

## Salud y Medio Ambiente: estrategias metodológicas para valorar el impacto de los daños ambientales sobre la salud

### Health and Environment: Methodological Strategies to Assess the Impact of Environmental Damage on Health

Sandra Milena Rodríguez Acosta<sup>1</sup>, David Arturo García Torres<sup>2</sup>

#### Resumen

*Este artículo presenta distintas metodologías utilizadas para valorar los impactos que la contaminación ambiental tiene sobre la salud de la población y algunos resultados de los estudios más destacados en el tema. Estos impactos, denominados desde la economía como externalidades, cobran importancia, dado que cuando se toman las decisiones de inversión –como el tipo de tecnología utilizada en un proceso de producción o la ubicación de una planta eléctrica– es evidente que a la sociedad le interesará saber los impactos que se generarán sobre el ambiente y la salud, por tanto, al final se deberán incluir esos efectos externos en el proceso de toma de decisiones. No obstante, la estimación de los efectos de la contaminación sobre la salud trae consigo un alto grado de incertidumbre. Una parte importante de esa incertidumbre no es de carácter científico sino de los resultados de elecciones éticas y por el desconocimiento del futuro. Todo esto implica un análisis de sistemas multidisciplinarios, con aportes de los ingenieros, salubristas, epidemiólogos, ecólogos y economistas.*

**Palabras clave:** externalidad, evaluación económica, salud, contaminación ambiental.

#### Abstract

*This paper aims to present different methodologies used to assess the impact of environmental pollution on the health of the population, and some results that have been addressed by the most important studies on the subject. These impacts, known as externalities in economics, become important because when investment decisions are taken, such as the type of technology used in a production process or the location of an electrically plant, it is*

<sup>1</sup> Ph.D. en Economía. Docente investigadora Instituto de Estudios Económicos del Caribe (IEEC), Departamento de Economía Universidad del Norte. Barranquilla (Colombia).

<sup>2</sup> Magister en Economía. Profesor catedrático, Departamento de Economía Universidad del Norte. Barranquilla (Colombia).

**Correspondencia:** Sandra Milena Rodríguez Acosta. Universidad del Norte, km 5, vía a Puerto Colombia. Teléfono: +57 5 3509505. [rsandra@uninorte.edu.co](mailto:rsandra@uninorte.edu.co)

Fecha de recepción: 30 de octubre de 2014  
Fecha de aceptación: 21 de marzo de 2015

**Salud Uninorte**

Vol. 31, N° 2, 2015

ISSN 0120-5552

<http://dx.doi.org/10.14482/sun.30.1.4309>

*clear that the society will be interested to know the impacts generated on the environment and health, thus eventually these external effects must be included on the decision-making process. However, the estimation of the effects of pollution on health has a high degree of uncertainty. An important part of that uncertainty is not scientific, but derives from the results of ethical choices and lack of awareness of the future. All this implies a multidisciplinary systems analysis, with input from engineers, public health professionals, epidemiologists, ecologists and economists.*

**Keywords:** externality, economic evaluation, health, environmental pollution.

## INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas causan daños e imponen riesgos sobre el bienestar de los individuos, los ecosistemas y los bienes. Por ejemplo, la energía producida en una planta eléctrica puede emitir contaminantes que son transportados en la atmósfera y que pueden ser inhalados y ocasionar un riesgo sobre la salud; o que después de ser depositados en el ambiente terminen por afectar los ecosistemas. Los daños que ocurren de esta forma son conocidos como “externalidades” en el argot económico, y no suelen ser tomados en cuenta por la persona o institución que causa el efecto.

Con el fin de evaluar y comparar estos efectos externos y sus costos, la literatura en evaluación económica sugiere transformar estos en unidades comunes, por lo regular unidades monetarias. De esta manera, las externalidades se convertirán en costos externos ponderables.

La razón para preocuparse por estos costos externos radica en que cuando se toman las decisiones de inversión (tipo de tecnología o ubicación de una planta eléctrica, por ejemplo) es evidente que a la sociedad le interesará saber los impactos que se generarán sobre el ambiente y la salud, por tanto, se deberán incluir esos efectos externos en el proceso de toma de decisiones (internalización de los costos externos).

Para poder internalizar esos costos será necesario antes estimarlos. Es decir, conocer el costo externo adicional –o costo externo marginal– que surge cuando se implementa una alternativa de inversión. Conviene destacar que los costos externos no ocurren solamente durante la operación, sino también durante la construcción, provisión de la energía, disposición de desechos, desmontajes, etc.; es decir, el ciclo de vida completo del proyecto tiene que ser tenido en cuenta. Y para apoyar el proceso de toma de decisiones han de ser comparados los costos sociales de las inversiones alternativas, es decir, la suma de costos internos y externos. Así, si las decisiones son tomadas hoy pero las consecuencias de las decisiones se verán en el futuro, esos costos futuros también tendrán que ser estimados.

Según esta perspectiva, si al realizar cualquier proyecto se espera que este tenga algún efecto sobre la salud de la población, esos efectos harán parte de los costos del proyecto y tendrán que ser incluidos.

Existe consenso entre los expertos en salud pública sobre cómo la polución en el aire, incluso los niveles ambientales actuales, agravan la morbilidad (especialmente las enfermedades respiratorias y cardiovasculares) y conducen a la mortalidad prematura (1).

El consenso es menor en cuanto a las fuentes específicas, pero estudios recientes han identificados partículas finas como una de

las primeras causas. El costo más importante lo genera la mortalidad crónica debida a partículas (2), o la bronquitis crónica también debida a partículas (3).

La Organización Mundial de la Salud –OMS– (4) ha realizado varias evaluaciones en las que estima los impactos sobre la salud de la exposición a ambientes con aire contaminado. Por su parte, Extern E (5) ofrece una metodología contraria a la de la OMS, partiendo de la fuente de los contaminantes y calculando el daño atribuible a cada tipo de contaminante emitido.

En el caso colombiano para hacer seguimiento y evaluación a los factores contaminantes, se dio inicio con el monitoreo de la calidad y contaminación del aire en 1967 solo para de Bogotá y Medellín, sin embargo, en materia de regulación solo se emitieron conceptos a partir de 1982. Dicha regulación no fue tenida en cuenta sino hasta que empezaron los estudios de los posibles efectos de la contaminación en la salud en la década del 2000. Y con la información disponible para las ciudades principales se inició una revisión sobre los efectos de la contaminación en población infantil y población expuesta a zonas de alta concentración de contaminación.

Este artículo presenta las metodologías utilizadas para valorar los impactos que la contaminación ambiental tiene sobre la salud de la población y algunos resultados de los estudios más destacados en el tema. Para desarrollar este objetivo este artículo ha sido dividido en cinco secciones adicionales a esta introducción. En la segunda sección se presentan las metodologías de valoración del impacto que la contaminación ambiental tiene sobre la salud; en la tercera se referencian algunas aplicaciones sobre el impacto de las emisiones;

en la cuarta se presenta una revisión del estado de la información con que se cuenta para los estudios ambientales en Colombia, y por último se presenta la discusión y las conclusiones.

## METODOLOGÍAS DE VALORACIÓN DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL SOBRE LA SALUD

### El vínculo daño ambiental-estado de salud

Según Markandya *et al.* (6), los impactos del daño ambiental sobre la salud toman formas variadas. Los impactos más investigados son:

- *Impactos de contaminantes comunes del aire sobre la salud:* este tipo de evaluación incluye seguimiento y análisis de las partículas, plomo, dióxido de sulfuro, óxido de nitrógeno, monóxido de carbono y el ozono troposférico. Sustancias normalmente presentes en todas las áreas urbanas.
- *Impacto de contaminantes peligrosos o tóxicos sobre la salud:* incluye el arsénico, asbesto y el cloruro de vinilo. Los efectos de estos son más localizados en la naturaleza.
- *Impacto de la ausencia de agua y saneamiento sobre la salud:* este problema está disperso en el mundo y a menudo está asociado con la pobreza.

Para evaluar el impacto sobre la salud es necesario identificar y cuantificar el vínculo existente entre los agentes contaminantes y los impactos en la salud. Los impactos relativos a la salud más comúnmente investigados suelen clasificarse según agudeza y mortalidad prematura crónica y agudeza y morbilidad crónica (o reducción en la calidad de vida).

Para evaluar los efectos sobre la salud de un cambio ambiental se requiere establecer dos vínculos: uno que relaciona cambios ambientales y cambios en el estado de salud (cambios en mortalidad, morbilidad, enfermedades menores etc.) y otro que relaciona el impacto sobre la salud y su equivalente monetario, usando diferentes aproximaciones para obtener el valor económico del impacto sobre la salud

Freeman (7) referencia varios modelos tanto para mortalidad como morbilidad prematura. Para mortalidad prematura, por ejemplo, el modelo más aplicado es el de ciclo de vida consumo/ahorro con incertidumbre a lo largo de la vida.

En estos modelos la disponibilidad máxima que se debe pagar por la reducción de la probabilidad de morir en el período  $t$ , luego de una mejora ambiental, es medida por la riqueza que debería ser entregada a una persona para mantener su utilidad esperada constante cuando ocurre la mejora ambiental.

En cuanto a la morbilidad, estos modelos consideran los días de enfermedad como una función de la exposición a la polución, y algunas variables que describen comportamientos para evitar enfermedades y tratamientos médicos para mitigar la severidad de la enfermedad.

La disponibilidad máxima que se debe pagar por reducir la exposición a la polución es calculada como la riqueza que debe ser entregada por el individuo para mantener la utilidad constante, dada cualquier reducción en la exposición a contaminantes.

Son varios los tipos de estudios realizados para medir el impacto de la polución del aire

sobre la mortalidad y la morbilidad. Para mortalidad se utilizan:

- *Estudios de series de tiempo*: que miden el impacto de la exposición de corto-plazo sobre las tasas de mortalidad al correlacionar la variación diaria en los principales contaminantes del aire ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ , etc.) en el día ( $t-s$ ) con las muertes en el día ( $t$ ). Tales estudios suelen enfocarse sobre efectos agudos (8, 9).
- *Estudios episódicos*: que capturan el impacto de los picos de corto plazo en la exposición sobre la mortalidad<sup>1</sup>. A estos estudios se les critica que no hay una forma de medir exactamente el número de años de vida perdidos.
- *Estudios cross-section*: que examinan el impacto de las variaciones en los niveles de polución en el aire entre áreas geográficas. Estos estudios tratan de identificar los efectos agudos y crónicos.

En cuanto a la morbilidad, esta puede ser definida como la salida de un estado de bienestar físico o psicológico a uno de enfermedad o lesión. Y puede ser clasificado como crónico, de duración indefinida, o agudo, o que finaliza en un número definido de días.

El grado de discapacidad es también un indicador importante para clasificar el nivel de morbilidad. Así por ejemplo, una importante clasificación es si el individuo mantiene la habilidad para realizar sus actividades ordinarias: los “días de trabajo perdidos” serían aquellos en los que un individuo no puede

---

<sup>1</sup> Una preocupación frecuente es que las personas afectadas por exposición de corto plazo podían haber muerto de todas formas en unos pocos días o semanas por otras causas.

llevar a cabo el trabajo por el que usualmente le pagan.

Las unidades usadas para medir la ocurrencia de tal respuesta comportamental del individuo puede ser del tipo días por período para una unidad de población dada (3.4 días de trabajo perdido por año, por cada mil personas por ejemplo)<sup>2</sup>.

### **Valoración del impacto del ambiente sobre la salud**

En cuanto a la valoración de los impactos ambientales sobre la salud, estos también pueden identificarse según generen cambios en la mortalidad o en la morbilidad.

Respecto a la mortalidad prematura los estudios se basan principalmente en la estimación de la disponibilidad que se debe pagar por un cambio en el riesgo de morir. Esto es transformado en el “valor estadístico de la vida” (VSL por su sigla en inglés) al dividirlo por el cambio en el riesgo<sup>3</sup>.

En la literatura sobre economía ambiental los impactos sobre la mortalidad son valorados al multiplicar el cambio en el riesgo de morir por un valor estadístico de la vida. Para los países de la Unión Europea Markandya (10) estima un VSL a precios de 1990 en \$3.1 millones, que es similar a los resultados obtenidos para Estados Unidos.

---

<sup>2</sup> Una diferente pero relacionada aproximación es observar los “días de síntoma”, que es usado para cuantificar el nivel de la morbilidad de una enfermedad dada.

<sup>3</sup> Por ejemplo, si la disponibilidad máxima que se debe pagar es \$100 por una reducción en el riesgo de morir de 1/10000, el valor de una vida estadística es estimado como  $100 \times 10000$ , que es igual a \$1 millón.

Aunque muchas de la evaluaciones de mortalidad han estado basadas en el VSL, este método no ha sido completamente aceptado, pero hay alternativas que vienen siendo utilizadas. Una es el valor de los años de vida perdidos (VLYL por su sigla en inglés), que tiene como ventaja, frente al VSL, que tiene en cuenta factores como la edad de la persona afectada por la polución.

Otro método es el de capital humano (HCM por su sigla en inglés). La idea es que se puede calcular un límite inferior para el valor de una vida estadística evaluando el valor de los bienes y servicios que un individuo está en capacidad de producir en sus años de vida remanentes. Generalmente las ganancias antes de impuestos se asumen como una medida del valor producido por un individuo desde el punto de vista de la sociedad.

En el gráfico 1 se presenta una representación de la valoración del impacto de cambios ambientales sobre la mortalidad prematura usando el número de muertes evitadas.

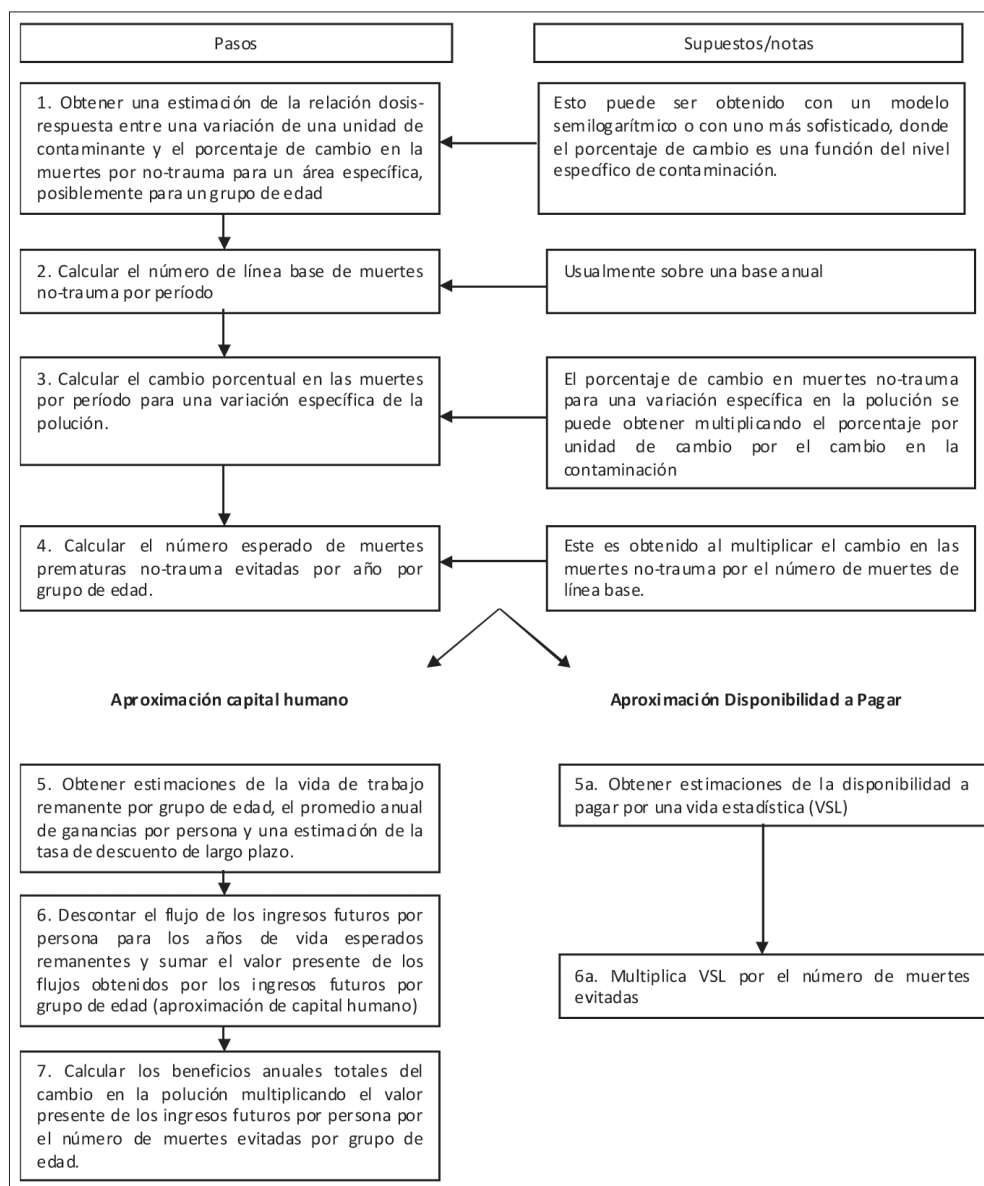
En cuanto a la morbilidad, el valor de reducir la morbilidad mediante la disminución en la polución puede estimarse, en parte, a través de la aplicación del método de valoración contingente (estableciendo una disponibilidad máxima que se debe pagar por el cambio ambiental). Esta aproximación permite estimar los costos totales o los beneficios para un individuo, como resultado de un cambio ambiental que impacta las condiciones de salud, incluyendo el malestar de la enfermedad y/o la des-utilidad de evitar cierto comportamiento. No obstante, si alguno de los costos de la enfermedad o de las medidas defensivas en contra de la polución no nacen del individuo sino que son generadas por los proveedores de atención de la salud, la disponibilidad máxima que se debe pagar calculada puede

subestimar el beneficio social resultante de una reducción de la contaminación.

Otra aproximación complementaria, simple y menos costosa, son las técnicas basadas en el mercado, tales como: (i) el costo aproximado de la enfermedad, que es considerado el costo de la productividad perdida y la atención

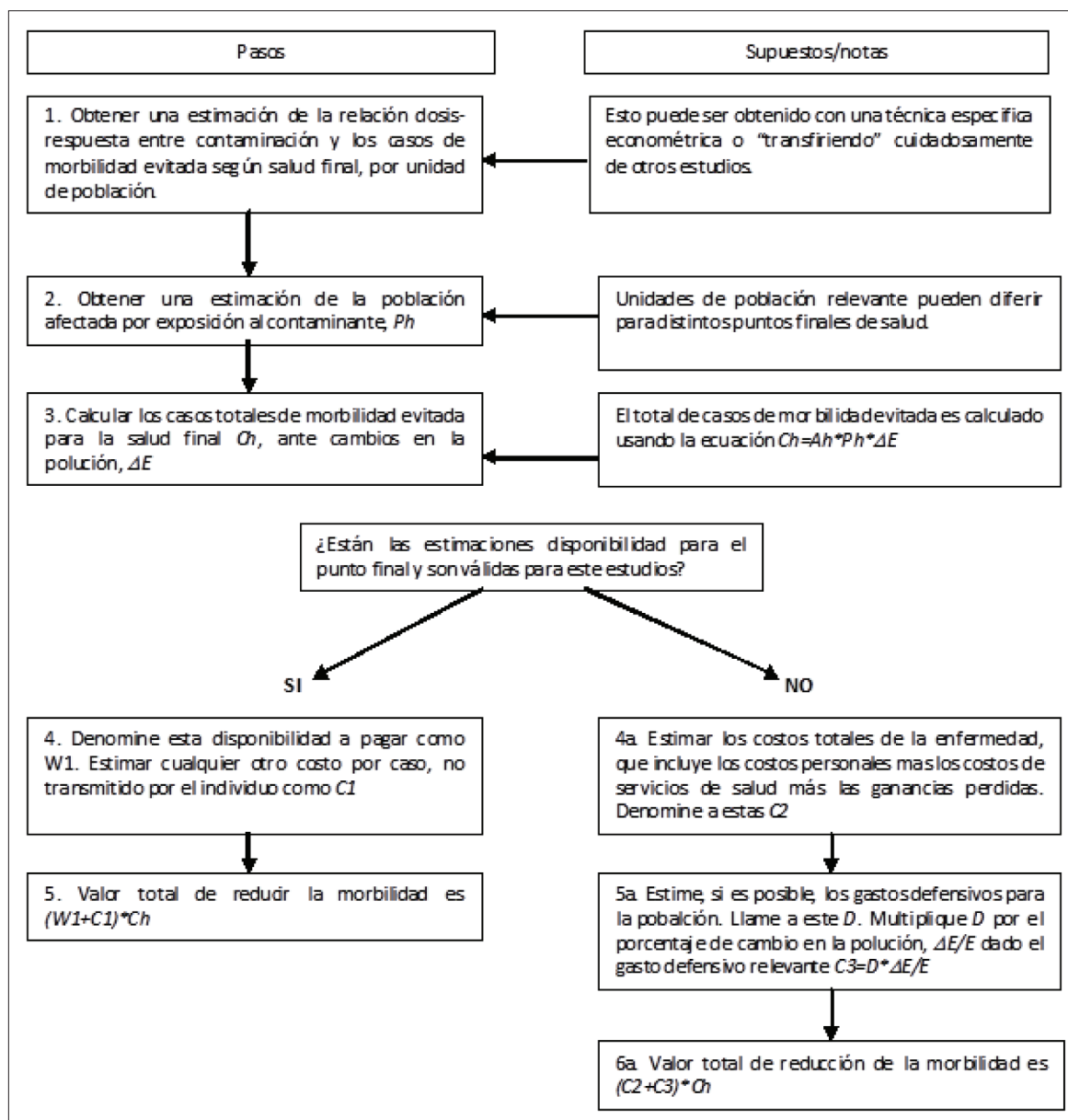
médica y (ii) la estimación de los gastos defensivos o de protección; por ejemplo, los costos de instalar doble vidrio en las ventanas o aire acondicionado.

En el gráfico 2 se presenta un esquema bastante claro sobre las metodologías usadas para evaluar los impactos sobre la morbilidad.



Fuente: adaptado de Markandya A et al. (6).

**Gráfico 1.** Procedimiento para evaluar los impactos de cambios ambientales sobre la mortalidad prematura usando el número de muertes evitadas



Fuente: adaptado de Markandya A et al. (6).

Gráfico 2. Procedimiento para evaluar los impactos de cambios ambientales sobre la reducción de la morbilidad

### Métodos de monetización

Para realizar la monetización de los impactos se utilizan las técnicas de valoración de no-mercado en funciones tipo *dosis-respuesta*. No obstante, también se identifican criterios de va-

loración monetaria que pueden ser utilizados cuando no se cuenta con estimaciones fiables.

La técnica de valoración de no mercado se usa para representar la idea de que ciertos componentes del bienestar, en la evaluación

de costos externos o en cualquier proyecto empresarial, no valoran el bienestar en precios de mercado<sup>4</sup>. Estas técnicas son necesarias para estimar el valor monetario de los cambios en el consumo de servicios ambientales.

Mitchel y Carson (11) destacan que los datos sobre el ambiente que normalmente se usan vienen ya sea de observaciones de individuos que actúan en entornos del mundo real o de las respuestas de individuos a preguntas hipotéticas que tienen como objetivo obtener las preferencias de los individuos en lo relacionado al bien o servicio ambiental.

Los métodos de valoración basados en el primer tipo de fuente de datos se denominan métodos basados en las preferencias reveladas, mientras los basados en la última se conocen como de preferencia declarada (ver cuadro 1).

A su vez, la técnica de preferencia relevada puede dividirse en métodos directos o indirectos (12). Los directos incluyen ejercicios de simulación de mercado, como la construcción de mercados reales para un bien de no mercado (ejercicio de referendos). Esta técnica incluye el uso de precios de mercado y de costos de reemplazo. En este caso, los impactos físicos son multiplicados por el precio de mercado de los bienes afectados para estimar un valor económico de uso del bien de no mercado<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Los bienes ambientales y los servicios generalmente tienen características que hace difícil o imposible que el mercado los valore. Las características de bien público de los servicios ambientales conduce a fallos de mercado en el sentido de que los individuos no son libres para variar de forma independiente el nivel de servicios que ellos consumen (7).

<sup>5</sup> Como ejemplo se podría citar el impacto de la contaminación atmosférica procedente de la generación de electricidad o de su transporte (bien de no mercado)

**Tabla 1.** Clasificación de las técnicas de valoración de no mercado

| Indirecto             | Indirecto  | Directo                |
|-----------------------|--|------------------------|
| Preferencia revelada  | Aproximación de la función de producción doméstica.  | Mercado simulado       |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de costo de viaje</li> <li>• Costos preventivos</li> </ul>   | Referendo              |
|                       | Análisis de precios hedónicos  | Precios de mercado     |
| Preferencia declarada | Elección de experimentos:  | Costos de reemplazo    |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis conjunto</li> <li>• Ranking contingente</li> <li>• Clasificación contingente</li> <li>• Comparación por pares</li> </ul> | Valoración contingente |

Fuente: adaptado de ExternE (5).

La principal ventaja de este método consiste en que se basa en el uso de los precios de mercado para derivar valores, en lugar de tener que inferirlos a través de métodos indirectos.

El método de costos de reemplazo (o de restauración) asume que los costos económicos de un bien de no-mercado pueden ser estimados mediante los precios de mercado de un bien de mercado sustituto, que puede reemplazarlo o restaurar el nivel de calidad o cantidad original del bien de no-mercado.

Autores como Navrud (12) argumentan que este método estima de forma arbitraria valores que pueden provenir de pequeñas relaciones con valores sociales –es decir, la disponibilidad a pagar por la restauración ambiental o las comodidades culturales puede ser mayor o menor que el costo de su reemplazo-. La ventaja sigue siendo que se hace uso directo de precios de mercado.

En cuanto a la técnica de preferencia revelada indirecta, esta usa la relación entre bienes de

sobre los cultivos (bien de mercado).



mercado y bienes de no-mercado, asumiendo que existe algún tipo de complementariedad o sustitución que relaciona a ambos bienes. Algunos ejemplos son: (i) *Modelos de función de producción doméstica* (cambios en el consumo de mercancías que son sustitutos o complementarios para bienes de no mercado); (ii) *método de costos de viaje* (estima el valor de uso a través de los gastos de viaje (7)); (iii) *método de comportamiento preventivo* (gastos defensivos/preventivos por reducir riesgos); (iv) *método de precios hedónicos* (estimación de precios implícitos).

La técnica de preferencia declarada es un nombre genérico utilizado para designar una variedad de técnicas que incluyen la valoración contingente y los experimentos de elección como el “ranking” contingente, elección contingente y el análisis conjunto. En esta, los investigadores plantean preguntas contingentes o hipotéticas a los encuestados, induciendo en las respuestas que existe un *trade-off* entre las mejoras en bienes y servicios públicos y el dinero. A partir de las respuestas se infiere las preferencias hipotéticas que tienen los individuos por esos bienes.

## ALGUNAS APLICACIONES: IMPACTO DE LAS EMISIONES SOBRE LA SALUD

ExternE (5) propone como método de valoración monetaria la técnica senda de impacto (*impact pathway*); esta técnica requiere una estimación del impacto en términos físicos, y la valoración del impacto se basa en las preferencias de los individuos afectados. Esta técnica ha sido bastante aplicada en la medición del impacto sobre la salud humana<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> No obstante en otras áreas distintas a salud no ha sido suficientemente aplicada debido a la ausencia de datos; es el caso de la acidificación y eutrofización de los ecosistemas.

Para calcular los costos externos de actividades generadoras de polución, tales como la producción de energía, es necesario efectuar un análisis de senda de impacto (IPA por sus siglas en inglés), trazando el camino de la polución desde donde esta es emitida hasta los receptores afectados (población, cultivos, bosques, edificios, etc.).

Los pasos principales del análisis IPA son los siguientes:

- *Emisión*: especificación de las tecnologías pertinentes y contaminantes; por ejemplo, kg de óxido de nitrógeno (NOx) por GWh emitido por una central eléctrica en un lugar específico.
- *Dispersión*: cálculo del aumento de la concentración de contaminantes en todas las regiones afectadas. Por ejemplo, concentración incremental del ozono, o el uso de modelos de dispersión atmosférica (a este paso también se le llama “análisis ambiental de destino”).
- *Impacto*: cálculo de la dosis de la mayor concentración, seguido por el cálculo de los impactos (daños en unidades físicas) de esta dosis, utilizando una función dosis-respuesta; por ejemplo, los casos de asma debido a este aumento en el ozono.<sup>7</sup>
- *Costos*: evaluación económica de ese impacto, es decir, multiplicando por el costo de un caso de asma.

<sup>7</sup> La más amplia referencia sobre los impactos sobre la salud se encuentran en la bases de datos IRIS de EPA, <http://www.epa.gov/iris/idex.html>.

**Tabla 2.** Visión general de los métodos usados en ExternE para cuantificar y valorar impactos

|  | POLUCIÓN DEL AIRE            |   |                   | Calentamiento global         |
|--|------------------------------|---|-------------------|------------------------------|
|  | Salud pública                | Agricultura, materiales de construcción | Ecosistemas       |                              |
| ExternE, aproximación de senda de impacto "clásica"  |                              |   |                   |                              |
| Cuantificación de impacto                            | Si                           | Si                                      | Si, carga crítica | Si, Parcial                  |
| Valoración   | Disponibilidad a pagar (WTP) | Precios de mercado                      |                   | Si, WTP y precios de mercado |
| Extensión: valoración basada en preferencia revelada |                              |   |                   |                              |
| Negociación de política                              |                              |   | UN-ECE; NEC       | Implementado en Kyoto, EU    |
| Referendo político                                   |                              |   |                   | Referendo suizo              |

**Fuente:** adaptado de Externe (5).

El logro de la valoración monetaria de los daños es tomar en cuenta todos los costos de mercado y no mercado. Así, la evaluación de un ataque de asma debería incluir no solamente los costos del tratamiento médico sino también la disposición que se debe pagar por evitar los sufrimientos colaterales. A su vez, dado que los costos de los daños de la contaminación del aire están dominados por productos de no-mercado, especialmente la mortalidad, si la disposición que se debe pagar por un bien de no-mercado se ha determinado correctamente, será como un precio, en consonancia con los precios pagados por los bienes en el mercado.

Los gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{NO}_2$ ) permanecen en la atmósfera lo suficiente como para mezclarse de manera uniforme en todo el globo. Ningún cálculo de dispersión sería entonces necesario, pero el cálculo de los impactos es bastante complejo, como se observa en los documentos publicados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por su sigla en inglés). Para la mayoría de otros contaminantes atmosféricos en particular, las  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ , la disper-

sión atmosférica es significativa a lo largo de cientos a miles de kilómetros, por lo que sus efectos son tanto locales como regionales. ExterneE (5) utiliza una combinación de modelos de dispersión local y regional para dar cuenta de todos los daños significativos.

Los principales modelos de la gama local (<50 km de la fuente) han sido los *modelos de pluma gaussiana ISC* (13) para las fuentes puntuales como las centrales eléctricas; y *ROADPOL* para las fuentes de las líneas (las emisiones generadas por el transporte) (14).

A escala regional es necesario tener en cuenta las reacciones químicas que conducen a la transformación de contaminantes primarios (es decir, los contaminantes que se emiten) a contaminantes secundarios, por ejemplo, la creación de sulfatos de  $\text{SO}_2$ . ExterneE utiliza el *modelo de Trayectoria Windrose*<sup>8</sup> (WTM por su sigla en inglés) (15) para estimar la concentración y la deposición de especies ácidas.

<sup>8</sup> El modelo WTN es un modelo lagrangiano cuya trayectoria es configurable por el usuario, y es derivado del *modelo de Trayectoria Harwell* (29).

En los años recientes muchos estudios han tratado de cuantificar el impacto de la mortalidad debida a la polución del aire (ver referencias 16 a 24). Mientras todos los estudios anteriores a 1996 calculaban el número de muertes prematuras y aplicaron un valor de muertes prevenidas (*value of a prevented fatality*) para obtener un valor monetario de estas muertes, en los últimos años ha habido un creciente reconocimiento de que es más significativo observar no la mortalidad prevenida sino la expectativa de vida (27 y 28).

Como lo destacan los distintos estudios, es difícil y costoso medir el impacto total (de corto y largo plazo) de la polución del aire, y hay solamente unos pocos estudios de largo plazo disponibles. Sin embargo, varios estudios epidemiológicos han tratado de medir los impactos de largo plazo de la polución del aire sobre la mortalidad. Dos de estos estudios (30 y 31) han encontrado correlación positiva entre la exposición a partículas y mortalidad; mientras el tercero (32) encontró una correlación positiva con la mortalidad para los hombres pero no para las mujeres. El impacto sobre la mortalidad en el largo plazo también fue probado en un estudio para los Países Bajos (33).

Dado que el riesgo relativo se refiere a un incremento en la mortalidad para una edad específica, un cálculo más elaborado implica la elaboración de datos de tablas de vida para encontrar los correspondientes años de vida perdidos.

La Comisión Europea (18) y Rabl y Spadaro (34) reportaron unos cálculos relativamente simples del estado del arte. Un más detallado análisis dinámico fue realizado por ExternE (22), con resultados similares. El más amplio análisis dinámico fue publicado por Leksell y

Rabl (35), quienes evaluaron la sensibilidad de los resultados frente a algunos supuestos.

Woodruff et al. (36) realizaron un análisis de cohorte para 4 millones de infantes en los Estados Unidos, y mostraron que la mortalidad post-neonatal entre las edades de un mes a un año estuvo asociada con una concentración media en el aire de  $PM_{10}$  en los primeros dos meses de vida; en los casos de análisis el resultado se debe a un cambio en la función concentración-respuesta en todas las causas de mortalidad infantil de 4% por  $10 \mu g/m^3$ .

## EVIDENCIA PARA COLOMBIA

La estructura regulatoria en Colombia entiende la contaminación como la alteración del ambiente a través de sustancias, o formas de energía, por actividad humana o de la naturaleza, en niveles de concentración capaces de interferir en el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y la fauna, degradar la calidad del ambiente de los recursos de la nación o de los particulares (37).

Se tiene registro de monitoreo de la calidad del aire desde 1967 para Bogotá y Medellín (38), 15 años antes de que se aprobara el reglamento del aire y las responsabilidades de control de contaminación del aire, Decreto 02 de 1982. Durante ese año, el Ministerio de Salud y la Organización Panamericana de la Salud–OPS–instalaron seis estaciones de monitoreo, las cuales funcionaron entre 1967 y 1974, pero no generaron evidencia suficiente de los efectos en la salud (38). Posteriormente, en 1996 el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales estimó las emisiones atmosféricas de gases con efecto local en 8612 kilo-toneladas, de las cuales el monóxido de carbono representó el 58 % (39).

Según el análisis realizado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (40), 41 % del total de las emisiones, generado en su mayoría por combustibles fósiles, es producido en ocho ciudades de Colombia.

La participación de los distintos sectores en la contaminación del aire es: 86 % por transporte terrestre, 8 % por la industria, 3 % termoeléctricas, 2 % por el sector residencial y comercial y 1 % por el transporte aéreo (40).

Según Tyler *et al.*, en el CONPES 3344 de 2005 hay evidencia de una discontinuidad vertical con la política establecida a nivel nacional, ya que las autoridades ambientales han desarrollado instrumentos normativos y de política general que son construidos de manera aislada y sin obedecer a los lineamientos de política entre las entidades del orden ambiental y sectorial (43).

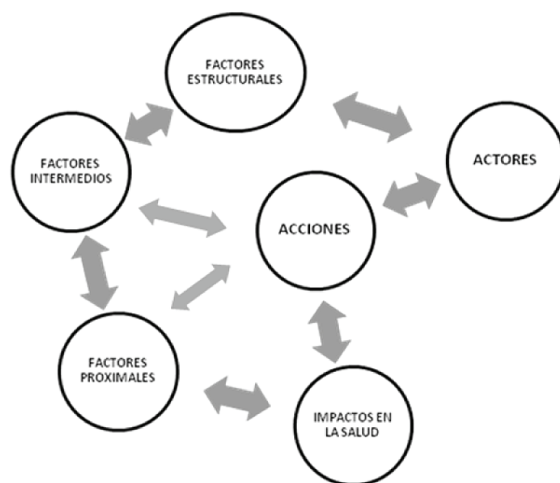
Algunos estudios realizados por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial entre 2007 y 2010 en cinco ciudades demostraron que los niños que van a jardines infantiles y están expuestos a mayor contaminación tienen 1,7 veces más riesgo de ausentismo escolar por enfermedad respiratoria respecto a los no expuestos. Adicionalmente, dichos estudios encontraron que por incrementos de 10 y 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentración diaria de  $\text{PM}_{2,5}$  aumentan las consultas por enfermedad respiratoria en un 13 y 24%, respectivamente, y que las consultas por enfermedad pulmonar obstructiva crónica aumentan 13% por incrementos de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$  y 28% por incrementos en 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2,5}$  (42).

Antes de 2005 no se tenían en cuenta los posibles efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud; fue a partir de ese año que se determina, por ejemplo, que para la ciudad de

Bogotá los aumentos en las concentraciones de material particulado en el aire (TSP por su sigla en inglés) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) están relacionados positivamente con el número de hospitalizaciones por enfermedades respiratorias agudas (ERA) (38). Según Uribe (38), mientras que un aumento del 50% en la concentración de TSP aumentó la ERA diaria en un 120%, un aumento del 100% en la concentración de  $\text{NO}_2$  aumentó la ERA diaria 12%; y no se detectaron efectos del ozono sobre esta patología.

Por otra parte, también fueron estudiados los efectos económicos de la contaminación atmosférica sobre la salud de los niños. Los índices de contaminación  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{PM}_{10}$  muestran una relación positiva con tasas de morbilidad de niños menores de cinco años, e indica que el efecto es mayor en menores de un año (40). Urdaneta encontró asociaciones estadísticamente significativas entre la concentración de  $\text{PM}_{10}$  y la mortalidad asociadas a infecciones respiratorias agudas (IRA) (41); y a su vez, el estudio realizado por Maturana estima a través de metodología de valoración contingente los costos económicos de la morbilidad por IRA en Bogotá, y encontró que la disposición que se debe pagar por evitar un episodio de enfermedad, causado por la contaminación del aire, en un día es de \$4,3 dólares (42).

García *et al.* (44), en respuesta a la iniciativa planteada en el CONPES 3344, estudiaron la salud ambiental en las ciudades colombianas entre 2008 y 2009 enfatizando en la contaminación atmosférica utilizó la metodología de evaluación ambiental estratégica, e identificaron cinco temas fundamentales asociados a la política: planificación urbana; movilidad y transporte; industria y servicios; fuentes de energía y gestión del riesgo.



**Fuente:** García et al. (44) tomado de la USA Environmental Protection Agency y la Secretaría de medio ambiente y recursos naturales de México.

**Gráfico 3.** Modelo conceptual para determinación de relaciones causa-efecto

Los autores encontraron que para las ciudades colombianas el principal eje temático en cuanto a política de salud ambiental es la planeación urbana. En los diferentes estudios ambientales hechos en Colombia se observa que no existe una seria interrelación con otras investigaciones sobre los efectos en la salud. De manera similar, los estudios de salud dejan de lado la parte ambiental dentro de sus resultados; lo cual no permite una articulación adecuada de la información científica, que para el caso de la contaminación ambiental es clave en los procesos de toma de decisiones, según García *et al.* (44).

Martínez *et al.* (45) evaluaron el efecto de la contaminación atmosférica en la salud de la población de la ciudad de Medellín y su Área Metropolitana diseñando un estudio transversal de asociación, en el cual examinaron dos grupos: uno de personas expuestas a materiales contaminantes en actividades laborales y un grupo de control para medir

el impacto. Según la encuesta, el 78,1 % de los entrevistados reportó una mala calidad en el aire, lo cual los afecta en su salud física y mental.

**Tabla 3.** Promedio de percepción del impacto por causa de la contaminación atmosférica

| Variable   | <60 µg/m <sup>3</sup> * | >30 µg/m <sup>3</sup> * | D(%)  | t     | p    |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|------|
| Salud      | 3.41                    | 1.48                    | 56.6  | 331.1 | 0.00 |
| Mental     | 2.48                    | 0.65                    | 73.79 | 272.5 | 0.00 |
| Económico  | 2.32                    | 0.85                    | 63.36 | 185.3 | 0.00 |
| Laboral    | 2.19                    | 0.83                    | 62.1  | 133.1 | 0.00 |
| Recreativo | 2.16                    | 0.65                    | 69.91 | 169.9 | 0.00 |
| Familiar   | 1.96                    | 0.6                     | 69.39 | 142.2 | 0.00 |

\*Los valores expresan el promedio de la intensidad del impacto percibido para cada variable, escala (0-5)

**Fuente:** Martínez et al.(45).

Como se observa en el cuadro 3, los resultados dan muestra de la existencia de una mayor percepción de los efectos negativos en los individuos expuestos en comparación con la de los no expuestos. Adicionalmente, el estudio realizó una revisión de los factores asociados a mortalidad y morbilidad por diferentes contaminantes y su incidencia sobre algunas patologías respiratorias. La evidencia recogida por los autores permite concluir que la contaminación atmosférica produce efectos nocivos en la función respiratoria de sus habitantes, lo cual genera cuadros clínicos y neuropsicológicos, y posiblemente influye en la mortalidad por cardiopatías o cáncer (44).

Franco *et al.* (46) tomaron datos de una caracterización realizada para la ciudad de Bogotá en los ambientes próximos a zonas escolares y estudiaron los niveles de material particulado respirable (PM<sub>10</sub>), material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>) y carbono elemental (BC) en microambientes intramurales y exteriores

de cuatro colegios distritales de la ciudad. Tres de estos colegios estaban ubicados en inmediaciones de vías principales, consideradas de alto tráfico vehicular. Los resultados señalan que las concentraciones promedio de contaminación reportadas sugieren que los menores en edad escolar en Bogotá se encuentran expuestos a niveles de contaminación nocivos para la salud.

**Cuadro 4.**  $PM_{2.5}$   $PM_{10}$  ratios

|  | Exterior             |                | Interior             |                |
|--|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
|  | $PM_{2.5}$ $PM_{10}$ | R <sup>2</sup> | $PM_{2.5}$ $PM_{10}$ | R <sup>2</sup> |
| Escuelas en caminos no congestionados                | 0.73                 | 0.81           | 0.77                 | 0.89           |
| Escuelas en caminos de buses de tráfico convencional | 0.81                 | 0.92           | 0.78                 | 0.86           |
| Escuelas en caminos de buses de tránsito rápido      | 0.78                 | 0.94           | 0.58                 | 0.91           |

**Fuente:** Franco, Rojas, Sarmiento y Behrentz. (46)

Para Ramírez *et al.* (47), el efecto sobre las vías respiratorias a partir del material particulado contaminante en aire no ha sido fácil de determinar debido a la limitada información sobre Colombia. Sin embargo, utilizando solo la exposición a contaminantes del aire libre como  $PM_{10}$  para varias escuelas proporcionan una línea de base para la evaluación longitudinal de la aptitud cardio-respiratoria en niños.

Según Vargas, Rojas Pachon y Russell (48), la concentración promedio anual de  $PM_{10}$  en la ciudad de Bogotá es de  $55\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y alcanza  $90\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la región occidental de la ciudad. Este estudio encontró que la contaminación por material particulado de materiales carbonosos representan casi el 85 % de las  $PM_{10}$  en estos sitios residenciales

estudiados, mientras que la fracción iónica es inferior al 8 %, la cual es relativamente baja en comparación con las mediciones en otras ciudades. Los autores recomiendan quedado que las partículas de carbono en el ambiente comprenden una gran fracción de la  $PM_{10}$  en el oeste de Bogotá, las políticas de reducción de las  $PM_{10}$  se deben orientar a las carreteras sin pavimentar, control de la erosión y el control de las fuentes de combustión, especialmente de los vehículos diesel y de las industrias que utilizan carbón.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La estimación de los efectos de la contaminación sobre la salud trae consigo un alto grado de incertidumbre. Una parte importante de esa incertidumbre no es de carácter científico (datos y la incertidumbre del modelo) sino de los resultados de elecciones éticas (por ejemplo, valoración de los años de vida perdidos en diferentes regiones del mundo) y la incertidumbre sobre el futuro, lo cual implica la necesidad de llegar a acuerdos.

En términos generales, es difícil para los epidemiólogos atribuir un impacto en la salud a un determinado contaminante, porque las poblaciones están expuestas a una mezcla de diferentes contaminantes que tienden a estar altamente correlacionados entre sí. La conclusión de que la contaminación del aire daña a la salud es mucho más cierta que la atribución del daño a un contaminante determinado. Por esta razón, algunos epidemiólogos, especialmente en Francia, hacen hincapié en que cualquiera de los contaminantes individuales no es más que un indicador de la contaminación y que la atribución de un impacto a un contaminante específico es muy incierta (49).

Adicionalmente, la función concentración-respuesta que se ha construido para diferentes poblaciones puede reflejar diferentes sensibilidades; lo cual puede deberse a diferencias en las combinaciones de polución local, sin decir nada de las diferencias en metodología.

No es sorprendente que diferentes estudios encuentren diferentes resultados: algunos, para empezar, encuentran fuertes efectos de SO<sub>2</sub>, mientras otros no. En algunos casos con análisis de los mismos datos y con mejoras metodológicas se han obtenido resultados que son apreciablemente diferentes. Por esta razón se recomienda el uso de resultados obtenidos tanto en Europa como en Estados Unidos, más que los valores de un país específico.

En Colombia, la regulación ha promovido el seguimiento y monitoreo de la calidad del aire a nivel urbano, lo cual ha contribuido a generar estudios sobre los efectos de la contaminación en la salud y consideraciones de políticas pública. Sin embargo, este seguimiento se realiza de manera parcial, pues es solo para algunas ciudades del país (dejando por fuera los efectos de contaminantes sobre zonas rurales y cuerpos acuíferos), y en donde se logran monitorear los contaminantes, la información no es actualizada de manera constante.

De acuerdo con Tyler *et al.* (43), en Colombia existen importantes retos en temas ambientales; a pesar de que se han implementado medidas para tener un control y un seguimiento más efectivo, las autoridades ambientales y los entes de control tienen falencias que frenan las medidas ambientales. Teniendo en cuenta las recomendaciones realizada por Rojas y Vargas (50), se hace necesario una mayor capacitación de los funcionarios encargados

de tomar estas medidas, así como mejorar la capacidad tecnológica.

Por último, a partir de esta revisión es posible identificar la importancia que tiene la valoración de los costos externos que generan los daños ambientales. En el caso específico de la salud, ya se cuenta con metodologías que vienen siendo utilizadas de manera creciente en los países desarrollados, cuya posibilidad de réplica depende de la disponibilidad de información y de la comprensión de la importancia que tiene identificar y valorar los efectos de la contaminación ambiental sobre la salud de la población.

Con la información disponible para las principales ciudades de Colombia, y las cuentas Satélite Ambiental del DANE, es posible valorar los efectos que generan los daños ambientales en poblaciones vulnerables, lo cual contribuye a mejorar aspectos asociados a la toma de decisiones de política pública.

**Conflicto de interés:** ninguno.

**Financiación:** Este trabajo fue desarrollado durante la realización del Máster en Economía Aplicada de la Universidad Autónoma de Barcelona. Se agradece el soporte financiero del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia –Colciencias– y la Universidad del Norte.

## REFERENCIAS

1. Wilson R, Spengler J. *Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects*. Cambridge, MA: Harvard University Press;1996.
2. Pope C, Burnett R, Thun M, Calle E, Krewski D, Ito, K, Thurston G, Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *J. Amer. Med. Assoc* 2002;287(9):1132-41.

3. Abbey D, Lebowitz M, Mills P, Petersen F, Lawrence W, Burchette R. Long-term Ambient Concentrations of Particulates and Oxidants and Development of Chronic Disease in a Cohort of Nonsmoking California Residents. *Inhalation Toxicology* 1995;(7):19-34.
4. OMS. Heath Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide, Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany: World Health Organisation; 2003. <http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>.
5. ExternE. Externalities of Energy Methodology 2005 Update. Institut für Energiewirtschaft and Rationelle Energieanwendung-IER-Universität Stuttgart. Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems; 2005.
6. Markandya A, Harou P, Bellú L, Cistulli V. *Environmental Economics for Sustainable Growth. A Handbook for practioners*. WB;2002.
7. Freeman A. *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods*. Washington, D. C: Resource for the Future;2003.
8. Ostro B. Estimating the Health Effects o Fair Pollutants. A Method with an Application to Jakarta. Policy Research Working Paper World Bank. Washington, D. C.;1994(p. 1301).
9. Schwartz J. Particulate Air Pollution and Chronic Respiratory Disease.*Environmental Resources*1993;62:7-73.
10. Markandya A.External Costs of Electricity: Valuation of Health Impacts. En: *Electricity, Health and the Environment: Comparative Assessment in Support of Decision-Making*. Vienna: International Atomic Energy Agency;1996. p. 199-214.
11. Mitchell R,Carson R.Using Surveys to Value Public Goods: the Contingent Valuation Method. Washington, D. C.:Resources for the Future;1989.
12. Navrud S. Value Transfer and Environmental Policy. 2004(5):189-217. En: Tietenberg T, Folmer H. *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2004/2005. A survey of Current Issues*. Cheltenham, UK and Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing; 2004.
13. Brode R, Wang J. *User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC2) Dispersion Model*. US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711;1992. p. 1-3.
14. Vossiniotis G, Arabatzis G, Assimacopoulos D. Dispersion Modelling on Local Scale in the Externe Transport Project. Roadpol: A Gaussian Dispersion Model for Line Sources. *Internal Report National Technical University of Athens*. Department of Chemical Engineering;1996.
15. Trukenmüller A, Friedrich R EcoSense -An Integrated Tool for Environmental Impact Analysis. En: Kremers H, Pillmann W, ed. *Space and Time in Environmental Information Systems Metropolis*. Marburg;1995.
16. ORNL/RFF (Oak Ridge National Laboratory and Resources for the Future). *External costs and benefits of fuel cycles: A study by the U.S. Department of Enenergy and the Commission of the European Communities*. Oak Ridge, Tennessee;1994.
17. Rowe, R, Lang, C, Chestnut, L, Latimer D, Rae D, Bernow, S, White D. *The New York Electricity Externality Study*. Dobbs Ferry, NY: Oceana Publications; 1995.
18. European Commission *ExternE Externalities of Energy. Methodology Update. A Report produced for the EC - DG XII*.Luxembourg:Office of Publications for the European Communities;1999. p.7.
19. European Commission *ExternE Externalities of Energy. Global Warming. A Report produced for the EC - DG XII*, Office of Publications for the European Communities, Luxembourg;1999. p. 8.
20. European Commission *ExternE Externalities of Energy. Fuel Cycles for Emerging and End-Use Technologies, Transport and Waste. A Report produced for the EC - DG XII*.Luxembourg:Office of Publications for the European Communities;1999. p. 9.



21. European Commission *ExternE Externalities of Energy. National Implementation. A Report produced for the EC - DG XII*. Luxembourg: Office of Publications for the European Communities; 1999. p. 10.
22. ExternE External Costs of Energy Conversion – Improvement of the Externe Methodology And Assessment Of Energy-Related Transport Externalities. Final Report for Contract JOS3-CT97-0015, published as *Environmental External Costs of Transport*;2000.
23. Levy H, Mayoral W, Collier K, Tio T, Fracomo C Gastroesophageal Reflux and Irritable Bowel Syndrome in Classical and Hypermobile Ehlers Danlos Syndrome (EDS). *Am J Hum Genet*; 1999;65(A69).
24. Levy J, Hammitt J, Yanagisawa Y, Spengler J Development of a New Damage Function Model for Power Plants: Methodology and Applications. *Environ. Sci. Technol*1999;33:4364-4372.
25. ABT The Particulate-Related Health Benefits of Reducing Power Plant Emissions. Abt Associates Inc; 2000.
26. Kuenzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Herry Me t al. Public Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution: a European Assessment. *Lancet* 2000;356:795-801.
27. McMichael A, Bolin B, Costanza R, Daily G, Folke C, Lindahl-Kiessling K, Lindgren E, Niklasson B. Globalization and the Sustainability of Human Health. *BioScience*1999;49(3):205-210.
28. Wilson R, Crouch E. *Risk-Benefit Analysis*. Boston: Harvard University Press;2001.
29. Derwent R, Nodop K. Long-range Transport and Deposition of Acidic Nitrogen Species in North-west Europe. *Nature* 1986;324:356-358.
30. Dockery D, Pope C, Xu X, Spengler J, Ware J, Fay M et al. An Association between Air Pollution and Mortality in Six US Cities. *New England J of Medicine*1993;329:1753-1759.
31. Pope C, Thun M, Namboordiri M, Dockey D, Evans J, Speizer F et al. Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S Adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;51:669-674.
32. Abbey D, Nishino N, McDonnell W, Burchette R, Knusten S, Beeson, W et al. Long-Term Inhalable Particles and Other Air Pollutants Related to Mortality in Nonsmokers. *Am. J. Respir. Crit. Care Med* 1999;159:373-382.
33. Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, Fischer P, Van den Brandt P. Association Between Mortality and Indicators of Traffic-related Air Pollution in the Netherlands: A Cohort Study. *The Lancet* 2002;360(9341):1203-1209. Doi: 10.1016/S0140-6736(02)11280-3
34. Rabl A, Spadaro J. Environmental Damages and Costs: an Analysis of Uncertainties. *Environment International*1999;25:29-46.
35. Leksell L, Rabl A. Air Pollution and Mortality: Quantification and Valuation of Years of Life Lost. *Risk Analysis* 2001;21(5). Doi: 10.1111/0272-4332.215156
36. Woodruff T, Grillo J, Schoendorf K. The Relationship between Selected Causes of Postneonatal Infant Mortality and Particulate Air Pollution in the United States. *Environ Health Perspect*1997;105:608-612.
37. Barrero J. La contaminación ambiental como delito de resultado. *Estudios en Derecho y Gobierno* (Bogotá, D. C.)2008;1(1):79.
38. Uribe E *Air Pollution Management In Two Colombian Cities: Case Study* Documento CEDE;2005. p. 3.
39. Téllez J, Rodríguez A, Fajardo A. Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. *Revista de Salud Pública* 2006;8(1):108-117.
40. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire*. Bogotá, D. C.;2010.
41. Urdaneta S. Mortalidad por Infecciones Respiratorias Agudas y Contaminación de Aire: Una Estimación de Funciones Dosis-respuesta para Bogotá. Tesis de Maestría, Facultad de Economía Universidad de los Andes, Bogotá, D. C., Colombia, 1999.
42. Maturana J. Disponibilidad a pagar por daños a la salud de la contaminación atmosférica

- rica. Tesis de Maestría, Facultad de Economía Universidad de los Andes, Bogotá, D. C., Colombia, 2000.
43. Tyler N, Ramírez C, Acevedo J, Bocarejo J, Velásquez J, Peroza A, Galarza D. *Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia* (documento borrador). University College London (UK) - Universidad de los Andes (Colombia);2013.
  44. García C, García J, Vaca M. Políticas de salud ambiental, con énfasis en contaminación atmosférica e infancia, en ciudades colombianas. *Revista de Salud Pública* 2012;14(2):100-112.
  45. Martínez E, Quiroz C, Daniels F, Montoya A. *Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población de Medellín y su Área Metropolitana*. Medellín: Centro de Investigaciones de la Facultad de Salud Pública de la Universidad de Antioquia; 2008.
  46. Franco J, Rojas N, Sarmiento O, Behrentz E. Urban air pollution in school-related microenvironments in Bogota, Colombia. *Ingeniería e Investigación* 2013;33(2):42-48.
  47. Ramírez A, Sarmiento O, Duperly J, Wong T, Rojas N, Arango C *et al*. Should they play outside? Cardiorespiratory fitness and air pollution among schoolchildren in Bogotá. *Revista de Salud Pública* 2012;14(4):570-583.
  48. Vargas F, Rojas N, Pachon J, Russell A PM<sub>10</sub> characterization and source apportionment at two residential areas in Bogota. *Atmospheric Pollution Research* 2012;3:72-80.
  49. ERPURS Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique et santé (Analysis of short term correlations between air pollution and health). Evaluation des Risques de la Pollution Urbaine sur la Santé. *Observatoire Régional de Santé d'Ile-de-France* 1997:21-23.
  50. Rojas N, Vargas F. Evaluación de la medición de emisiones con fines regulatorios: dos estudio de casos. *Revista de Ingeniería* 2009;30:112-121.