Pacífico (EPSA, S. A). Por otro lado, para capturar las emisiones del parque automotor, se empleó el recaudo por sobretasa a la gasolina en Palmira; dicha información fue suministrada como un agregado mensual por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Este recaudo monetario se convirtió en galones de combustible vendidos, empleando los precios bases suministrados por la Unidad de Planeación Minera y Energética (UPME).

Estas variables mensuales fueron incluidas en el análisis como efectos fijos mensuales.

La información de morbilidad empleada en esta investigación, consiste en las consultas diarias por IRA en 2004. Esta información fue suministrada por el Hospital San Vicente de Paúl de Palmira (HSVPP), el cual era para el año 2004 el único hospital público del municipio y se estimaba que atendía cerca del ochenta por ciento de la población. La base de datos original (egresos hospitalarios diarios) contiene información de cada paciente, como diagnóstico médico, edad, género y lugar de procedencia, distinguiendo entre área rural o urbana, además de los días de permanencia en el centro hospitalario. A fin de acceder a la información, se estableció un convenio entre el HSVPP y esta investigación, donde dicha entidad suministró la información física y esta investigación procesó y digitalizó todos los egresos hospitalarios diarios para el año 2004, entregando copia digital de la información a dicha entidad.

## B. El modelo

A fin de establecer la relación entre la concentración máxima diaria de PM10 y las tres fuentes de emisión existentes en el municipio de Palmira, se construye una función lineal que incluye como variable dependiente el PM10 máximo diario y como variables independientes el número de hectáreas de caña quemadas en el municipio de Palmira (AP), el consumo de energía eléctrica industrial en kilovatios hora (CEEI), la venta de galones de gasolina corriente y extra en Palmira (GG), la humedad relativa diaria promedio en porcentaje (hr), la temperatura diaria promedio en grados centígrados (t) y, por último, la velocidad del viento diaria promedio en metros por segundo (vv). Debido a que entre la humedad relativa, la temperatura y el viento se encontró una fuerte colinealidad, se plantean tres ecuaciones diferentes para evitar problemas en la estimación.

$$PM10 = \beta_0 + \beta_1 AP + \beta_2 CEEI + \beta_3 GG + \beta_4 hr + e \quad (6)$$

$$PM10 = \beta_0 + \beta_1 AP + \beta_2 CEEI + \beta_3 GG + \beta_4 t + e \quad (7)$$

$$PM10 = \beta_0 + \beta_1 AP + \beta_2 CEEI + \beta_3 GG + \beta_4 vv + e \quad (8)$$

Las ecuaciones (6), (7) y (8) plantean la relación entre la concentración máxima diaria de PM10 y las tres fuentes de contaminación atmosférica en el municipio de Palmira. Se espera que exista una relación positiva entre el PM10 y el área de caña quemada, así como con el número de galones de gasolina vendida. En cuanto al consumo de energía eléctrica industrial, no es posible establecer *a priori* la relación entre el contaminante y el consumo de energía eléctrica industrial, ya que si la energía eléctrica es sustituta de otra fuente de energía más contaminante se esperaría una relación inversa, mientras que si el consumo de energía eléctrica industrial refleja netamente la actividad industrial, entonces dicha relación sería positiva, ya que a mayor actividad, más emisiones. En cuanto a las variables ambientales, se esperaría que tanto la humedad relativa como el viento presenten una relación inversa con la contaminación, ya que a medida que el aire es más húmedo es factible que las partículas respirables disminuyan. En el caso del viento, éste limpia la contaminación, por tanto, se creería que un aumento en la velocidad permitiría mejorar la calidad del aire que se respira.

A fin de medir el impacto de la concentración del contaminante en la morbilidad por IRA, se emplea una función concentración-respuesta que relaciona la concentración máxima diaria de PM10 y el número de admisiones hospitalarias diarias por IRA (NADIRA). Las diferencias geográficas e individuales no son tomadas en cuenta debido a las limitaciones de los datos. Se asume que NADIRA es función de la concentración máxima diaria de PM10 en el municipio de Palmira con un rezago de hasta cinco días (PM102, PM103, PM105), ya que la exposición a este contaminante no implica una afección respiratoria inmediata. El ciclo promedio de desarrollo de una IRA alcanza hasta cinco días después de la exposición (Committee on Environmental Health, 2004). Se incluye, además, la temperatura mínima diaria (Tmin) para controlar mediante variables meteorológicas.

$$NADIRA = \beta_0 + \beta_1 PM102 + \beta_2 PM103 + \beta_3 PM105 + \beta_4 T_{min} + e \quad (9)$$

La ecuación (9) establece una relación entre el número de admisiones hospitalarias diarias por IRA y PM10. Se espera que el contaminante

tenga una relación positiva con el número de consultas médicas por IRA. En el caso de las variables ambientales, no es claro de antemano qué signo esperar, ya que a mayor temperatura se genera una mayor descomposición de los contaminantes, por tanto, habría un mayor efecto de éstos en la salud; pero a menor temperatura usualmente los resfriados aumentan.

Para llevar a cabo la estimación de la función concentración-respuesta, se emplea un modelo Poisson, ya que la variable dependiente es un variable de conteo. La información utilizada en la estimación obedece a series de tiempo, capturando los efectos del contaminante a través del tiempo, pero omitiendo características inherentes al individuo, ya que éstas se mantienen constantes. Uno de los principales problemas de las series de tiempo consiste en la estacionariedad de la misma, es decir, establecer que la relación entre una serie y otra no es espuria. En este caso, se determinó mediante pruebas de raíz unitaria que las series de datos empleadas son estacionarias y sin problemas de autocorrelación (véase anexo 3).

## **IV. Resultados**

### **A. Estadísticas descriptivas**

En el cuadro 1 se encuentran las estadísticas básicas para todas las variables empleadas en las estimaciones econométricas. Se observa que en promedio en el HSVPP se atienden a diario dos pacientes por IRA; sin embargo, la frecuencia relativa de ausencia de pacientes es baja; no se registraron pacientes en nueve de los 119 días analizados. Ello refleja el constante flujo de enfermos por causas respiratorias. La mayoría de la población que consulta proviene de la zona urbana alcanzando 97% del total de las consultas, es decir, la problemática de la contaminación del aire por PM10 está situada en la cabecera municipal, no en la zona rural donde se originan gran parte de las emisiones. Esto podría deberse a que las emisiones no son estáticas, es decir, ellas fluyen dependiendo de la velocidad del viento y llegan hasta la cabecera municipal donde se concentra la mayor parte de la población.

**Cuadro 1. Estadísticas descriptivas de las variables.**

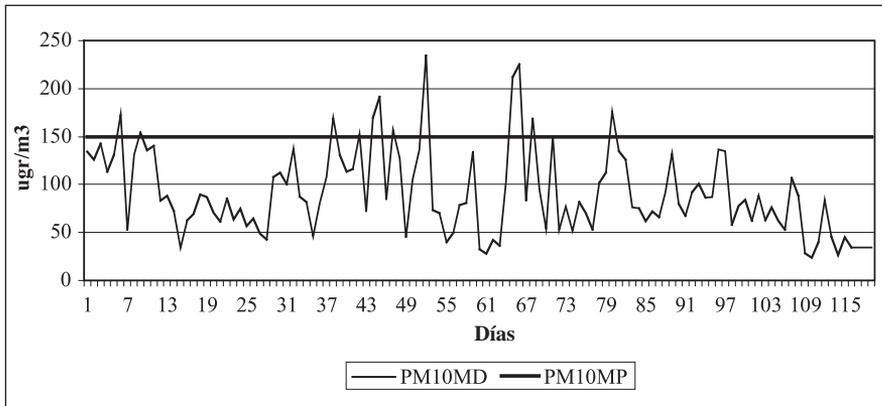
Definición de la variable	Media diaria	Desviación estándar	Mínimo diario	Máximo diario
Pacientes IRA	2,16	1,37	0	6
Hectáreas de caña quemada	54,55	26,28	5,25	133,37
Consumo energía eléctrica industrial KWH	5098504	222200,1	4759230	5344906
Galones de gasolina vendidos	960191,9	42587,63	8933141	1006354
PM10 máximo diario ug/m3	91,25	44,44	23,69	235,62
Humedad relativa	67	6,55	51,34	83,72
Temperatura C°	24,58	1,32	21,3	27,76
Temperatura mínima C°	21,25	1,07	18,91	24,09
Temperatura máxima C°	29,49	2,3	22,83	33,51
Variaciones en temperatura	2,73	0,71	0,79	4,23
Velocidad del viento metros por segundo	1,34	0,25	0,83	2,06

*Fuente:* Cálculos del autor con base en información suministrada por el HSVPP, la CVC, la EPSA, el UPME y el Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

El consumo de energía eléctrica industrial y los galones de gasolina extra y corriente vendidos en Palmira presentan una baja dispersión; esto significa que las cantidades consumidas y vendidas de estas dos variables son muy similares en los períodos analizados. El promedio diario de caña de azúcar quemada es de 55 hectáreas, alcanzando en algunas ocasiones 133 hectáreas diarias, pero con una dispersión considerable y son, precisamente, los picos de quemas que inducen la exacerbación de los síntomas respiratorios; ello significa que el metabolismo humano tiene un rango de tolerancia ante la contaminación, pero cuando es expuesto a altas concentraciones, la tolerancia disminuye y se presenta la irritación en las mucosas oculares y nasales, la rinitis alérgica y el asma, entre otros. En este caso, la concentración de PM10 máximo diario sobrepasó el máximo diario permitido por la EPA ( $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en diez ocasiones a lo largo de 119 días, alcanzando niveles de  $235,62\mu\text{g}/\text{m}^3$  (véase gráfico 1).

La exposición a estas altas concentraciones de contaminación atenta contra un adecuado estado de salud de los individuos que inhalan este tipo de aire contaminado, generando diversas enfermedades respiratorias, cardiovasculares, reproductivas y neurológicas. Según la EPA, es apenas aceptable exceder este límite en una ocasión por año (EPA, 1990), pues los efectos podrían ser un aumento en la morbilidad y la mortalidad por causas relacionadas a la contaminación.

Gráfico 1. PM10 máximo diario emitido y PM10 máximo diario permitido.



Fuente: Elaborado por el autor con base en información suministrada por la CVC.

En cuanto a las variables ambientales se incluye temperatura promedio diaria, mínima diaria, máxima diaria y variaciones en la temperatura, dentro de las variables a analizar, ya que en algunas ocasiones la IRA se puede presentar por grandes y súbitas variaciones en la temperatura. En este caso se observa que la dispersión es baja, con una temperatura promedio diaria de 24 °C. No existen entonces grandes cambios en la temperatura que puedan inducir la propagación de resfriados y otro tipo de afecciones respiratorias, por tanto, es posible que ésta no sea una de las principales causas de morbilidad. En cuanto a la velocidad del viento, la dispersión es baja, reflejando una velocidad diaria constante, la cual no necesariamente generaría una limpieza en la concentración de PM10 en el aire.

## B. El PM10 y la caña de azúcar

El PM10 en el municipio de Palmira proviene de los tres tipos de fuentes existentes (fijas, móviles y de área). Sin embargo, se desconoce la proporción del aporte que hace cada una de ellas. A fin de hallar la proporción de emisión proveniente de la quema de la caña de azúcar, se emplea el factor de emisión definido por Echavarría (1990), como se cita en Madriñán (2002), el cual establece que una hectárea de caña quemada emite 75,9 kilogramos día de PM10, esto bajo los siguientes

supuestos: i) Diez hectáreas por suerte<sup>7</sup> y ii) Duración de la quema de 10 a 60 minutos. Empleando este factor para el número de hectáreas quemadas entre el 2 de febrero y el 6 de junio, se halla que las emisiones de PM10 provenientes de la quema de caña de azúcar ascienden durante este período a un total de 493 toneladas.

Por otro lado, se estima la proporción de PM10 emitido por el parque automotor y las industrias, tomando como base los resultados del estudio realizado por Olaya y Ramírez (2003), el cual llevó a cabo un inventario de fuentes fijas y móviles en el municipio de Palmira, obteniendo como resultado una emisión de 2,58 y 2,61 toneladas diarias de PM10, respectivamente. Si dichas estimaciones no varían drásticamente de un año a otro debido a que el sector industrial y el combustible empleado no cambia en tan poco tiempo, se emplean estas mismas cifras para hallar una aproximación a la proporción de emisiones en el municipio. La mayor cantidad de PM10 emitido en el municipio de Palmira procede, por tanto, de la quema de la caña de azúcar, aportando durante estos 119 días cerca de la mitad del total de PM10 diario, mientras que el sector industrial aporta en promedio 24% y las fuentes móviles cerca del 26% (véase anexo 2).

Este tipo de cálculos parten de supuestos muy fuertes, ya que no diferencian entre días hábiles y feriados, suponiendo que tanto industrias como conductores realizan la misma actividad todos los días, generando una sobreestimación en las emisiones. Sin embargo, es una aproximación válida dada la falta de medición exacta de las emisiones generadas por las diferentes fuentes.

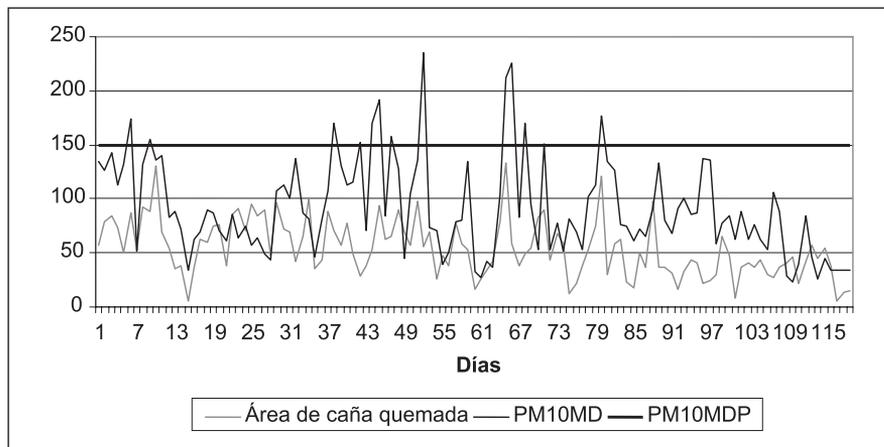
Más aún, al sobreponer las series de tiempo del contaminante y las hectáreas de caña quemadas (véase gráfico 2), se ilustra una similitud entre las dos series, lo cual podría estar describiendo una relación entre una variable y la otra. Sin embargo, este tipo de estimaciones matemáticas e ilustraciones gráficas, no son muy rigurosas, por tanto se procede a estimar mediante un modelo econométrico la existencia de dicha relación.

---

<sup>7</sup> Área de terreno del orden de 20 hectáreas, que se siembra y se recoge al mismo tiempo.

Una vez estimadas las funciones (6), (7) y (8), se corrobora la relación observada en el gráfico anterior. Pero ahora se tiene un coeficiente con el cual se puede afirmar que un aumento en una hectárea de caña quemada, genera un incremento de 0,64 microgramos por metro cúbico de PM10 máximo diario ( véase cuadro 2). En otras palabras, si se incrementa la quema de caña en 10%, la concentración máxima diaria de PM10 aumenta en 4%. Nótese que las variables que capturan las emisiones de las otras dos fuentes no resultan significativas. Mientras que las hectáreas de caña quemadas reflejan una relación positiva y estadísticamente significativa entre la quema de la caña de azúcar y las emisiones de PM10. No obstante, aún se requieren mediciones más exactas de las otras fuentes para establecer con precisión su contribución a la contaminación.

Gráfico 2. Área de caña quemada y PM10 máximo diario.



Fuente: Elaborado por el autor con base en información suministrada por la CVC.

Por último, un aumento de la humedad relativa genera una disminución de la concentración de PM10, mientras que un aumento en la temperatura produce un incremento en la concentración de este contaminante, es decir, las diferentes variables ambientales influyen en la concentración de PM10 en la atmósfera, tal y como se intuía inicialmente, sin embargo para el caso de la velocidad del viento, este no resultó significativo.

**Cuadro 2. Resultados econométricos**

PM10 máximo diario	Estimación 1	t	Estimación 2	t	Estimación 3	t
Área de caña quemada en Palmira	0,6405242***	3,67	0,6310349***	3,67	0,6934185***	4,63
Consumo de energía eléctrica industrial	-1,82E-5	-0,55	-6,75E-5	-0,69	-3,25E-6	-3,00E-2
Galones de gasolina vendidos	-5,38E-5	-1	-1,06E-5	-0,58	-0,000	-0,5
Humedad relativa	-1,812753***	-2,66				
Temperatura			8,78795***	2,81		
Velocidad del viento					29,996	1,55
Constante	322,2841**	2,09	-40,062	-0,21	68,055	0,39
Número de observaciones	119		119		119	
F-Statistic Test	15		14,38		9,46	
R2	0,252		0,253		0,217	

Fuente: Elaborado por el autor con base en los resultados de las estimaciones econométricas.

\*\*\*Significancia al 1%. \*\*Significancia al 5%.

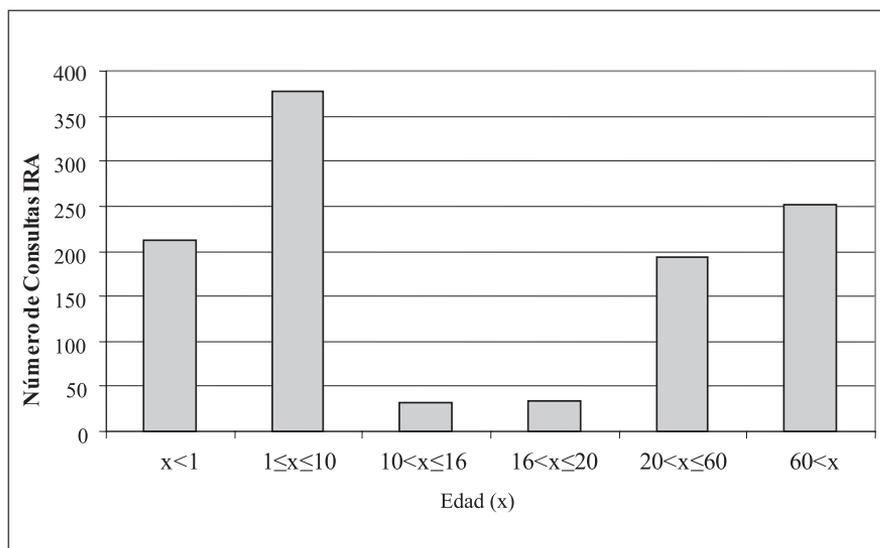
### C. Los pacientes y el PM10

En el diagnóstico por IRA se incluyen tanto las afecciones respiratorias altas como las bajas (Ostro *et al.*, 1998). Todas estas enfermedades respiratorias presentan procesos inflamatorios que se desarrollan entre dos y cinco días después de la exposición al virus o a la contaminación y generalmente tienen una duración máxima de diez días (Committee on Environmental Health, 2004). En el municipio de Palmira, el 23% del total de las consultas médicas atendidas en el HSVPP fueron diagnosticadas como IRA, pues los niños y niñas menores de diez años y los adultos mayores de sesenta años fueron los dos grupos de la población que más consultaron (véase gráfico 3), alcanzando el 77% del total de las consultas por IRA en 2004. Estos dos grupos de edad son, justamente, los que la literatura sugiere como la población más vulnerable, ya que los niños aún están en desarrollo y los ancianos entran en una inevitable inmunosupresión.

Al realizar el análisis por género, se encuentra que 52% de los individuos que consultan por IRA son hombres que provienen de la zona urbana. Los meses con mayor afluencia de pacientes son enero, julio, octubre, noviembre y diciembre (véase anexo 2), mientras que los

meses con mayor número de hectáreas de caña quemadas son enero, febrero, marzo, julio y agosto (véase anexo 2). Sólo existe coincidencia en dos de los períodos. Sin embargo, al sobreponer las series de tiempo del contaminante emitido por la quema de la caña de azúcar (PM10), junto con el número de pacientes que consultaron por IRA durante los 119 días a tratar, se observa gran similitud entre las dos series, aunque los pacientes presentan rezago frente a los picos del contaminante (véase gráfico 4); dejando ver que las consultas no se efectúan el mismo día que se presenta la exposición al contaminante, sino algunos días después, tal como lo describe Committee on Environmental Health (2004).

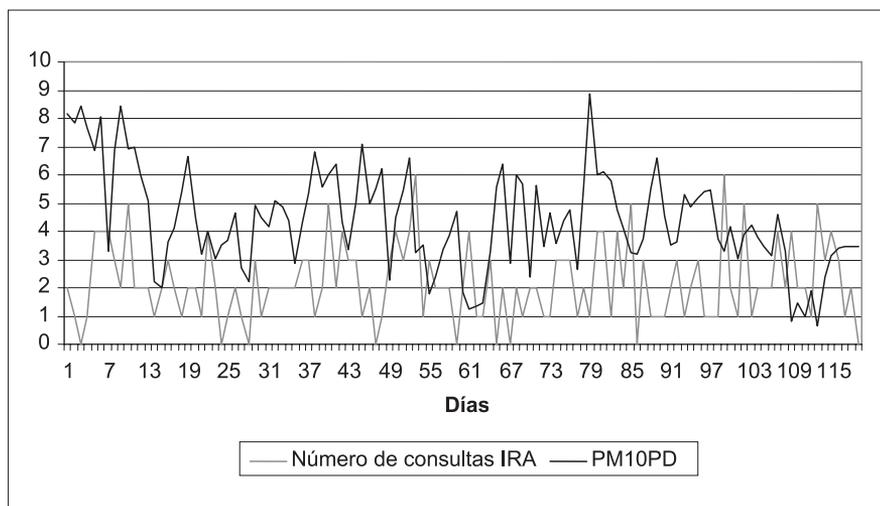
Gráfico 3. Consultas IRA por grupos de edad, 2004.



Fuente: Elaborado por el autor con base en información suministrada por el HSVP.

La gran similitud de las dos series podría estar mostrando una relación de causalidad entre una variable y la otra; no obstante esta ilustración gráfica, no es suficiente, por lo cual se lleva a cabo la estimación econométrica de la función concentración-respuesta, arrojando como resultado una relación positiva y estadísticamente significativa (véase cuadro 3), entre la concentración máxima diaria de PM10 y el número de consultas por IRA, con hasta cinco días de rezago tal y como lo emplean Ostro *et al.* (1998) y Torres (2002).

Gráfico 4. Número de consultas IRA y PM10 promedio diario.



Fuente: Elaborado por el autor con base en información suministrada por la CVC y el HSVPP.

Cuadro 3. Resultados econométricos de la función concentración-respuesta.

Consultas IRA	Coefficiente	Z
PM10 rezagado 2 períodos	0,002	0,54
PM10 rezagado 3 períodos	0,001	0,38
PM10 rezagado 5 períodos	0,0060556***	2,55
Temperatura mínima	0,2205753**	2,01
Constante	-1,789636*	-1,65
Número de observaciones	114	
Chi2-Statistic Test	12,51	

Fuente: Elaborado por el autor con base en los resultados de las estimaciones econométricas.

\*\*\* Significancia al 1%. \*\*Significancia al 5%. Significancia al 10%.

Por tanto al analizar los resultados como una elasticidad, podríamos afirmar que un aumento del 1% en la concentración del PM10 máximo diario cinco días atrás, generaría hoy un aumento del 0,25% en el número de consultas por IRA. En cuanto a la temperatura mínima diaria, se obtiene una relación positiva y significativa. Además, las variaciones en la temperatura no resultaron ser un factor determinante en el aumento de la morbilidad por IRA, ya que al incluirlas en la estimación se obtuvo un coeficiente no significativo.

Al discriminar los pacientes que consultaron en tres grandes grupos de edad: i) Niños menores o iguales a diez años, ii) Jóvenes y adultos menores de sesenta años y iii) Adultos mayores de sesenta años, se encontró que el primer grupo es afectado por la concentración de PM10 de la siguiente forma: un incremento en 1% en la concentración de PM10 máximo diario dos días atrás, generaría hoy un aumento de 0,17% en el número de consultas por IRA y al tratarse de cinco días atrás, el incremento se traduce en 0,11%. En cuanto al segundo grupo, la concentración del PM10 no explica las variaciones en el número de consultas. Por último, los adultos mayores se ven afectados por incrementos en la concentración de PM10 e incrementos en la temperatura (véase cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados econométricos de la función concentración-respuesta.

Consultas IRA Edad (x)	Estimación 1 (x ≤ 10)	Z	Estimación 2 (10 < x ≤ 60)	Z	Estimación 3 (x < 60)	Z
PM10 rezagado 2 períodos	0,0041352**	2.04	-0,0032419	-2.1	0,0001489	0,12
PM10 rezagado 3 períodos	-0,0012566	-0.62	-0,0002642	-0.18	0,0022979**	2,09
PM10 rezagado 5 períodos	0,0026775*	1.76	0,0018338	1.52	0,0013706	1,16
Temperatura mínima	0,0819716	1.07	0,0294015	0.5	0,1075978**	2,19
Constante	-1,910907	-1.29	-1,430083	-0.63	-6,704717***	-2,50
Número de observaciones	114		114		114	
Chi2-Statistic Test	0.0746		0.1979		0.0139	

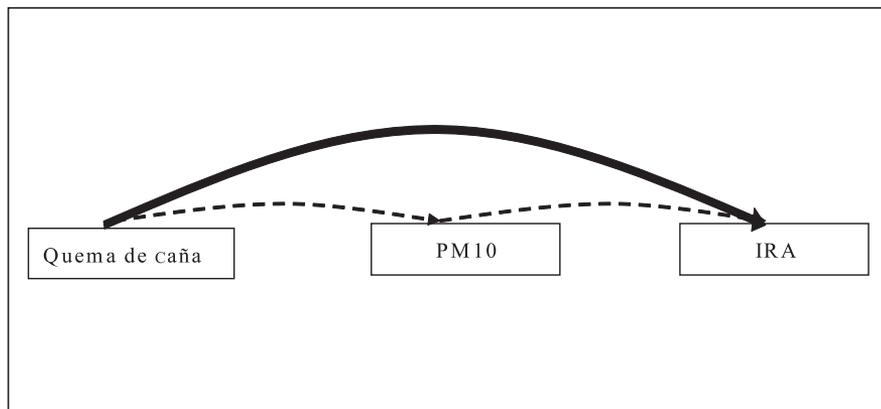
Fuente: Elaborado por el autor con base en los resultados de las estimaciones econométricas.  
\*\*\*Significancia al 1%. \*\*Significancia al 5%. \*Significancia al 10%.

De este modo se llega a resultados similares a los hallados por Ostro *et al.* (1998), quienes establecieron que los principales afectados por la contaminación son los niños; además, los resultados hallados coinciden con las afirmaciones de Samakovlis *et al.* (2005), quienes sostienen que los adultos mayores son el grupo de la población más afectado por la contaminación, debido al deterioro del sistema inmunológico. Al comparar la magnitud de los coeficientes hallados se concluye que éstos son altos, ya que Ostro *et al.* (1998) obtienen valores para el cuarto rezago entre 0,15 y 0,20 dependiendo del grupo de edad. Mientras que en los análisis que no se emplean variables rezagadas como el de Lozano (2004), se encuentra un coeficiente de 0,08 y en otros casos como el de Ostro *et al.* (1998) varía entre 0,049 y 0,066.

## D. La caña de azúcar y los pacientes

A lo largo de la investigación se presentaron dos relaciones de manera aislada; primero la relación de causalidad entre la quema de la caña de azúcar y la concentración de PM10 en la atmósfera y, posteriormente, la relación entre el PM10 y las IRA. Estos dos análisis a pesar de ser realizados separadamente, reflejan de modo indirecto una relación entre la quema de la caña de azúcar y las IRA, ya que la fuente de la contaminación es en última instancia la causante de las enfermedades (véase figura 1).

Figura 1. Relaciones de causalidad.



Fuente: Elaborado por el autor con base en los resultados y análisis expuestos a lo largo del artículo.

Empleando los coeficientes hallados en las secciones anteriores, se estima una aproximación a la magnitud del impacto generado por un aumento en el área de caña de azúcar quemada, pues que si se duplica el número de hectáreas de caña quemada, se incrementa en 10% el número de consultas por IRA. Ello indica que la quema de la caña de azúcar no sólo genera un aumento en la productividad de los corteros, sino también una externalidad negativa sobre la población de Palmira, incrementando las visitas que éstos hacen al médico. Dicho de otro modo, el aumento en la productividad derivada de esta quema agrícola, está siendo asumido por la población del municipio de Palmira. Esta franja de la población está padeciendo, a través de sus problemas de salud, las debilidades de las leyes ambientales colombianas, las cuales en este caso no están protegiendo a aquellos que lo requieren.

## V. Conclusiones y recomendaciones

La población de Palmira se está viendo afectada por la contaminación del aire. Ello se refleja en las numerosas consultas médicas efectuadas por IRA y los resultados empíricos de la investigación que corroboran una relación positiva y significativa entre el PM10 y la morbilidad por esta misma causa. Los grupos de la población más afectados son los niños y los adultos mayores de sesenta años. En otras palabras, los niños y niñas de Palmira se enferman de IRA debido a la quema de la caña de azúcar.

Así mismo, la principal fuente de contaminación atmosférica es la quema de la caña de azúcar, que emite el 50% del total de la contaminación por PM10; relación que se corrobora a través de la estimación de la función lineal, hallando una estrecha relación entre la quema de la caña de azúcar y la concentración de PM10 en la atmósfera. De modo indirecto, la quema de la caña de azúcar está causando un efecto nocivo en la población, pues la quema de la caña genera PM10 y éste genera IRA.

Paralelamente, los límites diarios máximos permitidos por la EPA son sobrepasados en diez ocasiones en tan sólo 119 días, sin importar que este límite sólo se puede rebasar una vez al año a fin de garantizar la adecuada calidad del aire. Esta situación indica que la autoridad ambiental no está ejerciendo de manera adecuada su gestión, ni considera esta situación como un problema.

La sociedad en su conjunto está asumiendo un alto costo por la externalidad generada por las diferentes fuentes de contaminación, es decir, los costos de la contaminación se socializan, mientras que los beneficios derivados del proceso productivo son capturados de manera privada. Uno de los mecanismos eficaces para redistribuir esta situación serían los impuestos a través de tasas retributivas que se apliquen a las emisiones industriales, agrícolas y vehiculares.

Sería conveniente revisar la regulación acerca de las quemas agrícolas, ya que esta investigación se limitó a la quema antes de la cosecha; pero el efecto es aun mayor, pues existe una quema poscosecha, la cual, según Madriñán (2002), emite 20 toneladas de PM10 diarias adicionales.

les. La autorización indiscriminada de esta práctica está induciendo al traslado de un alto costo a los habitantes de los municipios vecinos.

## Referencias

ARBEX, M. (2001). “Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Ararquara-SP”. Tese de doutorado em medicina, Universidade de São Paulo.

ARBEX, M. A.; BOHM, G. M.; SALDIVA, P. H. N.; CONCEIÇÃO, G. M. S.; POPE, A. C. III, and BRAGA, A. L. (2000). “Assessment of the effects of sugar cane plantation burning on daily counts of inhalation therapy”, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50:1745-49.

ASOCAÑA-CENICAÑA (2003). Evaluación y propuesta para regular las quemadas controladas de caña de azúcar. Informe entregado al Ministerio del Medio Ambiente.

BARNETT, A. G.; WILLIAMS, G. M.; SCHWARTZ, J.; NELLER, A. H.; BEST, T. L., and PETROESCHEVSKY, A. L. (2005). “Air pollution and child respiratory health: a case-crossover study in Australia and New Zealand”, *American Journal Of Respiratory And Critical Care Medicine*, 171:1272-8.

CANÇADO, J.; SALDIVA, P.; PEREIRA, L.; LARA, L.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.; ARBEX, M.; ZANOBETTI, A. and BRAGA, A. (2006). “The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly”, *Environmental Health Perspectives*, 114(5):725-9.

CENICAÑA (2006). Recuperado el 15 de septiembre de 2006, de <http://www.asocana.com.co/ImageView.aspx?url=~/publico/ingenios/media/mapa.jpg>

CEPAL (2002). “El conglomerado del azúcar del Valle del Cauca, Colombia”, Unidad de Desarrollo Industrial y Tecnológico, *Serie Desarrollo Productivo*, (134), 52.

- COMMITTEE ON ENVIRONMENTAL HEALTHN (2004). "Ambient air pollution: Health hazards to children", *American Academy of Pediatrics*, 114(6):1699-707.
- Convenio de Concertación para la Producción más Limpia (1996).
- CROPPER, M.; SIMON, N.; ALBERINI, A.; AROA, S., and SHAMA, P. (1997). "The health benefits of air pollution control in Delhi", *American Agricultural Economics Journal*, 79(5): 1625-9.
- CURTIS, L.; REA, W.; SMITH-WILLIS, P.; FENYVES, E., and PAN, Y. (2006). "Adverse health effects of outdoor air pollutants". Environmental International.
- DURÁN, E. (1999). "Estudio de caso sobre el manejo convencional y agro ecológico del cultivo de la caña de azúcar en el Valle del Cauca, Reserva Natural El Hático".
- EPA (1990). National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Recuperado el 11 de noviembre de 2005, de <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
- EPA (1999). Determining the Adequacy of Existing Data. Recuperado el 21 de junio de 2006, de <http://www.epa.gov/hpv/pubs/general/datadfin.htm>
- FREEMAN, A. (2003). The measurement of environmental and resource values: Theory and methods, second edition, Resources for the Future, Washintong, D. C.
- FREIDMAN, M. S.; POWELL, K. E.; HUTWANGER, L.; GRAHAM, L. M., and TEAGUE, W. G. (2001). "Impact of changes in transportation and commuting during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma", *The Journal of the American Medical Association*, 285(7):897-905.
- FUNDACIÓN NEUMOLÓGICA COLOMBIANA (1996, 1999). "Evaluación del humo de la caña de azúcar en el sistema respiratorio", Asocaña.

- GOURIEROUX, C. (2000). “Econometrics of qualitative dependent variables”, Cap.11, pp. 270-278, Cambridge press.
- LEE, J. T.; SHIN, D., and CHUNG, Y. (1999). “Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea”, *Environmental Health Perspectives*, 107(8):149-54.
- LOZANO, N. (2004). “Air pollution in Bogotá, Colombia: A concentration-response approach”, *Desarrollo y Sociedad*, (54):133-77.
- MADRIÑÁN, C. (2002). “Compilación y análisis sobre la contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar”, Tesis de Especialización en Agroecología, Universidad Nacional, Palmira.
- MARTÍNEZ, M. (2003). “La demanda por combustible y el impacto de la contaminación al interior de los hogares sobre la salud: el caso de Guatemala”, Documento CEDE 2003-06.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA y DESARROLLO TERRITORIAL (2006). Por el aire que respiramos. Recuperado el 11 de octubre de 2006, de [http://www.presidencia.gov.co/prensa\\_new/columnas/columnas169.htm](http://www.presidencia.gov.co/prensa_new/columnas/columnas169.htm)
- NIKASINOVIC, L.; JUST, J.; SAHRAOUI, F.; SETA, N.; GRIMFELD, A., and MOMAS, I. (2006). “Nasal inflammation and personal exposure to fine particles PM2.5 in asthmatic children, American Academy of Allergy”, *Asthma and Immunology*, 117(6):1382-8.
- OLAYA, L. y RAMÍREZ, J. (2003). “Evaluación preliminar de la calidad del aire asociada con partículas suspendidas totales y partículas respirables en el casco urbano de Palmira”, Tesis de Pregrado en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional, Palmira.
- OSTRO, B.; ESKELAND, G.; FEYZIOGLU, T. and SÁNCHEZ, J. (1998). “Air pollution and health effects: A study of respiratory illness among children in Santiago, Chile”. Policy Research Working Paper No. 1932, World Bank, Washington, D. C., June 1998.

- OSTRO, B.; SÁNCHEZ, J.; ARANDA, C., and ESKELAND, G. (1996). "Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile", *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 6:97-114.
- PASSALI, D.; LAURIELLO, M.; MEZZEDIMI, C., and BELLUSSI, L. (1999). "Nasal allergy and atmospheric pollution", *International Journal of Pediatric Oto Rhino Laryngology*, 49:257-60.
- PENARD-MORAND, C.; CHARPIN, D.; RAHERISON, C.; KOPFERSCHMITT, C.; CALLAUD, D.; LAVAUD, F. *et al.* (2005). "Long-term exposure to background air pollution related to respiratory and allergic health in schoolchildren", *Clinical & Experimental Allergy*, 35(10):1279-87.
- PINO, P.; WALTER, T.; OYARZUN, M.; VILLEGAS, R., and ROMIEU, I. (2004). "Fine particulate matter and wheezing illnesses in the first year of life", *Epidemiology*, 15(6):702-8.
- POPE III, C.; SCHWARTZ, J. (1996). "Time series for the analysis of pulmonary health data", *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 154.
- SALDIVA, P. (1998). "Poluição atmosférica e saúde: uma abordagem experimental", Greenpeace, SOS, chega de poluição, Brasil.
- SAMAKOVLIS, E.; HUHTALA, A.; BELLANDER, T., and SVARTENGREN, M. (2005). "Valuing health effects of air pollution—Focus on concentration-response functions", *Journal of Urban Economics*, 58(2):230-49.
- SAMET; JOHATHAN, M., and JAAKKOLA, J. (1999). "The epidemiologic approach to investigating outdoor air pollution", *Air Pollution and Health*, Holgate, Academic Press, London.
- TORRES, J. (2002). "Análisis de los efectos a corto plazo de la contaminación en Bogotá", Tesis de Magíster en Economía del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, Facultad de Economía, Universidad de los Andes, Bogotá.

UNIVERSIDAD DE LA SALLE (1991). “Estudio de impacto ambiental de la quema de la caña de azúcar en el Valle del Cauca”.

URDANETA, S. (1999). “Mortalidad por infecciones respiratorias agudas (IRA) y contaminación del aire: una estimación de funciones dosis-respuesta para Santa Fe de Bogota”, Tesis de Magíster en Economía del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, Facultad de Economía, Universidad de los Andes, Bogotá.

WOOLDRIDGE, J. (2000). *Introducción a la econometría*, 1ª edición, Western College Publishing, México.

WONG, T. W.; TAM, W. S.; YU, T. S., and WONG, A. H. S. (2002). “Associations between daily mortalities from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Hong Kong, China”, *Occupational and Environmental. Medical*, 59:30-5.

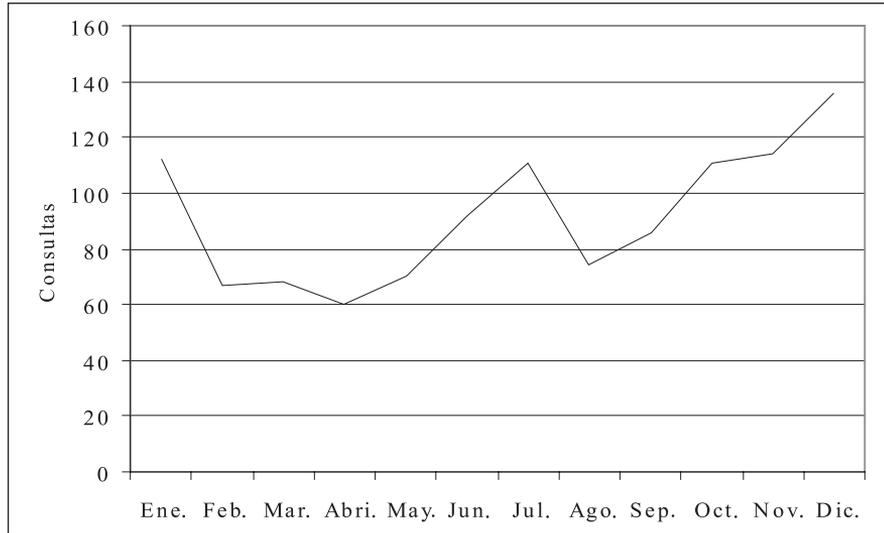
## Anexo 1. Mapa

Mapa 1. Los ingenios azucareros en el valle geográfico del río Cauca.



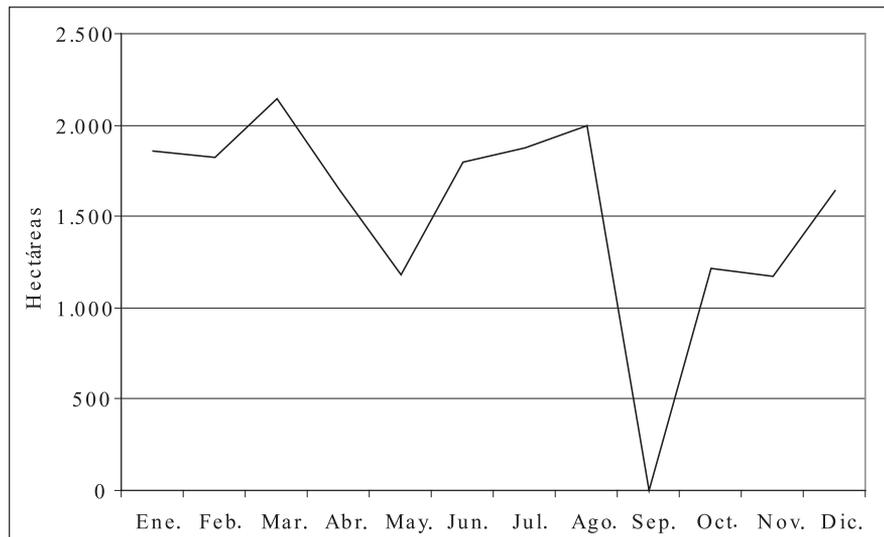
## Anexo 2. Gráficos

Gráfico 1. Consultas IRA HSVPP 2004.



Fuente: Elaborado por el autor con base en información suministrada por el HSVPP.

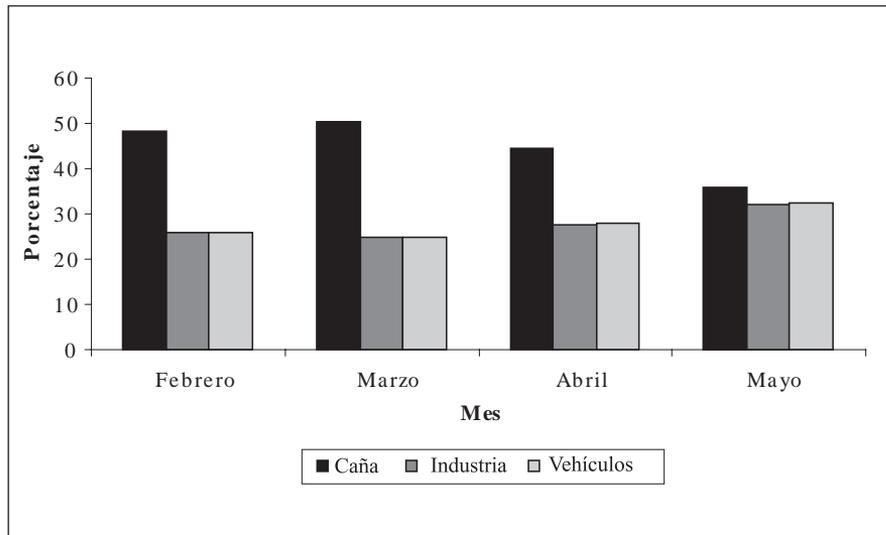
Gráfico 2. Evolución de las hectáreas de Caña quemadas, 2004.



Fuente: Elaborado por el autor con base en información suministrada por la CVC.

\*Información no disponible.

Gráfico 3. Porcentaje emisiones sector, 2004.



Fuente: Elaborado por el autor con base en estimaciones propias.

### Anexo 3. Pruebas de raíz unitaria

. dfuller nopacientesira, regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-10.656	-3.504	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. nopaciente~a	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
nopaciente~a						
L1.	-1.000443	.0938884	-10.66	0.000	-1.186401	-.8144851
_cons	2.178938	.2412346	9.03	0.000	1.701143	2.656734

. dfuller nopacientesira, trend regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-10.621	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. nopaciente~a	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
nopaciente~a						
L1.	-1.002918	.0944235	-10.62	0.000	-1.189953	-.8158836
_trend	.0015084	.0037026	0.41	0.684	-.0058258	.0088425
_cons	2.094624	.3185135	6.58	0.000	1.46371	2.725538

dfuller nopacientesira, regress lags(1)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 117

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-6.821	-3.504	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. nopaciente~a	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
nopaciente~a						
L1.	-.9078364	.1331034	-6.82	0.000	-1.171513	-.6441595
LD.	-.0934752	.094002	-0.99	0.322	-.2796924	.092742
_cons	1.985589	.318399	6.24	0.000	1.354843	2.616335

. dfuller areapalmira, regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-6.866	-3.504	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. Areapalmira	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
areapalmira						
L1.	-.5876703	.0855935	-6.87	0.000	-.757199	-.4181416
_cons	31.89681	5.198938	6.14	0.000	21.59966	42.19396

. dfuller areapalmira, trend regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-8.368	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. areapalm~a	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
areapalmira						
L1.	-.7568397	.0904472	-8.37	0.000	-.9359983	-.5776812
_trend	-.2815504	.0690891	-4.08	0.000	-.4184027	-.1446982
_cons	57.9339	8.040235	7.21	0.000	42.00774	73.86006

. dfuller areapalmira, trend regress lags(1)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 117

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-6.747	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. areapalm~a	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
areapalmira						
L1.	-.7838925	.1161784	-6.75	0.000	-1.014063	-.553722
LD.	.0383465	.0941722	0.41	0.685	-.1482257	.2249187
_trend	-.2874587	.0747026	-3.85	0.000	-.4354579	-.1394595
_cons	59.72623	9.83293	6.07	0.000	40.24542	79.20703

. dfuller areapalmira, trend regress lags(2)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 116

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-6.042	-4.035	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

# La caña de azúcar ¿una amarga externalidad?

Eleonora Dávalos Álvarez

D. areapalm~a	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
areapalmira						
L1.	-.8446116	.1397947	-6.04	0.000	-1.121624	-.5675991
LD.	.0947821	.1194441	0.79	0.429	-.1419044	.3314685
L2D.	.0772484	.0953352	0.81	0.420	-.1116647	.2661615
_trend	-.3040024	.0799588	-3.80	0.000	-.4624461	-.1455587
_cons	64.05383	11.50664	5.57	0.000	41.25265	86.85501

. dfuller pm10, regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.601	-3.504	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. pm10	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
pm10						
L1.	-.4070136	.0726647	-5.60	0.000	-.5509351	-.263092
_cons	17.54227	3.451289	5.08	0.000	10.70656	24.37799

. dfuller pm10, trend regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-6.062	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. pm10	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
pm10						
L1.	-.4735538	.0781157	-6.06	0.000	-.6282859	-.3188217
_trend	-.0863084	.0405589	-2.13	0.035	-.1666477	-.0059692
_cons	25.61075	5.092753	5.03	0.000	15.52299	35.69852

. dfuller pm10, trend regress lags(1)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 117

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.204	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0001

D. pm10	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
pm10						
L1.	-.4697684	.0902735	-5.20	0.000	-.6486166	-.2909203
LD.	-.0270947	.0928087	-0.29	0.771	-.2109655	.1567761
_trend	-.0807445	.0420671	-1.92	0.057	-.1640869	.002598
_cons	25.01359	5.698227	4.39	0.000	13.72438	36.30281

. dfuller pm10, trend regress lags(2)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 116

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-4.471	-4.035	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0017

D. pm10	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
pm10						
L1.	-.4479532	.1001834	-4.47	0.000	-.6464733	-.2494332
LD.	-.060288	.1027962	-0.59	0.559	-.2639855	.1434095
L2D.	-.0921595	.0925348	-1.00	0.321	-.2755235	.0912045
_trend	-.0671553	.0430812	-1.56	0.122	-.1525236	.0182129
_cons	23.03981	6.185251	3.72	0.000	10.78332	35.2963

. dfuller hr, regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.153	-3.504	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. hr	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
hr						
L1.	-.3665963	.0711479	-5.15	0.000	-.5075137	-.2256788
_cons	24.7687	4.780582	5.18	0.000	15.30016	34.23725

. dfuller hr, trend regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.760	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. hr	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
hr						
L1.	-.4429654	.0769008	-5.76	0.000	-.5952911	-.2906397
_trend	.0343012	.0145138	2.36	0.020	.0055521	.0630502
_cons	27.83565	4.865077	5.72	0.000	18.19887	37.47243

. dfuller hr, trend regress lags(1)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 117

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-4.910	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0003

## La caña de azúcar ¿una amarga externalidad?

Eleonora Dávalos Álvarez

D. hr	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
hr						
L1.	-.4343796	.0884615	-4.91	0.000	-.6096378	-.2591215
LD.	.0131611	.0931718	0.14	0.888	-.1714291	.1977514
_trend	.0358821	.0149676	2.40	0.018	.0062285	.0655356
_cons	27.1201	5.594316	4.85	0.000	16.03675	38.20345

. dfuller hr, trend regress lags(2)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 116

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-4.995	-4.035	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0002

D. hr	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
hr						
L1.	-.4880314	.0976959	-5.00	0.000	-.6816223	-.2944406
LD.	.0681911	.1034633	0.66	0.511	-.1368284	.2732105
L2D.	.1251168	.0946743	1.32	0.189	-.0624866	.3127203
_trend	.0404877	.0154683	2.62	0.010	.0098362	.0711393
_cons	30.41943	6.164724	4.93	0.000	18.20362	42.63524

. dfuller hr, trend regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.760	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. hr	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
hr						
L1.	-.4429654	.0769008	-5.76	0.000	-.5952911	-.2906397
_trend	.0343012	.0145138	2.36	0.020	.0055521	.0630502
_cons	27.83565	4.865077	5.72	0.000	18.19887	37.47243

dfuller hr, trend regress lags(1)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 117

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-4.910	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0003

D. hr	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
hr						
L1.	-.4343796	.0884615	-4.91	0.000	-.6096378	-.2591215
LD.	.0131611	.0931718	0.14	0.888	-.1714291	.1977514
_trend	.0358821	.0149676	2.40	0.018	.0062285	.0655356
_cons	27.1201	5.594316	4.85	0.000	16.03675	38.20345

. dfuller hr, trend regress lags(2)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 116

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-4.995	-4.035	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0002

D. hr	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
hr						
L1.	-.4880314	.0976959	-5.00	0.000	-.6816223	-.2944406
LD.	.0681911	.1034633	0.66	0.511	-.1368284	.2732105
L2D.	.1251168	.0946743	1.32	0.189	-.0624866	.3127203
_trend	.0404877	.0154683	2.62	0.010	.0098362	.0711393
_cons	30.41943	6.164724	4.93	.000	18.20362	42.63524

. dfuller t, regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-4.951	-3.504	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. t	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
t						
L1.	-.3504352	.0707844	-4.95	0.000	-.4906326	-.2102377
_cons	8.568134	1.744097	4.91	0.000	5.11373	12.02254

. dfuller t, trend regress lags(0)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.168	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0001

D. t	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
t						
L1.	-.3782809	.0732017	-5.17	0.000	-.5232794	-.2332824
_trend	-.0038863	.0027573	-1.41	0.161	-.0093479	.0015753
_cons	9.484545	1.854443	5.11	0.000	5.811251	13.15784

La caña de azúcar ¿una amarga externalidad?

Eleonora Dávalos Álvarez

. dfuller t, regress lags(1)  
Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 117

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-4.396	-3.504	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0003

D. t	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
t						
L1.	-.3508915	.0798177	-4.40	0.000	-.5090098	-.1927731
LD.	.0689502	.0927925	0.74	0.459	-.114871	.2527713
_cons	8.594821	1.96587	4.37	0.000	4.700448	12.48919

. dfuller t, regress lags(2)  
Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 116

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-4.428	-3.505	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0003

D. t	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
t						
L1.	-.3885047	.087735	-4.43	0.000	-.5623402	-.2146691
LD.	.1095604	.1007104	1.09	0.279	-.0899843	.3091052
L2D.	.0859458	.0943039	0.91	0.364	-.1009052	.2727969
_cons	9.51798	2.160312	4.41	0.000	5.2376	13.79836

. dfuller vv, regress lags(0)  
Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-6.943	-3.504	-2.889	-2.579

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. vv	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
vv						
L1.	-.5657038	.0814731	-6.94	0.000	-.7270715	-.404336
_cons	.7482248	.1109836	6.74	0.000	.5284079	.9680418

. dfuller vv, trend regress lags(0)  
Dickey-Fuller test for unit root Number of obs = 118

Interpolated Dickey-Fuller				
	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-7.500	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. vv	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
vv						
L1.	-.6384887	.085127	-7.50	0.000	-.8071089	-.4698684
_trend	-.0014768	.0006029	-2.45	0.016	-.0026711	-.0002825
_cons	.9336758	.132442	7.05	0.000	.6713336	1.196018

. dfuller vv, trend regress lags(1)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 117

Interpolated Dickey-Fuller

	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.793	-4.034	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. vv	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
vv						
L1.	-.601538	.1038476	-5.79	0.000	-.8072787	-.3957972
LD.	-.004291	.0915401	-0.05	0.963	-.1856484	.1770665
_trend	-.00154	.0006208	-2.48	0.015	-.0027698	-.0003102
_cons	.8909565	.1585336	5.62	0.000	.5768729	1.20504

. dfuller vv, trend regress lags(2)

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 116

Interpolated Dickey-Fuller

	Test Statistic	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.636	-4.035	-3.448	-3.148

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

D. vv	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
vv						
L1.	-.6666148	.1182797	-5.64	0.000	-.9009939	-.4322357
LD.	.0787742	.1116937	0.71	0.482	-.1425543	.3001026
L2D.	.0891387	.0927553	0.96	0.339	-.0946622	.2729395
_trend	-.0016316	.000645	-2.53	0.013	-.0029096	-.0003535
_cons	.982046	.1798199	5.46	0.000	.6257207	1.338371

## Anexo 4. Estimaciones econométricas

. regress pm10md areapalmira galonesgasolina consumoei hr , robust

Linear regression

Number of obs = 119  
 F( 4, 114) = 15.00  
 Prob > F = 0.0000  
 R-squared = 0.2517  
 Root MSE = 39.112

pm10mdo	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
areapalmira	.6405242	.1743072	3.67	0.000	.295223	.9858253
galonesgas~a	-.0000538	.0000987	-0.55	0.587	-.0002493	.0001417
consumoei	-.0000182	.0000182	-1.00	0.318	-.0000542	.0000177
hr	-1.812753	.6803342	-2.66	0.009	-3.16049	-.4650162
_cons	322.2841	154.2075	2.09	0.039	16.80018	627.768

. regress pm10md areapalmira galonesgasolina consumoei t, robust

Linear regression

Number of obs = 119  
 F( 4, 114) = 14.38  
 Prob > F = 0.0000  
 R-squared = 0.2529  
 Root MSE = 39.081

pm10mdo	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Areapalmira	.6310349	.1719415	3.67	0.000	.2904201	.9716498
galonesgas~a	-.0000675	.000098	-0.69	0.492	-.0002616	.0001265
consumoei	-.0000106	.0000184	-0.58	0.564	-.0000471	.0000258
t	8.78795	3.128542	2.81	0.006	2.590332	14.98557
_cons	-40.06216	191.5769	-0.21	0.835	-419.5746	339.4503

. regress pm10md areapalmira galonesgasolina consumoei vv, robust

Linear regression

Number of obs = 119  
 F( 4, 114) = 9.46  
 Prob > F = 0.0000  
 R-squared = 0.2170  
 Root MSE = 40.008

pm10mdo	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Areapalmira	.6934185	.1497881	4.63	0.000	.3966893	.9901476
galonesgas~a	-3.25e-06	.000105	-0.03	0.975	-.0002113	.0002047
consumoei	-.0000101	.0000201	-0.50	0.615	-.0000499	.0000296
vv	29.99628	19.41379	1.55	0.125	-8.462291	68.45485
_cons	68.05517	173.2621	0.39	0.695	-275.1757	411.2861

. poisson nopacientesira pm10md2r pm10md3r pm10md5r tmin,robust

Iteration 0: log pseudolikelihood = -189.42178

Iteration 1: log pseudolikelihood = -189.42178

Poisson regression	Number of obs	=	114
	Wald chi2(4)	=	12.51
	Prob > chi2	=	0.0139
Log pseudolikelihood = -189.42178	Pseudo R2	=	0.0199

nopaciente~a	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
pm10md2r	.0007698	.0014118	0.55	0.586	-.0019972	.0035368
pm10md3r	.0005019	.0013113	0.38	0.702	-.0020681	.0030719
pm10md5r	.0028157	.0011215	2.51	0.012	.0006177	.0050137
tmin	.1025615	.0512153	2.00	0.045	.0021813	.2029417
_cons	-1.789636	1.086349	-1.65	0.099	-3.91884	.3395683

. mfx

Marginal effects after poisson

y = predicted number of events (predict)  
= 2.1506642

Variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]		X
pm10md2r	.0016556	.00305	0.54	0.587	-.004323	.007635	91.1103
pm10md3r	.0010794	.00281	0.38	0.701	-.004433	.006592	92.06
pm10md5r	.0060556	.00237	2.55	0.011	.001402	.01071	93.651
tmin	.2205753	.10956	2.01	0.044	.005851	.435299	21.2105

. poisson menores10 pm10md2r pm10md3r pm10md5r tmin,robust

Iteration 0: log pseudolikelihood = -150.39131

Iteration 1: log pseudolikelihood = -150.39131

Poisson regression	Number of obs	=	114
	Wald chi2(4)	=	8.51
	Prob > chi2	=	0.0746
Log pseudolikelihood = -150.39131	Pseudo R2	=	0.0198

menores10	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
pm10md2r	.0037104	.0017981	2.06	0.039	.0001863	.0072346
pm10md3r	-.0011275	.0017961	-0.63	0.530	-.0046477	.0023927
pm10md5r	.0024025	.0013995	1.72	0.086	-.0003406	.0051455
tmin	.0735509	.0690754	1.06	0.287	-.0618344	.2089363
_cons	-1.910907	1.48516	-1.29	0.198	-4.821768	.9999538

# La caña de azúcar ¿una amarga externalidad?

Eleonora Dávalos Álvarez

. mfx

Marginal effects after poisson

y = predicted number of events (predict)  
= 1.1144878

Variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
pm10md2r	.0041352	.00202	2.04	0.041	.00017 .0081	91.1103
pm10md3r	-.0012566	.00201	-0.62	0.532	-.005201 .002688	92.06
pm10md5r	.0026775	.00152	1.76	0.078	-.000303 .005658	93.651
tmin	.0819716	.07669	1.07	0.285	-.068343 .232286	21.2105

. poisson entre10y60 pm10md2r pm10md3r pm10md5r tmin,robust

Iteration 0: log pseudolikelihood = -110.54898

Iteration 1: log pseudolikelihood = -110.54896

Iteration 2: log pseudolikelihood = -110.54896

Poisson regression

Number of obs = 114

Wald chi2(4) = 6.02

Prob > chi2 = 0.1979

Pseudo R2 = 0.0181

Log pseudolikelihood = -110.54896

entre10y60	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
pm10md2r	-.0057918	.0028956	-2.00	0.045	-.0114672 -.0001165
pm10md3r	-.000472	.002693	-0.18	0.861	-.0057502 .0048062
pm10md5r	.0032761	.0021871	1.50	0.134	-.0010105 .0075627
tmin	.0525274	.10505	0.50	0.617	-.1533669 .2584217
_cons	-1.430083	2.259654	-0.63	0.527	-5.858924 2.998758

. mfx

Marginal effects after poisson

y = predicted number of events (predict)  
= .55973712

Variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
pm10md2r	-.0032419	.00155	-2.10	0.036	-.006275 -.000209	91.1103
pm10md3r	-.0002642	.00151	-0.18	0.861	-.003219 .00269	92.06
pm10md5r	.0018338	.00121	1.52	0.129	-.000536 .004204	93.651
tmin	.0294015	.05888	0.50	0.618	-.085992 .144795	21.2105

. poisson entre10y60 pm10mdr pm10md2r pm10md3r pm10md4r pm10md5r tmin,robust

Iteration 0: log pseudolikelihood = -110.20939  
 Iteration 1: log pseudolikelihood = -110.20936  
 Iteration 2: log pseudolikelihood = -110.20936

Poisson regression

Number of obs = 114  
 Wald chi2(6) = 7.01  
 Prob > chi2 = 0.3196  
 Pseudo R2 = 0.0211

Log pseudolikelihood = -110.20936

entre10y60	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
pm10mdr	.0011382	.0040109	0.28	0.777	-.006723	.0089994
pm10md2r	-.0058883	.0028185	-2.09	0.037	-.0114124	-.0003642
pm10md3r	.0001857	.0026401	0.07	0.944	-.0049889	.0053603
pm10md4r	-.0063633	.0094606	-0.67	0.501	-.0249057	.012179
pm10md5r	.0039822	.0025058	1.59	0.112	-.000929	.0088934
tmin	.047993	.1047448	0.46	0.647	-.1573031	.253289
_cons	-1.278806	2.212056	-0.58	0.563	-5.614355	3.056743

. mfx

Marginal effects after poisson

y = predicted number of events (predict)  
 = .55741957

Variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]		X
pm10mdr	.0006344	.00225	0.28	0.777	-.003766	.005035	90.4196
pm10md2r	-.0032823	.00153	-2.14	0.032	-.00629	-.000274	91.1103
pm10md3r	.0001035	.00147	0.07	0.944	-.002782	.002989	92.06
pm10md4r	-.0035471	.00528	-0.67	0.502	-.013893	.006799	44.009
pm10md5r	.0022198	.00138	1.61	0.108	-.000488	.004927	93.651
tmin	.0267522	.05802	0.46	0.645	-.086966	.14047	21.2105

. poisson mayoresde60 pm10md2r pm10md3r pm10md5r tmin,robust

Iteration 0: log pseudolikelihood = -97.212792  
 Iteration 1: log pseudolikelihood = -97.21278  
 Iteration 2: log pseudolikelihood = -97.21278

Poisson regression

Number of obs = 114  
 Wald chi2(4) = 10.33  
 Prob > chi2 = 0.0353  
 Pseudo R2 = 0.0406

Log pseudolikelihood = -97.21278

menoresde60	Coef.	Robust Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
pm10md2r	.0003332	.0028812	0.12	0.908	-.0053139	.0059802
pm10md3r	.0051431	.0025544	2.01	0.044	.0001366	.0101496
pm10md5r	.0030677	.002666	1.15	0.250	-.0021577	.008293
tmin	.2408217	.1188421	2.03	0.043	.0078954	.473748
_cons	-6.704717	2.678571	-2.50	0.012	-11.95462	-1.454815

# La caña de azúcar ¿una amarga externalidad?

Eleonora Dávalos Álvarez

. mfx

Marginal effects after poisson

y = predicted number of events (predict)

= .44679469

Variable	dy/dx	Std. Err.	z	P> z	[ 95% C.I. ]	X
pm10md2r	.0001489	.00129	0.12	0.908	-.002373 .002671	91.1103
pm10md3r	.0022979	.0011	2.09	0.037	.000138 .004458	92.06
pm10md5r	.0013706	.00119	1.16	0.248	-.000953 .003694	93.651
tmin	.1075978	.04913	2.19	0.029	.011303 .203892	21.2105