

Metodologías para el análisis de los costos de la contaminación ambiental

ROSA ELENA REYES NODHAL¹

Puesto que las externalidades ambientales tienen una dimensión espacial, muchos de los casos de contaminación son tratados y analizados dentro de este contexto. Los casos de externalidades ambientales pueden estar estrechamente relacionados con las decisiones tomadas para la utilización de los recursos y/o espacios, tanto en el medio rural como urbano.

Los problemas de contaminación atmosférica pueden ser resultado de patrones industriales cuyos desechos son generados por procesos no regulados de eliminación de sustancias. Por otra parte, existen también problemas que no están relacionados con la contaminación del aire sino que se deben a la inadecuada utilización de los espacios: por motivos económicos, se eliminan terrenos que tienen un valor ambiental especial relacionado con proyectos ecológicos y/o valores estéticos.

En el presente trabajo se hace la revisión bibliográfica de algunos trabajos, métodos y teorías que abordan el problema de las externalidades ambientales. Los trabajos realizados presentan distintas estructuras metodológicas para demostrar la esencia del problema.

Economía y contaminación

La literatura existente para valorar los beneficios y los costos de las emisiones contaminantes utiliza diferentes enfoques y fuentes distintas de información, como datos publicados por organismos oficiales o generados por estudios individuales.

La identificación de las emisiones contaminantes al medio ambiente ha permitido clasificar sus efectos en: efectos directos, en la salud humana se pueden

1. Profesora Investigadora del Centro de Investigaciones Sociales y Económicas, Departamento de Economía CUCEA, UdeG.

medir a través de las tasas de morbilidad y mortalidad; y efectos indirectos, que afectan la calidad de los productos agrícolas, por la degradación de suelos, a la producción de bienes y servicios, debido al deterioro acelerado de los insumos, y a la actividad de esparcimiento por la destrucción del paisaje. En este sentido, el control de las emisiones contaminantes significa recuperar la limpieza del medio ambiente y reducir la magnitud de sus efectos.

Según Freeman (1995), los valores que los individuos conceden a la reducción de las emisiones contaminantes constituyen para los economistas la medida de los beneficios; por lo tanto, una mejora en el medio ambiente se representa como la suma de los valores monetarios asignados a los efectos que dicha mejora tiene en el medio ambiente dañado.

En este sentido, el beneficio se traduce en el efecto que dicha mejora tiene en todos los individuos afectados, directa o indirectamente, y los daños representan lo que se pierde en términos de dinero a causa de las emisiones contaminantes. Estos daños, dicen los economistas, producen un efecto directo en la pérdida del bienestar, fuera de las interacciones del mercado.

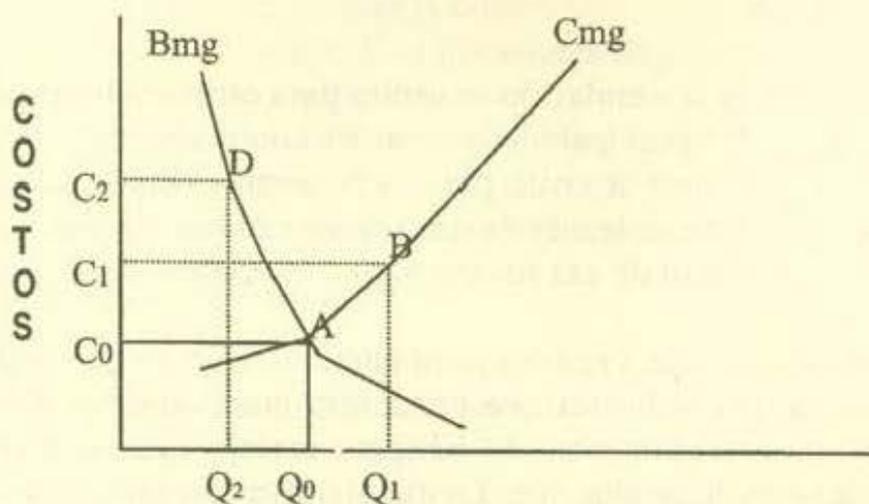
La medición de los costos y beneficios implica el uso de teorías, métodos y técnicas económicas, pero debe basarse en el conocimiento que los efectos de los contaminantes tienen sobre el medio ambiente. En este trabajo, el interés se concentra en el daño a la salud de los individuos y en las mediciones del grado de concentración de las emisiones contaminantes.

Para obtener las mediciones cuantitativas de los costos de la contaminación, la teoría económica plantea diferentes líneas de análisis. Algunas de ellas se analizarán con el propósito de seguir su estructura metodológica y, de ser posible, aplicarla para evaluar los costos de la contaminación en la Zona Industrial de Guadalajara.

Medición de los costos

La teoría expone que para lograr un determinado grado de control de la contaminación es necesario tomar en cuenta los recursos disponibles y el avance de la tecnología empleada; de este modo, los gastos para reducir la contaminación se traducen tanto en un incremento de costos como en beneficios, hasta un punto en que el grado de control sea óptimo. Asimismo, es necesario calcular los costos marginales de los diferentes grados de control de la contaminación deseados, y especificar, también, que el grado de control será eficiente en el punto en que el costo marginal de disminución sea igual a los beneficios marginales estimados.

Gráfica 1. Curvas de costo y beneficio marginal



GRADOS DE CONTROL

En la Gráfica 1, la curva de costo marginal está representada como una función que varía directamente con respecto a los grados de control de contaminación. Al principio las medidas de control resultan relativamente baratas, pero una vez que éstas han sido agotadas la obtención de grados de control adicionales requerirá mayor financiamiento por grado de disminución.

La curva de beneficio marginal se muestra como una función decreciente con respecto a los grados de control. La línea se representa así para indicar que se obtendrán grandes beneficios en altas concentraciones, o bien que el beneficio será menor a medida que avance el control de la contaminación.

Se observa en el diagrama que en el punto (A) el bienestar está en equilibrio, porque tanto el beneficio marginal como el costo marginal son iguales. Si el punto de equilibrio se traslada de (A) a (B) a lo largo de la curva de costo marginal, significa que a medida que la contaminación sea controlada el costo (C_j) de la última disminución será mayor que el beneficio logrado por unidad de reducción. En el caso contrario, si el punto de equilibrio estuviese en (D) los beneficios marginales de las primeras medidas de control deberán ser mayores que los costos marginales.

Por lo tanto para elegir un eficiente grado de control ambiental, se requiere de la estimación de una curva de costo marginal agregada; entonces, el problema consiste en obtener la disminución de la contaminación al menor costo posible.

Los modelos de costo-beneficio que se han aplicado para determinar los costos de control de la contaminación tienen distintos enfoques metodológicos. Entre ellos, se pueden mencionar el método de simulación, el econométrico, el de beneficios y el de valoración contingente; este último está entre los más recientes.

Modelos para la valoración ambiental

Modelo de simulación

El análisis por medio de la simulación se utiliza para estimar el capital y los costos de operación de un sistema para controlar la contaminación. Mediante este método se obtiene una línea de costo para cada fuente en particular; es decir, los parámetros que se generan a través de un sistema ecuaciones son utilizados para calcular el costo de control de esa fuente bajo condiciones previamente establecidas.

Sin embargo, este análisis resulta poco confiable puesto que es difícil aplicar tales resultados en una industria que concentra gran variedad de productos y tecnologías, así como a empresas de reciente o viejo establecimiento con un extenso rango de tasas de producción. Lo que significa que las funciones de costos pocas veces son flexibles para comparar los numerosos factores que cambian de una fuente a otra, y que tendrían una posible influencia sobre sus costos de control de contaminación.

Modelo econométrico

El análisis marginal de la contaminación por el método econométrico se basa en la formulación de una ecuación que especifique el comportamiento de los costos totales, con un determinado número de variables, incluido el grado de control seleccionado. Dicha especificación se realiza para cada fuente.

La aplicación del modelo requiere que la manipulación de los datos represente las mediciones de los grados de contaminación (concentración de partículas); una vez reunidos, se estiman los coeficientes de los parámetros de la ecuación mediante la técnica de regresión, para cuantificar la magnitud de las relaciones entre las variables.

Los parámetros de la ecuación muestran el cambio relativo de los costos de control como una función de todas las variables incluidas en el análisis de la contaminación. No obstante, este tipo de estudios es más aplicable en los casos en los cuales la tecnología de control es estable o no es sustituida rápidamente.

Además, se debe asegurar que los datos obtenidos muestren los antecedentes del comportamiento de los costos para construir un modelo econométrico satisfactorio, debido a que no es usual que una empresa genere la suficiente información de sus costos de control de la contaminación emitida, para poder implementar dicho análisis.

El modelo propuesto consta de dos relaciones funcionales. La primera es para observar la relación que existe entre la cantidad de partículas contaminantes emitidas y el costo total que se destina para la adquisición o modernización de la tecnología para controlar los desechos. La segunda función se plantea para

conocer en qué medida la emisión de partículas contaminantes afecta la salud humana.

La relación funcional se representa como:

1. $E = f(CT)$ donde E es la variable dependiente o endógena y CT es la variable independiente o exógena.

2. $Y = f(E)$ donde Y es la variable dependiente o endógena y E es la variable independiente o exógena.

La expresión econométrica se presenta de la siguiente manera:

a) $E = \beta_0 + \beta_1 CT_i + u_i$ (1) Función de Costo Total sobre emisiones

b) $Y = \alpha_0 + \alpha_1 E_i + u_i$ (2) Función de emisiones sobre la salud

Donde: CT = Costo Total, suma de costos de las empresas para adquisición, mantenimiento de equipo para controlar las emisiones contaminantes.

E = Cantidad de partículas $\mu g/m^3$ de polvo, smog y niebla suspendidas.

Y = Consultas médicas por concepto de afecciones al aparato respiratorio y de la vista.

U_i = Término aleatorio.

Modelo de beneficios

El modelo de beneficios propuesto por Freeman (1995), identifica como tales a los mayores niveles en la salud humana (calidad de vida), reducción de costos en limpieza, daños materiales reducidos, productividad agrícola mejorada y a la visibilidad nítida del paisaje. Este modelo es más efectivo cuando se analiza la contaminación emitida por fuentes estacionarias. Se ha comprobado que la obtención de beneficios supera los costos generados por la contaminación.

El modelo se representa como:

a) $Q = f(D)$ (1) Función de emisiones sobre la calidad de aire.

b) $X = f(Q)$ (2) Función de daño.

c) $V = f(X)$ (3) Función de beneficios monetarios.

donde: D = Tasa de descarga del contaminante.

Q = Medición de la calidad de aire.

X = Nivel de alguna actividad.

V = Valor monetario del uso del aire, que se mide por la disponibilidad a pagar.

Hipótesis de comportamiento:

1. $\delta Q / \delta D < 0$ Q varía inversamente a D

2. $\delta X / \delta Q > 0$ X es función positiva de Q

3. $\delta V / \delta X > 0$ V es función positiva de X

Sustituyendo, se tiene que:

C) $V = f(D)$ (4) Función del valor monetario debido a las emisiones del contaminante.

d) $B = \Delta V$ (5) Beneficios por reducción de contaminantes desde cada fuente.

De acuerdo con este modelo, las estimaciones de los beneficios se basan en calcular funciones de daños por unidad, relacionadas con las estimaciones del número de personas afectadas en las zonas de influencia de las fuentes contaminantes. Las mediciones de beneficios monetarios (ecuación 3), requieren de un modelo de demanda y de la disponibilidad a pagar por una unidad adicional de un recurso medioambiental, como aire, agua, etcétera.

Modelo de sendas de impacto

Peuportier, B. y A. Rabi (1994) utilizan la metodología de senda de impacto, para examinar las emisiones por incineración de las plantas químicas autorizadas. Los incineradores de desechos estudiados están en Bélgica, Francia y el Reino Unido.

Se analiza la dispersión de contaminantes y se aplica la función de E-R para cuantificar el impacto en la salud y en el medio ambiente. Los datos utilizados son las emisiones tóxicas generadas por incineración. Existe cierta incertidumbre en el valor de los datos pero no se puede negar el valor que ofrece la información, ya que se pueden utilizar los resultados del análisis de impacto para comunicar los riesgos que se corren al aceptar las propuestas de instalación de incineradores.

La industria se enfrenta a una situación difícil. Por una parte, las industrias proporcionan artículos necesarios para la vida cotidiana y proveen de empleo y riqueza a la comunidad; por otra, también generan la contaminación que daña a la salud y al medio ambiente. De tal manera que cuando se autoriza la instalación de un incinerador, las comunidades de la zona de influencia se angustian. El autor plantea la siguiente pregunta: ¿Tienen mayor valor los beneficios que los costos?

Desdichadamente, el valor de los costos sociales es incierto y sumamente polémico; el espectro de los posibles riesgos ambientales aumenta cuando la tecnología se desarrolla, surgen químicas nuevas, procesos novedosos y la sociedad se angustia más con dicho proceso. El balance de riesgos y beneficios es un desafío que no acaba, por lo que es necesario informar a la comunidad de los costos y beneficios de este desafío.

El objetivo del modelo es examinar cómo la ciencia puede evaluar los costos y beneficios y sugerir mejoras posibles para la actividad industrial estudiada.

El procedimiento de análisis se basa en los pasos siguientes:

- a) Obtención de la información.
- b) Identificación de opciones.
- c) Evaluación de costos y beneficios.
- d) Selección de la opción con beneficio social más alto.

Metodología

El modelo de senda de impacto es de la forma:

$$\Delta \text{COST} = \sum r | \text{Cost} \rangle, r [| (\text{impact}) \rangle, r (| \text{disp} \rightarrow r (\Delta Q))]] .$$

donde: $f(\dots)$ son funciones correspondientes a los pasos del análisis representados por los subíndices de la ecuación, esto es: r = receptores (población, edificios, cosechas, etc.).

$f(\text{Cost})$ = Función de costo.

$f(\text{Impact})$ = Función de impacto.

$f(\text{disp})$ = Función de dispersión.

La ecuación expresa el costo del daño de manera funcional, se analizan las sendas de impacto por cada fase del ciclo de la contracción hasta la descomposición del incinerador. Los impactos se incrementan debido a la contracción de una planta adicional.

Cada actividad puede contribuir con una gran cantidad de impacto, debido a los tóxicos desechados por un incinerador.

En principio, se debe evaluar cada elemento de la matriz de datos. La tarea puede ser agotadora, pero en la práctica es necesario obtener los impactos más significativos (llamados sendas prioritarias), ya que la mayoría de impactos es tan insignificante que se puede omitir. En el proceso interactivo se aprende a observar qué impactos son importantes para el análisis.

La complejidad del modelo de sendas de impacto se debe a los daños que reciben los receptores por los diferentes impactos de las emisiones. No hay mucho que decir del impacto visual de una planta; la planta irremediablemente se encuentra allí, y el trabajo del economista es estimar en cuánto reduce el bienestar de la población afectada su intrusión estratégica.

En lo referente a la función de dispersión, la complejidad se refiere a que algunos contaminantes atmosféricos, como los policloratos (PCV), son depositados por las lluvias en la vegetación, como en la pastura que es consumida por el ganado que después será consumido por la población. Aquí se da la dispersión a través de varios factores, donde el trabajo se vuelve interdisciplinario con varios campos de especialización.

Función (E-R) emisor-receptor

$$Y = f\{ \text{impact} (X) \}$$

La función relaciona la cantidad (X) de un contaminante que afecta a un receptor (población), con el impacto físico (Y) de este receptor (incremento de muertes). Sin embargo, en la función (E-R) se utiliza X en sentido más amplio, como la concentración de un contaminante en la atmósfera; en este caso:

La $f\{\text{impact (X)}\}$ lleva implícito el número de contaminantes del aire en el cuerpo.

En este modelo se obtienen las funciones (E-R) para los contaminantes clásicos aéreos como: Partículas en suspensión, NOx, SOx, y O3.

Función del daño

$D = f(\text{Dosis de exposición, otros})$.
 donde: Dosis = Tiempo de exposición.
 Otros = Otra variable no tomada en cuenta.

Al aplicar este modelo se quiere observar el cambio en el comportamiento de la función. Se incluye otra variable que no se había contemplado en principio, como puede ser el tamaño de las partículas o la composición de las mismas.

Relación entre concentración y dosis

Para relacionar el grado de concentración de los contaminantes y las unidades de riesgo, el autor utiliza la siguiente ecuación:

$$I = \frac{C_a \times IR_a \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

donde:

Ca = Concentración (Mg /m³)

IRa = Periodo de inhalación (m³ /h)

ET = Tiempo de exposición (h /d)

EF = Frecuencia de exposición (d /año)

ED = Duración de exposición (años)

BW = Peso corporal (kg)

AT = Periodo de tiempo (Periodo por encima del promedio de exposición /d
 Generalmente se acepta que: IR X ET = 20 m³ /día para un BW = 70kg.

La información de los riesgos

La comunicación de los riesgos es difícil por que no se acostumbra hacer una evaluación cuantitativa de las probabilidades del riesgo. El uso de las tendencias del riesgo sería un acercamiento prometedor para comunicar algunas conclusiones de los estudios de impactos medioambientales.

Un uso práctico de las tendencias del riesgo es calcular el riesgo asociado con el proyecto de impacto de los contaminantes de la atmósfera y proponer la lista de diferencia de los riesgos de los contaminantes, como fumar, los pesticidas, los combustibles, las radiaciones o los vapores tóxicos.

Modelo de valoración contingente

El método de MVC, en Kristom Bengt y Pere Riera (1997), es una técnica de muestreo que se utiliza para obtener una perspectiva empírica sobre los casos en que es necesaria la asignación de recursos. La técnica es utilizada en la generación de datos por la vía de las encuestas. A primera vista, el MVC parece sencillo: consiste simplemente en preguntar a un grupo de personas cuánto estarían dispuestos a pagar para obtener un determinado bien. Sin embargo, esto no es tan simple, ya que se trata de una aplicación moderna basada no sólo en la teoría económica, sino también en otras disciplinas, la estadística y la investigación por muestreo.

En 1974, en un estudio realizado por Alan Randall, y publicado en *Journal of Environmental Economics and Management*, se analizaron los beneficios de la visibilidad atmosférica utilizando esta técnica, novedosa para la época. Más tarde, Bishop y Hoberlein (1979), al aplicar el método, en lugar de pedir a los encuestados que manifestaran su disposición a pagar (CAP) por un bien medioambiental, les plantearon un precio determinado que deberían aceptar o rechazar. De esta misma manera funcionan los mercados de bienes ordinarios: un consumidor compra o no un producto en función de su precio. A partir de aquí creció con rapidez el interés por la teoría económica conjuntamente con el MVC y las técnicas econométricas, y se lograron grandes avances en estos campos.

Hanemman (1984) analizó cómo el planteamiento de Bishop (1979) podía explicarse en el marco de la Economía del Bienestar, dado que ésta permitía fundamentar el mecanismo de respuesta individual. Ambos analizaron datos agregados basados en submuestras, como alternativa a la explicación de las respuestas individuales basadas en la teoría de la utilidad. Aplicando el modelo de maximización de la utilidad aleatoria, Hanemman estableció un fundamento teórico que ha constituido la base para estudios posteriores de MVC.

La aplicación del método de valoración contingente se lleva a cabo mediante cuatro fases: Desarrollo, estructura, recopilación de datos y análisis.

Desarrollo: La cuestión de la información puede abarcarse desde un punto de vista probabilístico, basado en la teoría económica general de la elección en condiciones de incertidumbre (Hanson, 1996). De esta forma, se calcula para el consumidor la utilidad esperada del proyecto, evaluando probabilidades de los diferentes resultados. Puesto que la recolección de los datos y el tratamiento de la información resultan onerosos, suele establecerse un punto en que el beneficio marginal de un dato adicional es igual al costo marginal de obtenerlo.

Desde el punto de vista de la teoría, el formato de preguntas de valoración es fácil de diseñar. Se trata de pedir al encuestado que manifieste su disposición a pagar (DAP). Las preguntas abiertas tienen muchas ventajas: además de obtener la información necesaria de manera inmediata, se pueden plantear ciertos inter-

valos de precios y solicitar al entrevistado que elija el que mejor represente su (DAP) por el bien medioambiental.

El modelo conceptual de costo-beneficio, permite establecer el ámbito de mercado, esto es el subconjunto de la población que debe incluirse en la muestra, es decir, tener en cuenta a las personas con interés en el problema en cuestión. La simulación del mercado contiene una determinada información sobre el bien que va a valorarse por el MVC. Algunos autores consideran que los valores obtenidos mediante MVC resultan más confiables si los encuestados disponen de tiempo para contestar, conocen suficientemente el bien que se trata de analizar y se les informa de los bienes sustitutos y complementarios.

El MVC solicita a los encuestados la evaluación de un cambio que depende de dos o más situaciones. Comúnmente, se describe una situación o escenario inicial seguido por una explicación de un segundo escenario, de forma tal que se propone un cambio en la cantidad o calidad del bien.

En el cuestionario se describe el escenario del mercado hipotético en que el encuestado va a comprar el bien. Desde el punto de vista de la teoría del bienestar, se diseñan las preguntas de valoración para pedir a los encuestados que declaren la DAP.

Estructura: Consiste en la aplicación de las técnicas de muestreo y en el desarrollo logístico del ejercicio. Harrison y Lesley (1996) proponen la utilización de una muestra de conveniencia y la posterior aplicación de los resultados a la población de interés mediante Modelos de Regresión. Lo anterior tiene como fundamento la necesidad de obtener una muestra representativa.

Recolección de datos: Esta fase es muy importante porque se refiere a la ejecución de una prueba piloto, basada en una muestra de un tamaño aproximado de 10% a 20% de la muestra definitiva. Este procedimiento se emplea para conocer mejor la forma en que funcionará el diseño muestral y el cuestionario. Cuando se utilizan preguntas de valoración es oportuno comprobar las opciones, debido a la incertidumbre habitual respecto a las preferencias humanas. Después de evaluar los resultados del estudio piloto, puede procederse a realizar la encuesta en la muestra principal. Con la realización del estudio piloto puede observarse qué hipótesis de las planteadas en el estudio sobre la distribución de la DAP es errónea.

Análisis de datos: En la fase del análisis de datos se estiman las tasas de respuesta válidas, elemento esencial en los análisis estadísticos; se recomienda una tasa de respuestas válidas de por lo menos 70%. Sin embargo, resulta difícil determinar qué puede considerarse una tasa aceptable de respuestas válidas. La complejidad de la cuestión es aún mayor si se tiene en cuenta que no sólo la tasa en sí es importante, sino también la forma en que afecta la estructura de la muestra recibida. Una muestra sesgada, en la que un determinado subconjunto de la población se encuentra representado en exceso en el conjunto de datos válidos, puede resultar más grave que una tasa de respuesta "baja".

Comentarios finales

Los casos que se presentan aquí sobre estudios medioambientales contienen dos estructuras de análisis. Los dos primeros se refieren al estudio de la contaminación del aire por las emisiones de partículas contaminantes, los resultados que se obtienen son por cada fuente y sus impactos en la salud, haciendo referencia al análisis de la Teoría de costo-beneficio.

El método de valoración contingente es utilizado para analizar otras variables medioambientales, que son de interés ecológico para la comunidad. El método de VC es una técnica relativamente moderna y novedosa, pero, según sus opositores, su instrumental teórico no ha sido suficientemente probado.

La metodología utilizada en los estudios de la contaminación de aire forma parte de la teoría económica tradicional, como lo es el análisis costo-beneficio, cuyo instrumental teórico permite la seguridad en la validez de los resultados para la toma de decisiones. Sin embargo, como en todo estudio, la incertidumbre de los datos puede ocasionar que las estimaciones carezcan de exactitud.

El método de valoración contingente, si bien es cierto que en Europa y EU ha tenido aplicaciones desde aproximadamente la década de 1970, en México es poco conocido y menos aplicado, ya que en gran parte de los estudios medioambientales realizados, tanto en el ámbito nacional como local, utilizan los métodos clásicos de la Economía del Bienestar: el análisis costo-beneficio y el análisis marginal.

Podría ser interesante aplicar estos dos modelos al problema de la contaminación de aire y hacer la comparación de los resultados obtenidos por estas dos vías de análisis. Esto significaría, por un lado, aplicar la Teoría de costo-beneficio y, por otro, inspeccionar la pertinencia de la utilización del modelo de valoración contingente en el problema de contaminación atmosférica en nuestro medio.

Bibliografía

- Carson, Richard T. y Meade, Norman F., *Contingent Valuation: Controversies and evidence*, University of California, San Diego, USA, 1996.
- Field, Barry C., *Economía ambiental: Una introducción*. McGraw Hill, Colombia, 1995. (Capítulo 3: "Beneficio y costo, oferta y demanda"; capítulo 4: "Eficiencia económica y mercados"; capítulo 7: "Análisis de costo beneficio").
- Freeman, Myrick, *Control de la contaminación del agua y del aire*, Limusa, México, 1992. (Capítulo 3: "Introducción a los beneficios derivados del control de la contaminación del aire").
- Kristom, Bengt y Pere Riera, *El método de valoración contingente: Aplicaciones al medio rural español*, Barcelona, España, 1997.

- Penin, Roberto, "El valor del ruido en Barcelona", ponencia presentada en el Second Seminar on Enviromental and Resource Economic, Madrid, 1997.
- Peuportier, B. y A. Rabi, *Impact Pathway Analysis: A Tool for Improving Environmental Decision Processes*, Université de Bordeaux, París, 1994.
- Rabi, A. y Spardo, J. V., *Health Risks of Air Pollution From Incinerators: A perspective*, Centre d'Energetique, Ecole des Mines, Francia, 1997.