

# El costo económico de la contaminación del aire por $PM_{10}$ en Lima Metropolitana: un análisis exploratorio<sup>1</sup>

Carlos Orihuela y Flor Rivera – UNALM



Foto CIES

Para estimar el costo económico de la mortalidad por CCA se utilizan dos métodos. El primero es el enfoque de capital humano; el segundo es el valor de una vida estadística, que estima la disponibilidad del individuo a pagar por evitar la muerte prematura vinculada a la contaminación del aire.

## Introducción

Al ser la economía peruana dependiente de la extracción y venta de recursos naturales resulta, por ende, muy sensible, no solo a las variaciones de los precios de tales recursos sino también a sus niveles de reservas y extracción. Esto es particularmente importante para un país altamente dependiente de estos recursos, en donde las favorables perspectivas de la economía peruana hacia el futuro conllevarían también a mayores niveles de extracción y, por tanto, a problemas ambientales.

Al margen de una eventual mejora tecnológica, la cual podría reducir la intensidad de uso de los recursos naturales, el crecimiento económico provocaría una mayor extracción de los mismos, lo cual conllevaría a una inevitable reducción en el stock natural (al

margen de nuevos descubrimientos) y, eventualmente, reduciendo las posibilidades de desarrollo futuro. Esto ha sido analizado en diversos estudios que evalúan el costo del agotamiento de los recursos naturales no-renovables.

En el Perú se han efectuado estudios que estiman este costo a nivel sectorial. Los trabajos pioneros fueron Tamayo (1994) y García (1995) para los sectores hidrocarburos y pesca, respectivamente. Pasco-Font et al. (1996) y Orihuela y Ponce (2004) hicieron lo propio para el sector minero. Recientemente, Orihuela (2008) y Figueroa et al. (2010) deducen no solo el valor económico de la depreciación natural sino también la degradación ambiental de las medidas de ingreso sectorial (PIB y PNN) de hidrocarburos y minería para los períodos 1992-2007 y 1992-2006, respectivamente. Todos ellos coinciden en que el valor (económico) de la depreciación natural equivale a una fracción significativa del ingreso sectorial.

A pesar de la relativa abundancia de este tipo de estudios sobre recursos naturales, poco se ha avanzado en materia de costo económico de la degradación ambiental en el Perú. Evaluar el costo económico de la contaminación ambiental es relevante, por ejemplo, para construir indicadores de ingreso verde, en donde se requiere deducir la degradación ambiental para estimar medidas inclusivas de ingreso y, en general, evaluar medidas de política ambiental.

En el Perú, la mayor parte de la contaminación ambiental en el aire proviene de las emisiones de fuentes móviles de los automóviles (SENAMHI, 2011), y es de esperarse que se acentúe con mayor intensidad en la ciudad de Lima Metropolitana. Estas emisiones contienen dióxido de azufre ( $SO_x$ ), nitrógeno ( $NO_x$ ), ozono ( $O_3$ ) y material particulado  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ , siendo este último el contaminante de mayor peligrosidad para la salud de la población (PISA, 2005)<sup>2</sup>.

Estas concentraciones son generadas, principalmente, por el aumento del parque automotor, el cual es responsable de un 70-80% de las emisiones totales de contaminantes en el aire, mientras que el porcentaje restante corresponde a las actividades industriales (PISA, 2005). El principal problema de la contaminación ambiental en el aire se relaciona con

1 Este artículo ha sido elaborado en base al informe: "Incluyendo el agotamiento de los recursos naturales en las cuentas nacionales: evidencia peruana en el período 1994-2011", financiado por el Fondo de Estados y Consultorías Belga Peruano y operado por el CIES, a solicitud de la UNALM. Se agradecen los comentarios de un evaluador anónimo. Como es de costumbre, cualquier error u omisión es exclusiva responsabilidad de los autores.

2 Primer Plan Integral de Saneamiento Atmosférico 2005-2010 (PISA, 2004). Comité de gestión iniciativa Aire limpio Lima-Callao. Ministerio de Vivienda.

los efectos sobre la salud de la población, tales como enfermedades respiratorias y cardiovasculares (EPA<sup>3</sup>, 1999 y OMS, 2011<sup>4</sup>).

El objetivo del presente estudio es aportar a la literatura económica estimando el costo de la contaminación ambiental en el aire (CCA) que afectó a la salud de la población de Lima Metropolitana durante el período 1994-2011. Dadas las limitaciones de información, se efectuó este cálculo -a manera exploratoria- solo para el PM<sub>10</sub>. Esto es un punto de partida para evaluar opciones de gestión ambiental en un esquema de acciones beneficio-costos. La hipótesis del estudio es que este costo es altamente significativo para el país.

## Revisión de literatura

En la literatura, pocos estudios han evaluado el costo económico de la contaminación sobre el componente aire. Inicialmente, se mide el impacto en la salud asociado a los niveles de concentración de ciertos elementos contaminantes en el aire como PM<sub>10</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, entre otros. Paso seguido, este impacto es monetarizado utilizando, generalmente el método transferencia de beneficios. Ejemplos son: Sánchez (1998), Ostro (2004) y Croitoru (2010) para Chile, Estados Unidos y Jordania, respectivamente.

En el Perú se han realizado pocos estudios al respecto<sup>5</sup>, limitándose a calcular el costo económico anual para Lima Metropolitana, debido a la concentración de cierto nivel de PM<sub>10</sub>. Para el año 2001, Kröger (2002) estimó el costo económico de reducir la concentración de PM<sub>10</sub> de 119 a 50 µg/m<sup>3</sup>. Miranda (2006) hizo lo mismo para el año 2005, estimando la reducción de esa concentración de 93 a 50 µg/m<sup>3</sup>.

*«En el Perú se han realizado pocos estudios al respecto, limitándose a calcular el costo económico anual para Lima Metropolitana, debido a la concentración de cierto nivel de PM<sub>10</sub>»*

Ambos estudios midieron los efectos de la mortalidad y morbilidad en base a los coeficientes de funciones dosis-respuesta, las cuales, a su vez, fueron extrapoladas de otros estudios.<sup>6</sup> Aún cuando estos estudios representan un buen avance para la literatura peruana, queda mucho por investigar.

Aparte del PM<sub>10</sub>, Loyola y Soncco (2007) calcularon el beneficio económico de la reducción de plomo en la sangre de la población infantil en una localidad de la Provincia Callao. Con respecto al componente agua, solo Herrera y Millones (2011) calculan el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú para los años 2008 y 2009.

A pesar de las limitaciones de información, este estudio propone estimar el CCA por PM<sub>10</sub> en Lima Metropolitana para el período 1994-2011, utilizando el método transferencia de beneficios como primera aproximación.

## Metodología

Por lo general, la relación entre contaminación ambiental del aire y sus efectos en el bienestar humano se representa mediante funciones dosis-respuesta, principalmente vinculadas a los efectos económicos sobre mortalidad y morbilidad de la población humana expuesta a los niveles de cierto(s) contaminante(s).

Para estimar el costo económico de la mortalidad por CCA se utiliza dos métodos. El primero es el enfoque

3 EPA (1999). Air Quality Criteria for Particulate Matter. Office of Research and Development. Environmental Protection Agency. EPA. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttnatw01/nata1999/nsata99.html>.

4 OMS (2011). Organismo Mundial de la Salud. Disponible en: <http://www.who.int/es/>.

5 Presumiblemente, la escasez de literatura nacional sobre costos ambientales radica en la falta de información sobre funciones dosis-respuesta en el campo de la salud o recursos hídricos. Otra causa podría ser la falta de estadísticas o evolución temporal de monitoreos ambientales en las principales ciudades del Perú.

6 Sánchez 1998, Kröger 2002, Ostro 2004 y Croitoru 2010.

Foto CIES



Las principales enfermedades asociadas a la contaminación de la calidad del aire por PM<sub>10</sub> se relacionan con las vías respiratorias que afectan a la salud humana.

de capital humano (CHMt), que consiste en calcular los ingresos dejados de ganar por la muerte prematura de un individuo ante la exposición de  $PM_{10}$  en el aire. El segundo es el valor de una vida estadística (VSL), que estima la disponibilidad del individuo a pagar por evitar la muerte prematura (DAPMt) vinculada a la contaminación del aire.

Para el caso de los costos asociados a la morbilidad, se utiliza el enfoque de costo de enfermedad (CE), equivalente a la suma del costo de tratamiento (CT) y el ingreso perdido por los días no laborados (CHMb); y el enfoque de VSL, que estima la disponibilidad del individuo a pagar (DAPMb) por no tener enfermedad alguna relacionada por la contaminación del aire (Sánchez, 1998). En el Cuadro 1 se presenta el resumen de estos enfoques.

### Cuadro 1

Enfoques para estimar el costo de mortalidad (CMT) y morbilidad (CMB) por la contaminación en el aire por  $PM_{10}$

Enfoque	CMT	CMB
CH (Capital humano)	Ingresos dejados de ganar por una muerte prematura (CHMt)	El ingreso perdido por los días no laborados debido a la enfermedad (CHMb)
CE (Costo de enfermedad)	-	Costo de tratamiento (CT)
VSL (Valor de una vida estadística)	DAP para evitar una muerte prematura	DAP por no tener enfermedad

Fuente: Elaboración propia.

Puesto que en la actualidad no existe evidencia de funciones dosis-respuesta diseñadas exclusivamente para evaluar el impacto de  $PM_{10}$  en el caso peruano, se ha aplicado como referencia las funciones estimadas en otros países (EPA, 2004).

Algunos autores (Ostro 1994, Sanchez et al., 1998), en base a los coeficientes de las pendientes de funciones dosis-respuesta, construyeron escenarios para mortalidad ( $\beta_{Mt}$ ) y morbilidad ( $\beta_{Mb}$ ) causados por la contaminación ambiental en el aire por  $PM_{10}$ . Estos escenarios son estimados en base a tres niveles. El

escenario alto (Pope et al., 1995), medio y bajo (Ostro et al., 1996). A continuación, se explica el procedimiento para determinar el CCA en el aire de la población expuesta de Lima Metropolitana para efectos de mortalidad y morbilidad.

### Función dosis-respuesta para mortalidad

Para el cálculo del incremento del número de casos de mortalidad ante un incremento de la concentración de  $PM_{10}$  en un período  $t$  ( $\Delta KM_t$ ), se utiliza la expresión (1) que es la más utilizada en este tipo de estudios (Ostro 2004).

$$\Delta KM_t = (\beta_{Mt}) \cdot \left( \frac{\Delta PM_{10}}{100} \right) \cdot (TM_t) \cdot (PobEx_t) \quad (1)$$

Donde,

$\beta_{Mt}$  : Coeficientes de las pendientes de las función dosis-respuesta para mortalidad, según el escenario alto, medio y bajo (0.336, 0.10 y 0.0864, respectivamente).

$\Delta PM_{10}$  : Equivalente a la diferencia del  $PM_{10}$  actual en el área en estudio menos el  $PM_{10}$  establecido como el Estándar de Calidad Ambiental para el aire (para el caso peruano,  $ECA=50\mu g/m^3$ )<sup>7</sup>.

$TM_t$  : Tasa de mortalidad humana de la población expuesta en el tiempo  $t$ .

$PobEx_t$  : Población humana expuesta en el tiempo  $t$ .

### Función dosis-respuesta para morbilidad

Conforme a MINSA (2011)<sup>8</sup>, las principales enfermedades asociadas a la contaminación de la calidad del aire por  $PM_{10}$  se relacionan con las vías respiratorias que afectan a la salud humana (Cuadro 2).



Foto CIES

El costo de la contaminación ambiental en Lima Metropolitana (CCA) concentró una pequeña fracción del PIB del Departamento de Lima durante el período de estudio.

7 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del aire (ECA) D.S. 074-2001-PCM.

8 Ministerio de Salud del Perú. Disponible en: [www.app.minsa.gob.pe/bsc/Detalle\\_IndBSC.asp?lcind=5&lcobj=1&lcp=1&lcreg=31/1/2011](http://www.app.minsa.gob.pe/bsc/Detalle_IndBSC.asp?lcind=5&lcobj=1&lcp=1&lcreg=31/1/2011)

## Cuadro 2

Efectos en la salud humana asociado a  $PM_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Código	Efectos en la salud humana	Coeficiente de la pendiente de la función dosis-respuesta ( $\beta_{Mb}$ )		
		Escenarios		
		Alto	Medio	Bajo
	Cambio en admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias	$\beta_a = 0.000788$	$\beta_a = 0.000673$	$\beta_a = 0.000588$
	Cambio en admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares	$\beta_b = 0.00079$	$\beta_b = 0.00064$	$\beta_b = 0.00048$
	Días de actividad restringidas	$\beta_c = 0.0238$	$\beta_c = 0.0168$	$\beta_c = 0.0097$
	Enfermedades respiratorias bajas en niños (Bronquitis y tos)	$\beta_d = 0.0016$	$\beta_d = 0.0011$	$\beta_d = 0.0007$
	Bronquitis crónica	$\beta_e = 0.000093$	$\beta_e = 0.000061$	$\beta_e = 0.00003$
	Síntomas respiratorios agudos	$\beta_f = 0.2555$	$\beta_f = 0.1697$	$\beta_f = 0.0803$
	Ataque de asma	$\beta_g = 0.1971$	$\beta_g = 0.0584$	$\beta_g = 0.0329$

$\beta_a$ : Fuente de las cifras de nivel alto, Pope et al. (1995); medio y bajo, Ostro et al. (1996).

$\beta_b$ : Burnett et al. (1995).

$\beta_c$ : Ostro (1990).

$\beta_d$ : Dockery (1996).

$\beta_e$ : Abbey et al. (1993).

$\beta_f$ : Krupnick et al. (1990).

$\beta_g$ : Ostro et al. (1991), Whittemore y Korn (1980).

Fuente: Sanchez (1997), Kröger (2002) y Ostro (2004).

Elaboración propia.

La pendiente de la función dosis-respuesta varía según el efecto en la salud humana y tipo de escenario, según las cifras extremas de estas funciones (alto, medio y bajo). Estas cifras han sido tomadas de Sánchez (1997), Kröger (2002) y Ostro (2004). La estimación del cambio en los casos anuales de morbilidad de la población expuesta a la concentración de  $PM_{10}$ , según el efecto en la salud humana, se muestra en el Cuadro 3.

### Costo anual de los efectos de la concentración de $PM_{10}$ en la salud humana

Una vez obtenido el incremento del número de casos por efectos de mortalidad ( $\Delta\text{KMt}$ ) y morbilidad ( $\Delta\text{KMb}$ ) por  $PM_{10}$ , se calculan los costos de mortalidad, multiplicando la  $\Delta\text{KMt}$  por la sumatoria descontada de los ingresos dejados de percibir por una muerte prematura más la DAP para evitar esta muerte por exposición ante  $PM_{10}$ . Para el caso de los costos de morbilidad, éstos se estiman multiplicando la  $\Delta\text{KMb}$  por la sumatoria descontada de los ingresos perdidos por los días no laborados, el costo de tratamiento de la morbilidad y la DAP por evitar enfermarse debido a la exposición de  $PM_{10}$ .

## Cuadro 3

Funciones dosis-respuesta asociadas a la concentración de  $PM_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) por tipo de efectos en la salud humana

Incremento del número de casos anuales de morbilidad ( $\Delta\text{KMb}$ )	
$\Delta\text{KMb}_a$	$= (\beta_a) \cdot (a/\text{PobT}) \cdot (\Delta\text{PM}_{10}/100) \cdot (\text{PobEx}_i)$
$\Delta\text{KMb}_b$	$= (\beta_b) \cdot (b/\text{PobT}) \cdot (\Delta\text{PM}_{10}/100) \cdot (\text{PobEx}_i)$
$\Delta\text{KMb}_c$	$= (\beta_c) \cdot (\Delta\text{PM}_{10}) \cdot (\text{PobAd}_i)$
$\Delta\text{KMb}_d$	$= (\beta_d) \cdot (\Delta\text{PM}_{10}) \cdot (\text{Tc}) \cdot (\text{PobN}_i)$
$\Delta\text{KMb}_e$	$= (\beta_e) \cdot (\Delta\text{PM}_{10}) \cdot (\text{Pob}_{>25 \text{ años}})$
$\Delta\text{KMb}_f$	$= (\beta_f) \cdot (\Delta\text{PM}_{10}) \cdot (\text{PobEx}_i)$
$\Delta\text{KMb}_g$	$= (\beta_g) \cdot (\Delta\text{PM}_{10}) \cdot (0.047) \cdot (\text{PobEx}_i)$

\* $\beta_{Mb}$ : varía según el tipo de escenario alto, medio y bajo para cada caso.

$\Delta\text{KMb}_i = \Delta\text{KMb}_a + \Delta\text{KMb}_b + \Delta\text{KMb}_c + \Delta\text{KMb}_d + \Delta\text{KMb}_e + \Delta\text{KMb}_f + \Delta\text{KMb}_g$

a: Admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias.

b: Admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares.

PobT: Población total.

PobEx<sub>i</sub>: Población humana expuesta a la concentración de  $PM_{10}$ .

PobAd<sub>i</sub>: Población humana expuesta de adultos a la concentración de  $PM_{10}$ .

PobN<sub>i</sub>: Población expuesta de niños a la concentración de  $PM_{10}$ .

Pob<sub>>25 años</sub>: Población humana expuesta mayor de 25 años a la concentración de  $PM_{10}$ .

Tc: Tasa anual de consultas por infecciones respiratorias bajas.

Fuente: Sánchez (1997), Kröger (2002) y Ostro (2004).

## Estimaciones

### Costo de Mortalidad (CMt)

Para estimar el incremento del número de casos de mortalidad ( $\Delta K_{Mb}$ ) -usando (1)- se utilizó el coeficiente de la pendiente de la función dosis respuesta ( $\beta_{Mt} = 0.1$ ) -según el escenario medio- (Ostro, 2004). Luego se calculó el término  $\Delta PM_{10}$ , equivalente a la diferencia del  $PM_{10}$  del período 1994–2011 (MINSA, 2011)<sup>9</sup> y el valor del ECA<sup>10</sup> ( $PM_{10} = 50\mu g/m^3$ ).

Paso seguido, este incremento es multiplicado por la tasa de mortalidad humana de la población (TM) de Lima Metropolitana (INEI, 2011)<sup>11</sup>. Sin embargo, dado que solo se tiene información por quinquenios, se asumió dicha tasa constante para cada intervalo (quinquenio). Por último, en base al mismo período de análisis, se estimó la población humana expuesta de Lima Metropolitana ( $P_{obEx_i}$ ) con información disponible de los Censos Nacionales 1993 y 2007 (INEI). Se asumió que esta variable es equivalente a la población total de Lima Metropolitana.

Luego, conforme al Cuadro 1, se estimó el CMt en base al cálculo de la sumatoria descontada de los ingresos dejados de percibir por una muerte prematura debido a la exposición de  $PM_{10}$ . Para ello, se calculó la edad promedio de la PEA de Lima Metropolitana<sup>12</sup> expuesta a la concentración de  $PM_{10}$ , según grupo de edades simples. Para ello se utilizó la expresión (2):

$$E_{pp} = \sum_{i=1}^m \bar{E}_{it} \left[ \frac{P_{E_{it}}}{P_{ET_{it}}} \right] \quad (2)$$

Donde,

$E_{pp}$  : Edad promedio ponderada de la población económicamente activa expuesta a la concentración de  $PM_{10}$  en el período t.

9 Ministerio de Salud (MINSA) - Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA).

10 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECA) D.S. 074-2001-PCM.

11 Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Disponible en: <http://www.inei.gov.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0005/cap-510.htm>

12 Para estimar esta variable se utilizó información de la población económicamente activa por edades simples (INEI). Fuente: <http://www.inei.gov.pe/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0940/Libro.pdf>.

13 El PBI per cápita de Perú y Jordán fue obtenido del Banco Mundial. Disponible en: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?page1>. El tipo de cambio del año 2000 fue S/. 3.49 nuevos soles por dólar, según el Banco Central de Reserva del Perú. Disponible en: <http://www.bcrp.gob.pe/>

14 Croitoru L. y Sarraf M. (2010). «The cost of environmental degradation. Case Studies from the Middle East and North Africa». The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Chapter 3, Air Pollution: The Case of Jordan. Página 37-51.



Foto CIES

Los resultados sugieren que los costos de la contaminación ambiental en el aire (CCA)16 por  $PM_{10}$  en Lima Metropolitana han representado una fracción mínima del Producto Bruto Interno del Departamento de Lima.

$E_i$  : Edad promedio del intervalo de grupo de edad i de la población económicamente activa expuesta a la concentración de  $PM_{10}$  en el período t.

$P_{E_{it}}$  : Población total del intervalo de grupo de edad i de la población expuesta a la concentración de  $PM_{10}$  en el período t.

$P_{ET_{it}}$  : Población del intervalo de grupo de edad i de la población expuesta a la concentración de  $PM_{10}$  en el período t.

Si,

i : Grupo de edad de la población expuesta a la concentración de  $PM_{10}$ , donde  $i = 1, 2, \dots, m$ .

m : Último grupo de edad (65-69).

Si bien otros estudios infieren el costo de mortalidad a través del enfoque CH, según grupo de edades simples (0-99 años), en este estudio se utilizó el grupo de edades de la PEA de Lima Metropolitana (14-69 años), ya que constituyen el grueso de la fuerza laboral, la cual está en capacidad de generar ingresos.

Una vez estimada la  $E_{pp}$ , se calculan los años que la población expuesta hipotéticamente dejó de percibir ingresos (utilizándose el salario mínimo vital como aproximación promedio), restándole la esperanza de vida promedio del área en estudio ( $E_v$ ). Este cálculo equivale a los ingresos perdidos por una muerte prematura debido a la exposición de  $PM_{10}$ .

Por último, el valor de una vida estadística (VSL) fue obtenido mediante transferencia de beneficios<sup>13</sup> en base (Croitoru, 2010)<sup>14</sup>, quien estimó la DAP del año 2000 de Jordán por evitar los efectos de la contaminación en el aire por  $PM_{10}$ , cifra equivalente

a US\$ 18,310. Por lo tanto, el costo de mortalidad por contaminación ambiental en el aire por  $PM_{10}$  equivale a la expresión (3).

$$CMt_t = \left[ \left( \int_{t=E_{pp}}^{E_v} S \cdot e^{-r(E_v - E_{pp})t} dt \right) + DAP \right] \cdot [\Delta KMt_t] \quad (3)$$

Donde,

$CMt_t$  : Costo de mortalidad por contaminación ambiental en el aire por  $PM_{10}$  de la población humana expuesta en el tiempo  $t$ .

$S$  : Salario mínimo vital de la población expuesta a la concentración de  $PM_{10}$ .

$\Delta KMt_t$  : Variación del número de casos de mortalidad de la población expuesta a la concentración de  $PM_{10}$  en el tiempo  $t$ .

$r$  : Tasa de descuento del 3%<sup>15</sup>.

### Costo de Morbilidad (CMB)

Si bien en el Cuadro 2 se describen las funciones dosis-respuesta para encontrar los casos de morbilidad ( $\Delta KMt_t$ ) por  $PM_{10}$ , no se estimó el número de casos debido a la escasa información disponible del número de admisiones hospitalarias por tipo de enfermedad, tasa anual de consultas por infecciones respiratorias, etc. Por tal motivo, el costo de morbilidad fue inferido a partir de Miranda (2006), quien estimó el costo de mortalidad en base a un escenario medio equivalente al 11% de la suma de los costos anuales de mortalidad y morbilidad. En otras palabras, el ratio de mortalidad y morbilidad para un escenario medio es  $\frac{CMB}{CMT} = 8.036$ , y fue utilizado para calcular el costo de la morbilidad en todo el período de estudio.

### Costos de la contaminación ambiental del aire (CCA)

Por lo tanto, el valor buscado del efecto en la salud asociado a la contaminación de la calidad del aire por  $PM_{10}$  para un período  $t$  será igual a la suma de los costos totales anuales de mortalidad y morbilidad (4). Este CCA se mide en  $S/\mu g/m^3$ .

$$CCA_t = CMt_t + CMB_t \quad (4)$$

## Resultados y discusiones

Los resultados sugieren que los costos de la contaminación ambiental en el aire (CCA)<sup>16</sup> por  $PM_{10}$  en Lima Metropolitana han representado una fracción mínima del Producto Bruto Interno del Departamento de Lima (PBIL)<sup>17</sup>. Esta fracción osciló entre el 0.05% y 0.49% durante todo el período de análisis. Desde un punto



Foto CIES

La población ha crecido a una tasa constante promedio anual de 1.13% (INEI, 2012), de manera que la reducción del CCA no está vinculada a una menor población expuesta a los niveles de  $PM_{10}$ , sino a la disminución del nivel de  $PM_{10}$ .

de vista macroeconómico, la evidencia de este estudio sugiere que la degradación de la calidad del aire no constituye un serio problema para el crecimiento económico ni representa un daño significativo para la sociedad limeña. Sin embargo, debe recalarse que -por motivos de información- solo se han analizado los efectos (económicos) de un solo contaminante. Resta mucha investigación al respecto.

De cualquier forma, los resultados demuestran una relación directa, y al mismo tiempo inversa, entre el PBIL y el CCA (Gráfico 1). La tendencia creciente del CCA durante el período 1994-2006 osciló entre US\$ 19-166 millones. Este incremento se atribuye a que en dichos años los niveles de contaminación por  $PM_{10}$  excedieron significativamente el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para el aire (ECA<sup>18</sup> = 50  $\mu g/m^3$ ).

15 Estos ingresos futuros están descontados a una tasa, según otros estudios, oscila entre 3% y 5% (Sánchez et al., 1998 y Miranda 2006). Se debe descartar que esta tasa de descuento no es una tasa "social" de descuento en el sentido tradicional de reflejar el costo de oportunidad para la sociedad de los fondos invertidos en el proyecto, que en el Perú la tasa de descuento social anual constante es 9% en nuevos soles. (Resolución Directoral No. 006-2012-EF/63.01). Es, simplemente, el efecto que tiene para la sociedad el que los individuos mueran a distintas edades. Por ello, para este estudio se utilizó una tasa del 3%.

16 Es importante resaltar que los valores del CCA están previamente descontados a una tasa anual del 3%.

17 Debido a que no hay información disponible del PBI de Lima Metropolitana en los años 1994-2011, este fue estimado a partir de la diferencia entre el PIB del Departamento de Lima y el Valor Agregado de la Provincia Callao. Este último fue estimado como el 10% PIB del Departamento de Lima, conforme al Boletín Departamental N° 7 de INEI: Principales resultados del IV Censo Nacional Económico 2008: Callao.

18 Reglamento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire D.S. 074-2001-PCM.

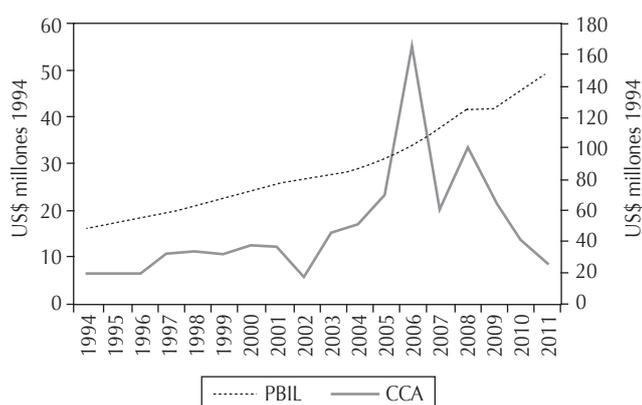
«La tendencia creciente del CCA durante el período 1994-2006 osciló entre US\$ 19-166 millones. Este incremento se atribuye a que en dichos años los niveles de contaminación por  $PM_{10}$  excedieron significativamente el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para el aire ( $ECA = 50 \mu g/m^3$ ).»

Asimismo, a partir de este último año, se observa que el CCA llegó a un umbral a partir del cual empezó a decrecer considerablemente hasta el año 2011.

Esta reducción sería explicada por la disminución de la población expuesta a las concentraciones de  $PM_{10}$  en Lima Metropolitana. Sin embargo, esta hipótesis es rechazada puesto que dicha población ha crecido a una tasa constante promedio anual de 1.13% (INEI, 2012), de manera que la reducción del CCA no está vinculada a una menor población expuesta a los niveles de  $PM_{10}$ , sino a la disminución del nivel de  $PM_{10}$ .

### Gráfico 1

PBIL y CCA (US\$ millones 1994)

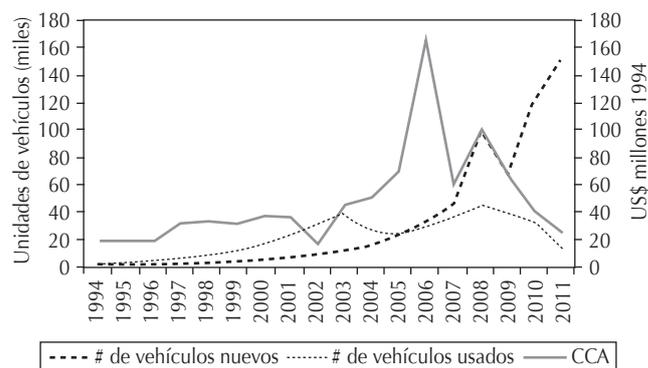


Fuente: Elaboración propia.

Se presume que la relación inversa entre PBIL y CCA está vinculada con el cambio en la matriz energética en el Perú. Conforme a la Cámara Peruana de Gas

### Gráfico 2

Importación de vehículos nuevos, usados y CCA (US\$ millones 1994)



Fuente: Elaboración propia.

Natural Vehicular (CPGNV) y el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN, 2013), a partir del año 2006 la conversión de los vehículos al uso del gas natural vehicular (GNV) evolucionó significativamente (Gráfico 2), pasando de 5,489 vehículos convertidos en el año 2006 a un acumulado de 112,484 en el año 2011. A esta reducción del CCA se suma el aumento en la importación de vehículos nuevos al Departamento de Lima (MTC, 2011)<sup>19</sup>, que representó el 92% del total.

En el año 2008 ocurrió un hipo de contaminación por  $PM_{10}$ , elevando nuevamente el CCA en US\$ 1,001 millones, que parecería estar vinculado con el volumen importado de vehículos nuevos, que aumentó en 53,796 unidades con respecto al año 2007. Sin embargo, recién a partir del año 2011, tanto el CCA como el nivel de concentración de  $PM_{10}$  empiezan a decrecer, puesto que en este año entró en vigencia<sup>20</sup> la Ley 29303, la cual prohíbe la importación de vehículos usados, con el fin de evitar accidentes de tránsito y, principalmente, ayudar a reducir significativamente los niveles de contaminación ambiental por  $PM_{10}$  en Lima.

### Beneficios económicos vinculados a la reducción de la contaminación por $PM_{10}$

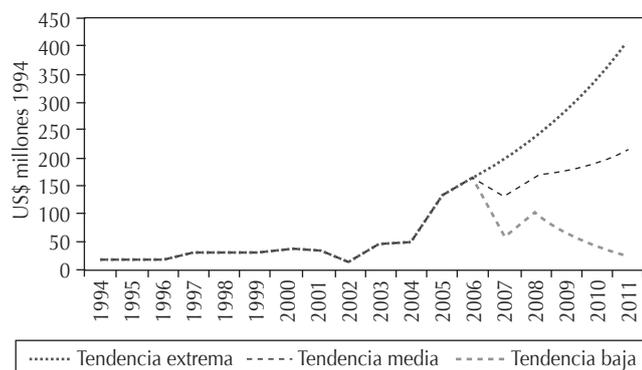
El Gráfico 3 refleja el CCA para tres hipotéticos escenarios o tendencias tomando como año base el 2006, en el cual se registró el mayor nivel de concentración de  $PM_{10}$  ( $126 \mu g/m^3$ ). La primera tendencia es extrema o pesimista, donde se asume un creciente CCA hacia al año 2011, llegando a un acumulado de US\$ 1,471

19 Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, 2010), según el II Plan Integral de Saneamiento Atmosférico (PISA) para Lima - Callao 2011-2015.

20 Publicado en el Diario El Peruano, 2010.

### Gráfico 3

Proyecciones del CCA por  $PM_{10}$  por tendencias (US\$ millones 1994)



Fuente: Elaboración propia.

millones durante el período 2007-2011. Este incremento hubiese ocurrido siempre y cuando el nivel de  $PM_{10}$  se hubiera incrementado hasta  $311 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , conforme a la tendencia del período 2004-2006. En otras palabras, sin sustitución de combustibles.

La segunda tendencia es media, en el sentido que corresponde a un promedio entre lo extremo y lo efectivo (tendencia baja). El CCA en este caso asciende a un acumulado de US\$ 883 millones durante el período 2007-2011.

La tendencia baja u optimista, donde el  $PM_{10}$  disminuye desde el año 2006 hasta el 2011, donde se registró la menor concentración de este contaminante ( $59.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), acercándose considerablemente al ECA. En este caso el CCA asciende a un acumulado de US\$ 295 millones durante el período 2007-2011. Nótese que esta tendencia fue real.

*«En el período 2007-2011, el costo ahorrado de la sociedad de Lima Metropolitana expuesta a la contaminación ambiental en el aire por  $PM_{10}$ , es equivalente a los costos ahorrados entre la tendencia extrema y baja, que ascendió a US\$ 1,176 millones, mientras que este ahorro, según la tendencia media y baja, fue equivalente a US\$ 588 millones.»*

En el período 2007-2011, el costo ahorrado de la sociedad de Lima Metropolitana expuesta a la contaminación ambiental en el aire por  $PM_{10}$  es equivalente a los costos ahorrados entre la tendencia extrema y baja, que ascendió a US\$ 1176 millones, mientras que este ahorro, según la tendencia media y baja, fue equivalente a US\$ 588 millones. Estos valores reflejan el beneficio económico atribuido a los eventos que empezaron en el año 2006. Estos beneficios son medidos como una mejora del bienestar de la población de Lima Metropolitana expuesta a niveles de  $PM_{10}$ .

Debe acotarse que para la obtención de estos resultados ha sido necesario adoptar numerosos supuestos y funciones extrapoladas que pueden no brindar una real imagen del costo/beneficio buscado. Por ello, los resultados son meramente referenciales. Faltan estudios que permitan evaluar el costo social de la concentración de otras partículas contaminantes (Gráfico 1). Ello debería conllevar a un mayor CCA, aunque no es claro si este incremento será significativo.

### Conclusiones y recomendaciones

Conforme a los resultados, el costo de la contaminación ambiental en Lima Metropolitana (CCA) concentró una pequeña fracción del PIB del Departamento de Lima durante el período de estudio. Esta fracción se redujo significativamente desde el año 2006, período en que empezó un proceso gradual de sustitución de combustible (gas natural por petróleo/gasolina) por parte de un segmento de la flota vehicular del área del estudio (básicamente, taxis). Esto ha coincidido con el reciente crecimiento económico experimentado por la sociedad peruana.

Otro efecto que indujo esta reducción es el aumento de la importación de vehículos nuevos, fruto no solo



El bienestar generado por el crecimiento económico no necesariamente repercutirá siempre en la reducción en los niveles de contaminación.



*Evaluar si la externalidad negativa como consecuencia del transporte público excede incluso su beneficio privado.*

de la regulación sino del mayor poder adquisitivo, como parte del crecimiento económico experimentado por nuestro país en tiempos recientes.

Esta implicancia es engañosa. Per se, un mayor poder adquisitivo de la población, dado un crecimiento económico, no necesariamente repercutiría en un incremento de la importación de vehículos nuevos, ni conllevaría necesariamente a la reducción del CCA: el efecto escala podría inducir un mayor CCA. Esto sugiere que el bienestar generado por el crecimiento económico no necesariamente repercutirá siempre en la reducción en los niveles de contaminación, al menos de  $PM_{10}$ . En otras palabras, la inercia del crecimiento económico no es suficiente para enfrentar la contaminación ambiental en análisis. Por ello, es necesario implementar medidas de política a fin de seguir reduciendo no solo los niveles de  $PM_{10}$  sino también de otros contaminantes.

La estrategia no debe abarcar únicamente medidas sobre el sector transporte. Probablemente, el establecimiento de mayores áreas verdes en la ciudad de Lima ayude a mitigar los efectos de la contaminación. Una tarea pendiente es fomentar investigaciones

*«Mejores estimaciones sobre los CCA pueden obtenerse en la medida que funciones dosis-respuesta sean diseñadas y estimadas para diversas ciudades del Perú.»*

que evalúen el costo-efectividad de diversas medidas, como subsidios o impuestos, entre otras.

La renovación constante del parque automotor y generar incentivos para la sustitución de combustibles deben ser una metas de política. Otras medidas prioritarias de acción de corto y mediano plazo para la reducción de emisiones de contaminantes al aire son bienvenidas, como por ejemplo, la ampliación del tren eléctrico.

Las primeras estimaciones de los CCA como consecuencia de la reducción de los niveles de  $PM_{10}$  no son significativas a nivel macro. No obstante, es tarea pendiente evaluar si estos CCA han sido siempre mayores que el beneficio privado vinculado al transporte público, el principal agente emisor de  $PM_{10}$ . En otras palabras, evaluar si la externalidad negativa como consecuencia del transporte público excede incluso su beneficio privado.

Mejores estimaciones sobre los CCA pueden obtenerse en la medida que funciones dosis-respuesta sean diseñadas y estimadas especialmente para Lima Metropolitana y, en general, para diversas ciudades del Perú. Esto implica un mayor financiamiento no solo para realizar monitoreos confiables de la calidad del aire, sino también para recoger información sobre casos de mortalidad y morbilidad. La obtención de información fidedigna permitiría construir instrumentos de gestión ambiental más apropiados para enfrentar la contaminación de la calidad del aire.