

2013-12-01

## Metabolismo energético y calidad del aire en Bogotá D. C.: señal de insostenibilidad

Cristian Julián Díaz Álvarez

Universidad Central, Bogotá, Colombia, [cdiaza2@ucentral.edu.co](mailto:cdiaza2@ucentral.edu.co)

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep>

---

### Citación recomendada

Díaz Álvarez, Cristian Julián (2013) "Metabolismo energético y calidad del aire en Bogotá D. C.: señal de insostenibilidad," *Épsilon*: Iss. 21 , Article 7.

Disponible en:

This Artículos de investigación is brought to you for free and open access by the Revistas descontinuadas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Épsilon by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

# Metabolismo energético y calidad del aire en Bogotá D. C.: señal de insostenibilidad

CRISTIAN JULIÁN DÍAZ ÁLVAREZ<sup>1</sup>

## RESUMEN

Bogotá, como organismo, ha sobrevivido gracias a la “producción”, almacenamiento, transformación y uso de la energía —sea renovable o no—, y al trabajo realizado para asegurar el sostenimiento de la población, el mantenimiento y aumento de la estructura económica y, por supuesto, para el desarrollo de la urbe y su región de influencia. Todo el proceso se ha logrado a través de “transiciones energéticas” ocurridas por la confluencia de fuerzas técnica, económica, política, ambiental y social en la ciudad. Esta situación fue analizada con el cálculo del metabolismo urbano, el cual contempló los pilares del portafolio energético de la metrópoli: la energía eléctrica y los combustibles fósiles y sus derivados. La magnitud de las cifras de consumo, que para el 2012 se traducen en una liberación —por combustión y por uso— de 125,8 TBU, demuestra el voraz apetito de la capital colombiana, el cual indudablemente genera impactos negativos en el ambiente urbano y regional, especialmente en la matriz aire.

**Palabras clave:** energía, metabolismo urbano, calidad del aire.

<sup>1</sup> Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Manejo Integrado del Medio Ambiente, Universidad de los Andes, Colombia. Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia. Profesor y actual director del Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Central, Colombia. Correo electrónico: cdiaza2@ucentral.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 30 DE JULIO DEL 2013 • FECHA DE APROBACIÓN: 11 DE NOVIEMBRE DEL 2013

Cómo citar este artículo: Díaz Álvarez, C. J. (2013). Metabolismo energético y calidad del aire en Bogotá D. C.: señal de insostenibilidad. *Épsilon* (21), 119-144.

## *Energetic Metabolism and Air Quality in Bogota D. C.: A Sign of Unsustainability*

### ABSTRACT

As an organism, Bogota has survived thanks to the “production”, storage, transformation and use of renewable and non-renewable energy, and to the work carried out to ensure the sustainability of the population, the maintenance and enhancement of the economic structure and, of course, to ensure the development of the city and its area of influence. The whole process has been carried out throughout “energetic transitions” achieved by the coming together of technical, economic, political, environmental and social forces in the city. This situation was analyzed by calculating the urban metabolism, taking into account the pillars of the city’s energy portfolio: electricity and fossil fuels and its derivatives. The magnitude of the consumption values, which for 2012 represent a release — due to combustion and use — of 125.8 BTU, shows the voracious appetite of the city. This undoubtedly generates a negative impact in the urban and regional environment, particularly in terms of air quality.

**Keywords:** Energy, urban metabolism, air quality.

---

## *Metabolismo energético e qualidade do ar em Bogotá D. C.: sinal de insustentabilidade*

### RESUMO

Bogotá, como organismo, tem sobrevivido graças à “produção”, armazenamento, transformação e uso da energia — seja renovável ou não —, e ao trabalho realizado para assegurar o sustento da população, a manutenção e aumento da estrutura econômica e, evidentemente, para o desenvolvimento da urbe e sua região de influência. Todo o processo tem obtido sucesso através de “transições energéticas” ocorridas pela confluência de forças técnica, econômica, política, ambiental e social na cidade. Esta situação foi analisada com o cálculo do metabolismo urbano, o qual contemplou os pilares do portfólio energético da metrópole: a energia elétrica e os combustíveis fósseis e seus derivados. A magnitude das cifras de consumo, que para 2012 se traduzem em uma liberação — por combustão e por uso — de 125,8 TBU, demonstra o apetite voraz da capital colombiana, o qual indubitavelmente gera impactos negativos ao ambiente urbano e regional, especialmente na matriz ar.

**Palavras chave:** energia, metabolismo urbano, qualidade do ar.

## Introducción

Bogotá transforma la energía que proviene principalmente de la red de transmisión eléctrica del sistema interconectado nacional, de los hidrocarburos y de la radiación solar que incide en su superficie, siendo las dos primeras fuentes la clave del portafolio de la ciudad. Su importancia, hegemonía y protagonismo en la “transición energética urbana” han determinado el salto de asentamiento urbano a metrópoli extendida en tan solo 50 años; pero por razones termodinámicas, ha conllevado también —entre otras cosas— la pérdida de la calidad del aire en las capas próximas a la superficie en la zona urbana y en su región de influencia.

Indudablemente, el consumo de energía permite la supervivencia, el mantenimiento y el crecimiento del sistema capitalino, coadyuva para que los sectores económicos y su población alcancen nuevos estadios evolutivos, sin embargo, sus flujos se distribuyen de manera desigual en las diferentes zonas de la ciudad y, en cada cambio de forma de energía, se libera una cantidad no aprovechable y especies químicas con potencial contaminante. Esta contradicción de desarrollo urbano puede ser analizada desde el concepto de *metabolismo urbano*, específicamente en uno de sus componentes: el *metabolismo energético*, con lo cual se podrá verificar la posibilidad de coexistencia de 3 dimensiones urbanas poco miscibles: el ambiente, el crecimiento económico y el desarrollo humano.

## Metabolismo energético

La comprensión de la dinámica técnica, económica, social y ambiental del abasto, consumo, transformación y liberación de la energía en la capital colombiana, se abordó sintéticamente desde el concepto de *metabolismo* en 6 etapas históricas que han marcado sendas dinámicas y estructuras de consumo de recursos: a) fundación, en la cual se inició la ordenación y trazado de la ciudad; b) Colonia, periodo de jurisdicción española; c) época republicana, emancipación y consolidación de la identidad nacional; d) Bogotazo, un día de infamia; e) crecimiento urbano del siglo XX, progresión acelerada de defectos y virtudes, y f) ciudad extendida del siglo XXI, reconocimiento de la ciudad-región.

Narración crítica de la evolución de la capital, en la cual la “metáfora organicista” del metabolismo urbano habilita una noción desde las perspectivas técnica, mul-

tidisciplinaria, ecológica y económica. A partir de la primera perspectiva, el concepto permite determinar los flujos de materia y energía en un sistema económico y social (Díaz, 2011); desde varias perspectivas disciplinarias, se constituye como un concepto que “cierra las brechas entre las ciencias sociales y las ciencias naturales” (Haberl, 2001, p. 19); desde el lente ecológico, tiene por objeto promover el entendimiento de las implicaciones ambientales del desarrollo urbano (K'Akumu, 2007); y desde la visión de la economía ecológica, permite “determinar y distinguir entre la aproximación material y la apropiación intangible de la naturaleza por parte de los seres humanos” (Toledo, 2008, p. 5).

Superconcepto —y herramienta a la vez— que puede ser desarrollado desde alguno de sus componentes: el metabolismo energético, que propende por el análisis detallado —con base en los principios y leyes naturales— de los flujos de entrada y salida de energía y materia con los cuales la ciudad realiza el trabajo (W) para mantenerse y crecer. Para el caso específico de este estudio, se contemplaron principalmente los 2 energéticos fundamentales de su portafolio: la energía eléctrica y los combustibles fósiles y sus derivados. La primera es la forma de energía más personalizada frente a las necesidades de los individuos, y la segunda es el producto de la transición energética de la primera mitad del siglo XX, que indudablemente determina y condiciona el actual modelo económico de la ciudad, y que afecta las condiciones naturales del aire que respiran sus habitantes.

### *Energía eléctrica*

Aunque el suministro de energía eléctrica en Bogotá (figura 1) se soporta en el sistema interconectado —que cubre el 91,9 % de la demanda nacional (SIGOB, 2010)—, las necesidades energéticas son atendidas principalmente por los macroproyectos hidroeléctricos del Guavio y Chivor, y por las dos cadenas de generación asociadas con la cuenca media y baja del río Bogotá. La ciudad, por su magnitud, consume el 24 % de la energía eléctrica del país (EEB, 2010), por lo que alcanza un total anual de 10.236 GWh (figura 1), y una cobertura del 99,98 % (UPME, 2010a).

Para el 2010, el total de usuarios —clasificados de acuerdo con la Ley 143 de 1994—, fue de 1.924.641, de los cuales, el sector residencial representó el 87,6 %, el comercial constituyó el 10,5 %, mientras que el 1,9 % restante se distribuyó en el porcentaje industrial (1,6 %), el oficial (0,1 %) y los no regulados (0,2 %). Por su parte, la participación en el consumo para el mismo año representa el comporta-

miento durante la primera década del siglo XXI: residencial 41 %, industrial 28 %, comercial 22,8 %, oficial 3,7 % y no regulados 4,4 % (SDA, 2007).

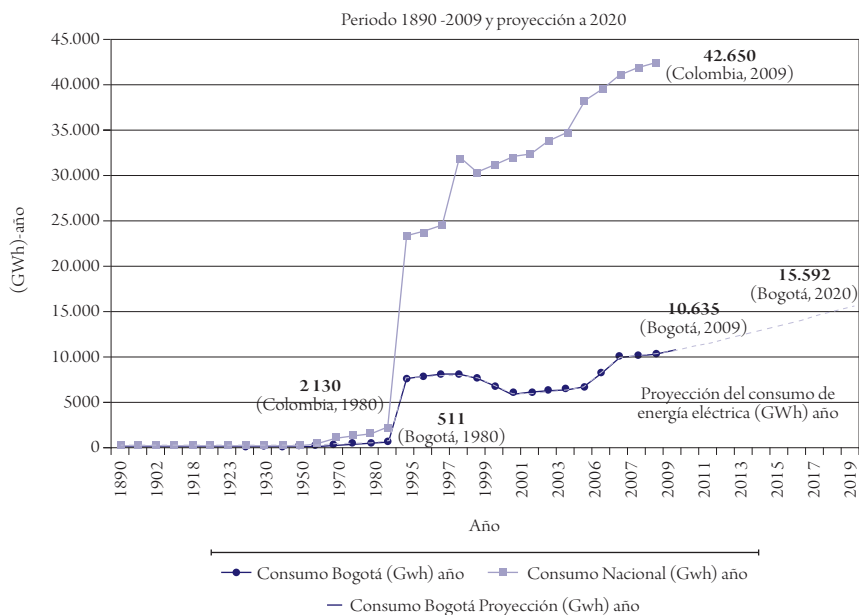


Figura 1. Consumo de energía eléctrica: comparativo nacional y Bogotá D. C.

Fuente: elaboración propia a partir de Empresas Unidas de Energía Eléctrica (1927), García (1999), Lozano (1978), PNUMA y DAMA (2003), SDA (2007), UPME (1999, 2004, 2006c y 2010b).

La planeación de la oferta energética para Bogotá considera que “suponiendo un crecimiento promedio de 3,9 % anual, la demanda de energía eléctrica se triplicaría, y suponiendo un crecimiento promedio anual de 5,1 %, en 2038 se cuadruplicaría el consumo” (EEB, 2010). Es decir, dentro de 18 años, la capital consumiría 30.708 GWh por año, en un escenario de crecimiento económico austero, y 40.944 GWh por año, en condiciones óptimas de la economía. Con este último supuesto, el consumo esperado para el 2020 sería de 15.592 GWh (figura 1). Gran salto en la demanda que sorprendentemente no inquieta a los hacedores de política, quienes no conciben el riesgo de desabastecimiento en Bogotá, ya que, según ellos, “el 93 % del potencial hidroeléctrico del país está sin explotar”<sup>2</sup> (Martínez, citado en EEB, 2010).

2 Esta afirmación es temeraria, ya que determinaría la afectación de todas las grandes cuencas hidrográficas del país. Por otro lado, esta cifra puede no ser cierta, ya que la Organización Latinoamericana de Energía (Olade) reporta que el país solo está aprovechando el 20,3 % de su potencial hidroenergético (Vargas, 2010).

Sin embargo, es prioritario advertir que los estudios a largo plazo no están considerando la variabilidad climática del planeta (natural o de origen antrópico), ni sus efectos regionales y locales sobre el ciclo hidrológico, del cual depende la ciudad y el país para mantener viva su economía. El optimismo tecnocrático y el desconocimiento del impacto de los problemas ambientales globales sobre la oferta y disponibilidad de los recursos naturales puede someter a la capital —y a Colombia— a un apagón más costoso que el acaecido en 1992.<sup>3</sup>

### *Combustibles fósiles y sus derivados*

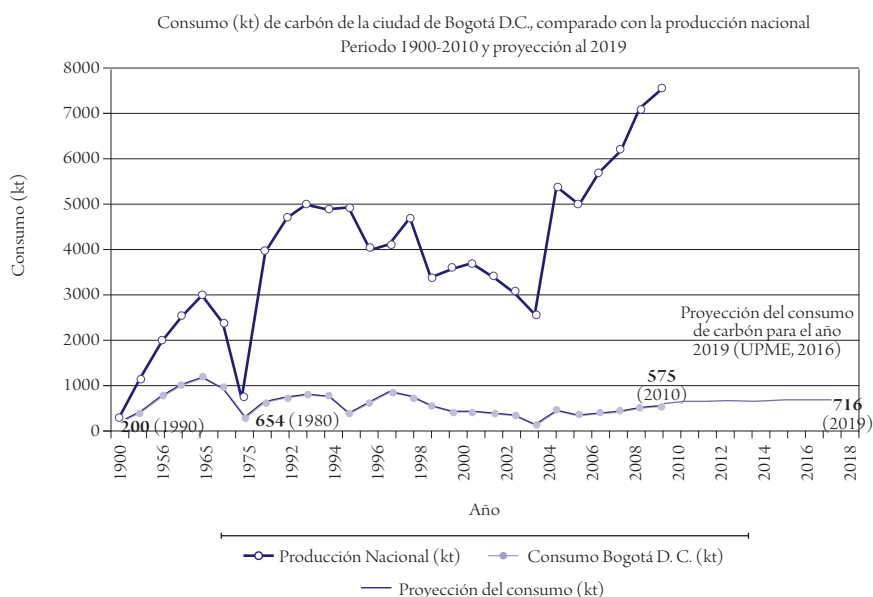
Los combustibles que se consumen en Bogotá suplen principalmente las necesidades de los sectores industria, transporte y doméstico. Siendo los de mayor consumo las gasolinas, los aceites combustibles, el carbón, el gas natural y el gas licuado de petróleo (GLP).

### *Carbón*

El consumo de carbón térmico en Bogotá presentó un crecimiento global sostenido hasta la década de los años sesenta, momento desde el cual disminuyó —en términos globales— un 44 % en relación con el 2010 (figura 2), y quedó principalmente como energético del sector industrial para la generación de vapor de proceso, para la liberación de calor en hornos y secadores y para la generación y cogeneración de electricidad.

---

3 La molesta restricción del 15 % del servicio de energía eléctrica desde el 2 de marzo de 1992 hasta el 1 de abril de 1993 le costó a la economía de la ciudad y al país cerca de USD\$1800 millones (OSSO, 2002) relacionados con: a) la reducción de ingresos del sector eléctrico, b) la disminución de la producción, c) el incremento de los costos unitarios de producción, d) la recuperación del parque generador de las unidades termoelectricas, e) la contratación y costos de generación de 2 barcazas con capacidad de generación de 60 MW cada una y f) la inyección directa de capital a las empresas generadoras de energía como la Empresa de Energía de Bogotá (EEB) (ISA, 2002; Jiménez, 1996; OSSO, 2002). El último y más costoso racionamiento de energía del país se puede atribuir a tres factores, que Germán Jiménez resume así: “[...] negligente comportamiento del gobierno y de los operadores que no prestaron atención al clima y que no previeron el intenso verano que se aproximaba [...] la ineficiencia de los administradores de las centrales térmicas, porque estas no estaban en condiciones óptimas para compensar el déficit que se presentó [...] y al desmedido afán de lucro de EPM que desembalsó la presa de El Peñón vendiendo energía al resto del sistema a los elevados precios de la crisis” (1996).



**Figura 2. Consumo de carbón en Bogotá y comparativo nacional**

Fuente: elaboración propia a partir de Carbones Carinco (2010), Misión Siglo XXI (1996), UPME (2001).

Esta reducción, motivada por factores diferentes al precio, se debió principalmente a la masificación de los derivados del petróleo y, en las últimas 2 décadas, a la presión ejercida por la autoridad ambiental a los usuarios industriales. Sin embargo, y aunque la meta nacional para el posicionamiento de este combustible fósil se concentra en las exportaciones, el análisis de las posibilidades de su uso en el país indica que la demanda continuará creciendo (figura 2) a razón del 7,6 % anual,<sup>4</sup> debido principalmente a que es un excelente sustituto energético en momentos en que los costos del petróleo y el gas natural se incrementan.

## Gasolina y diésel

En la evolución del consumo de hidrocarburos líquidos en la ciudad y su relación con el transporte, se evidencian 4 eventos significativos: a) la relación directa del consumo de gasolina con el parque automotor<sup>5</sup> (figura 3); b) la disminución

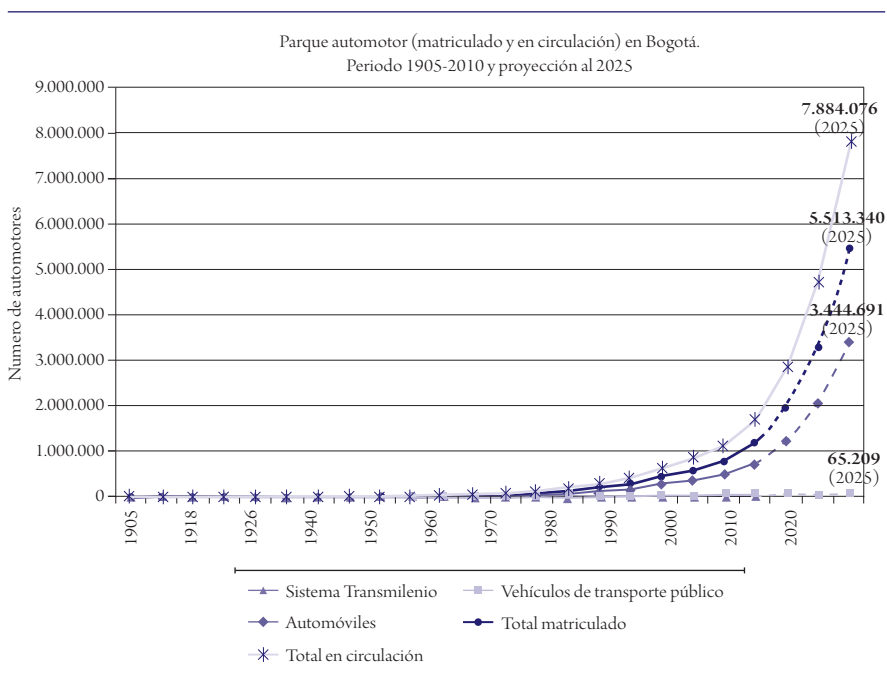
<sup>4</sup> Esta razón de crecimiento fue calculada en el 2006 por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), y está calculada para todo el país. No existe una cifra propia para Bogotá.

<sup>5</sup> Durante el siglo XX el consumo de gasolina fue directamente proporcional al número de vehículos: en 1950, los 11.984 vehículos matriculados consumieron 1556 BPDC; en 1985 el número de vehículos



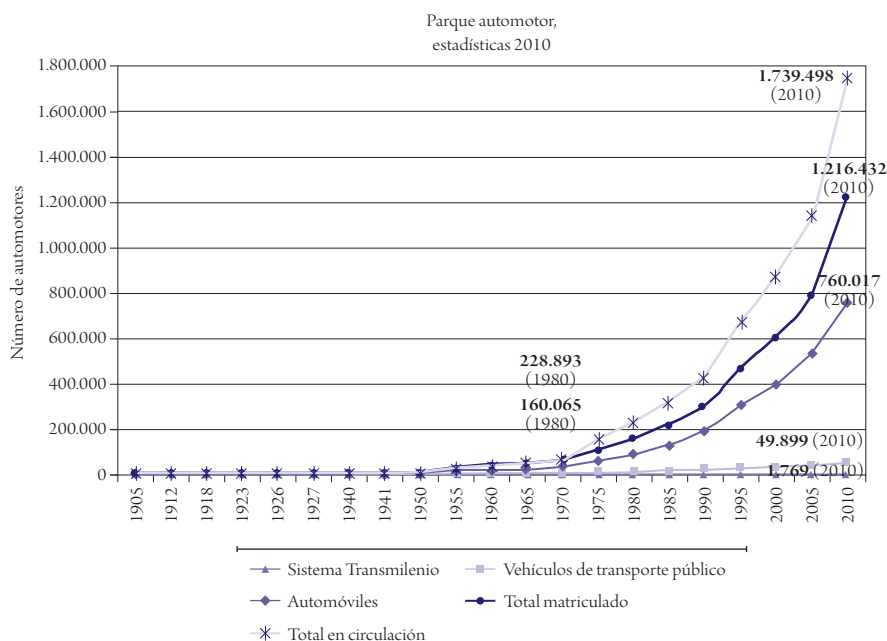
del consumo de gasolina en la primera década del siglo XXI;<sup>6</sup> c) el incremento del consumo de diésel de la flota de taxis, carga y de transporte particular; y d) el incremento del consumo de gas natural en la flota de taxis (SDP, 2008).

Para el siglo XXI, el consumo de combustibles líquidos para la flota vehicular en Bogotá ha sido influenciado por los precios de los hidrocarburos, la renovación del parque automotor y la búsqueda de mayores eficiencias y de mejores relaciones costo-beneficio por parte de los propietarios; y, probablemente, por el modelo de integración de transporte público (SITP). Bajo estas condiciones, la distribución de la demanda de combustible en Bogotá exhibe que la gasolina es a los vehículos urbanos privados (61,7 %) como el diésel es a los vehículos de pasajeros urbanos colectivos (14,6 %), a los de carga urbana (18,8 %) y a los de carga interurbana (31,8 %) (UPME, 2008).



ascendió a 223.396 y el consumo fue de 23.907 BPDC; para el 2000, se alcanzó la cifra de 987.013 vehículos que consumieron 25.712 BPDC de gasolina motor (DNP, 2000; STI, 2001; Ministerio de Transporte, 2010).

6 La tendencia de consumo deja de ser directamente proporcional durante la primera década del siglo XXI, puesto que con un parque automotor de 1.216.432 en el 2010 —5 veces el existente en 1985—, se consumieron 16.179 BPDC —30 % menos que el consumo de 1985—.

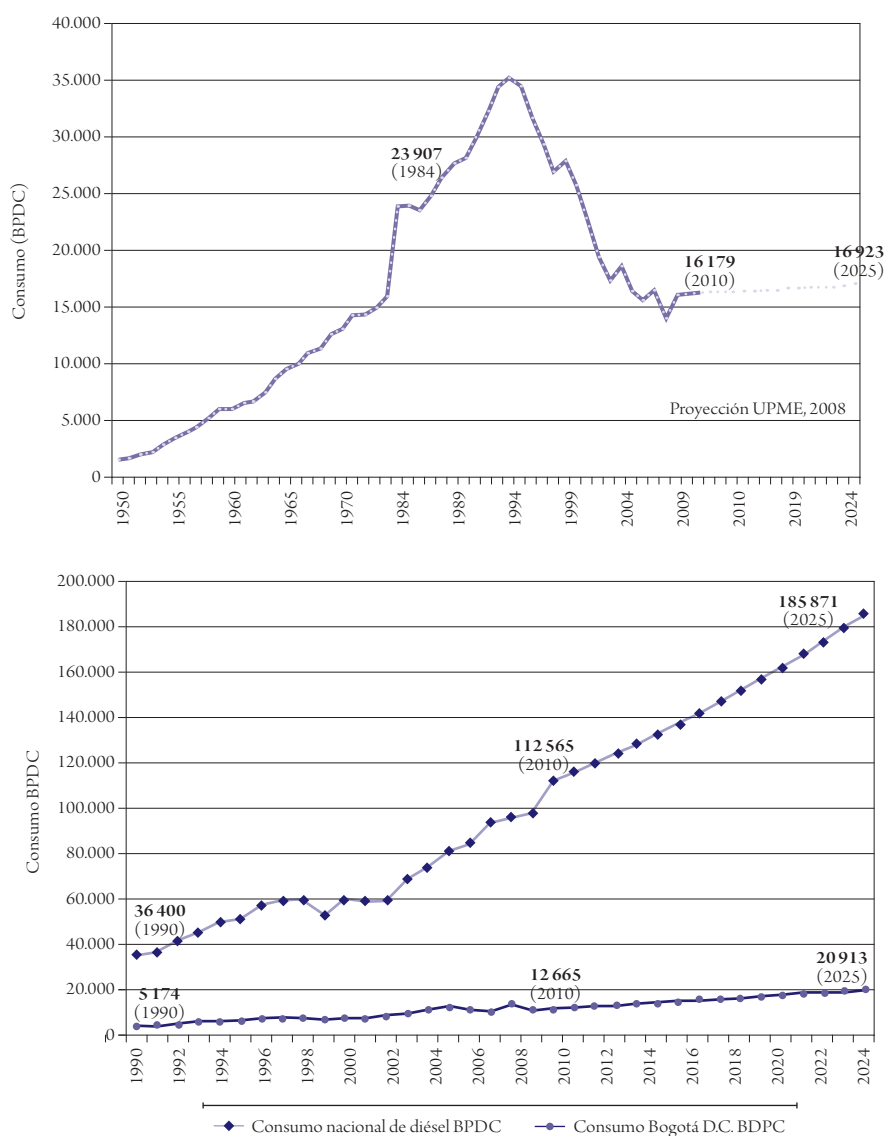


**Figura 3. Tendencia en el aumento del número de vehículos que circulan en Bogotá**

Fuente: elaboración propia a partir de CCB (2007, 2008), Ministerio de Transporte (2010), Museo Vintage (2010), Solano (2010), Vargas y Zambrano (1988).

El estudio prospectivo de la demanda de energía para el sector transporte, elaborado por la UPME (2008), prevé que, para el 2020, la oferta nacional de combustibles aumentará un 25,5 % en gasolina motor y un 51,4 % para diésel. Adicionalmente, estima que los procesos de oxigenación con alcohol carburante al 10 % (E10) y con aceite vegetal al 5 % (B5) no afectarán el consumo en la flota vehicular. Por lo tanto, es de esperar que en un escenario medio de crecimiento económico,<sup>7</sup> el “diésel tenga un crecimiento medio anual del 3,4 % y la gasolina del 0,3 %” (UPME, 2008), con lo que se llegaría a demandas para el 2025 de 20.913 BPDC y 16.923 BPDC, respectivamente (figura 4).

7 La proyección de demanda de energía del sector transporte, desarrollada por la Subdirección de Planeación Energética de la UPME (2008), determinó 5 escenarios, de los cuales, el “escenario base” contempló: a) precios medios basados en la Administración de Información de Energía (EIA, por sus siglas en inglés); b) la entrada de gas natural vehicular (GNV) sigue la tendencia de los últimos años; y c) ningún sistema masivo va a GNV, salvo los sistemas que ya están funcionando en Bogotá.



**Figura 4. Consumo (BPDC) de gasolina motor en Bogotá (1950-2010) y diésel en Colombia y Bogotá (1990-2010), y respectivas proyecciones hacia el 2025**

Fuente: elaboración propia a partir de ACP (2009), DAPD (2000), UPME (2008), Uribe (1996), Ecopetrol (2010).

## El gas natural

El gas natural ingresó a Bogotá luego de la expedición del Régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios<sup>8</sup> (Ley 142 de 1994), fecha a partir de la cual su consumo creció significativamente, alcanzando tasas del 40 %<sup>9</sup> anual durante el periodo 1997-2007 (SDP, 2007) (figura 5). Para los próximos años se espera que este energético, que atiende principalmente las necesidades de los estratos 2 y 3, se consolide como el combustible líder en los sectores doméstico e industrial, alcanzando un consumo total de 883,9 mm<sup>3</sup> para el 2025. Sin embargo, habrá que verificar si las reservas disponibles son suficientes o si será necesario importar el hidrocarburo.

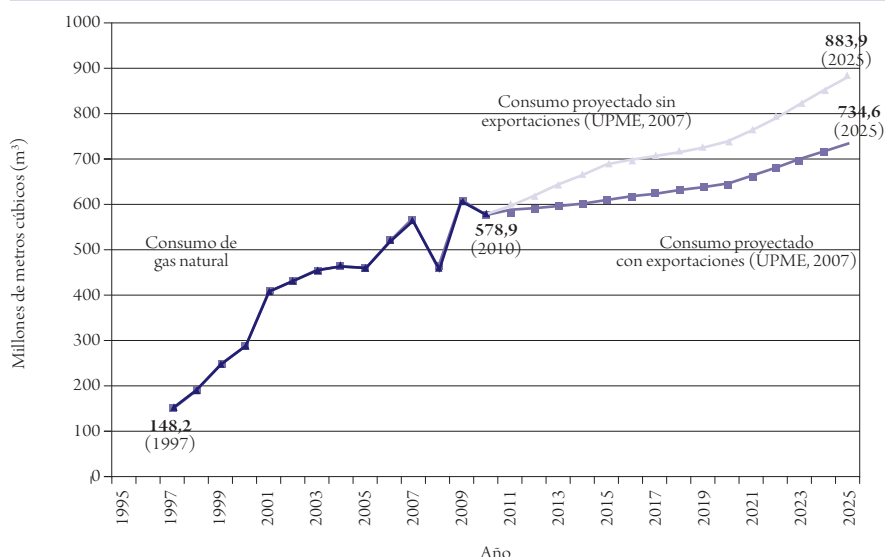


Figura 5. Consumo de gas natural (millones de metros cuadrados) en Bogotá, periodo 1997-2010 y proyección para el 2025

Fuente: elaboración propia a partir de SDP (2007), SUI (2010) y UPME (2007, 2010a).

Actualmente, Bogotá representa el 28,4 % de los usuarios de gas natural del país, con 1.554.713 unidades conectadas a la red; una cobertura residencial del 86,2 % y un consumo de 2010 de 578,9 Mm<sup>3</sup> (Ministerio de Minas y Energía, 2010; SUI, 2010).

8 Este marco jurídico permitió consolidar el ejercicio de las empresas distribuidoras de gas natural y creó la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) (artículo 68), como la unidad administrativa especial encargada de desarrollar el marco regulatorio y normativo de las actividades de transmisión, distribución y comercialización de gas natural.

9 Este valor se explica por la fase de expansión del mercado. De ninguna manera puede ser utilizado para explicar comportamientos futuros, ya que el mercado está prácticamente cubierto.

## El gas licuado de petróleo

Este hidrocarburo, a diferencia del gas natural, incursionó en el portafolio energético nacional mucho antes del establecimiento de los lineamientos de política energética de la década de los años noventa del siglo XX.<sup>10</sup> Su industria data de 1940, cuando fue destinado como combustible para uso doméstico, y alcanzó, en tan solo 20 años, su posicionamiento y supremacía. Infortunadamente, a inicios del siglo XXI, el mercado se contrajo debido a “los cambios regulatorios reflejados en mayores precios al público, el avance del plan de masificación de gas natural en las principales ciudades, y en particular, la importante disminución de los márgenes de comercialización, los cuales registraron los más bajos niveles en comparación con los costos incurridos” (UPME, 2005b). Las decisiones de política energética y un escenario favorable de oferta no fueron suficientes para evitar este comportamiento (figura 6).

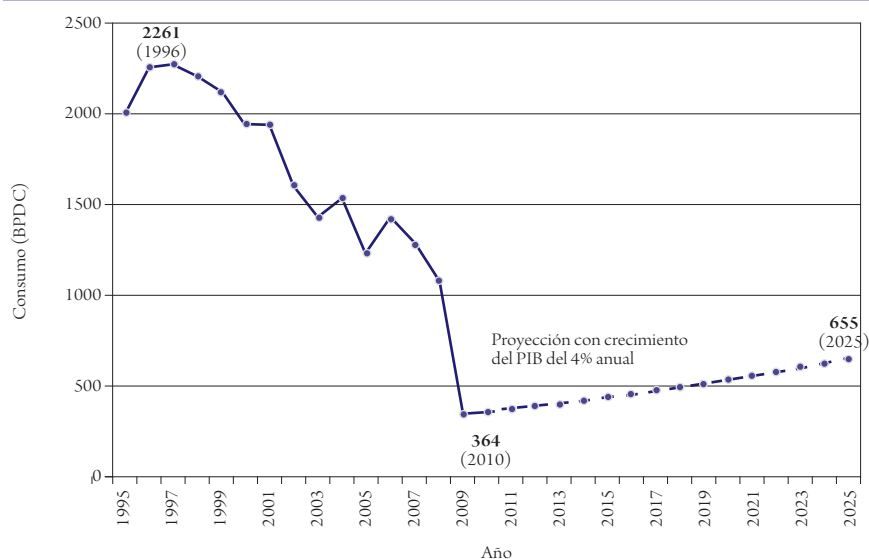


Figura 6. Consumo de gas licuado de petróleo (BDPC) en Bogotá, periodo 1995-2010, y proyección para el 2025

Nota: la proyección para el 2025, desarrollada por el autor, representa un cambio abrupto en la tendencia a la baja del gas licuado de petróleo (GLP) durante 20 años; sin embargo, esta propensión obedece a las estimaciones de la UPME.

Fuente: elaboración propia a partir de SUI (2010), UPME (2002).

10 Esta política se materializó con los documentos del Consejo de Política Social y Económica (Conpes): 2571-Programa para la masificación del consumo de gas (1991), 2646-Estrategia para el desarrollo del programa de gas (1993) y 2801-Estrategias y acciones para fomentar el uso eficiente y racional de la energía (1995); y de planes energéticos nacionales: Plan de Masificación de Gas (1993) y Gas para el Campo (1997).

En este contexto, Bogotá pasó de consumir 2261 BPDC —en 1996— a 364 BPDC en el 2010, y aunque el propósito de la UPME es mejorar la tendencia dado el gran excedente nacional, su aumento significativo en el consumo se lograría en proyectos de generación eléctrica y autogas, más no en el abasto para áreas rurales o zonas menos pobladas.

En síntesis, el consumo de combustibles en la capital y el consumo de energía eléctrica para el 2010 se tradujo en una liberación —por combustión y por uso— de 125,8 TBTU/año, representada en 34,9 TBTU asociados con la energía eléctrica (10.236 GWh), 19,2 TBTU por carbón (575 kt), 29,4 TBTU por gasolina (674 kt, 16.179 BPDC), 26,4 TBTU por diésel (671 kt, 12.665 BPDC), 15,9 TBTU por gas natural (376 kt, 578,9 Mm<sup>3</sup>) y 2 GBTU por GLP (53 kt, 364 BPDC) (figura 7). La magnitud de estas cifras demuestra el voraz apetito energético de Bogotá, el cual indudablemente genera impactos negativos en el ambiente urbano, principalmente en la matriz aire.

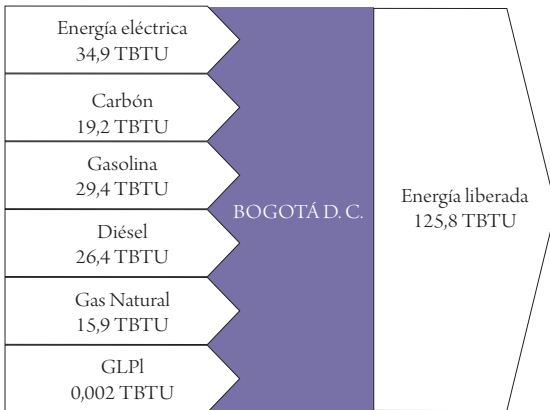


Figura 7. Flujo de la energía (eléctrica y combustibles) en la ciudad de Bogotá, 2010

Fuente: elaboración propia a partir de Díaz (2011).

### Combustión, emisiones y calidad del aire

La combustión —reacción química de oxidación— permite liberar la energía de un combustible al entrar en contacto con el oxígeno del aire. El “precio termodinámico” que el sistema urbano paga por obtener energía a partir de esta reacción, se expresa en especies químicas gaseosas, aerosoles y sólidos que, en función de su concentración, cantidad y lugar de liberación al ambiente, determinan un de-

trimento de la calidad de los compartimentos ambientales, de los ecosistemas y su oferta de bienes y servicios y, evidentemente, de la salud de los ciudadanos.

Este flujo de materia ambientalmente significativa es la emisión, que transportará —dependiendo del tipo de combustible, de la tecnología, de las condiciones de operación y de los sistemas de tratamiento disponibles— óxidos de no metales ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ), material particulado, hidrocarburos no quemados ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ), vapor de agua y gases de arrastre como el  $\text{O}_2$  y el  $\text{N}_2$ , entre otras especies.

Es así que Bogotá, en el 2010, con una generación de 91 TBTU de energía<sup>11</sup> mediante la quema de gasolina motor, diésel, carbón, gas natural y GLP —2376 kilotoneladas (kt)—, liberó<sup>12</sup> a la atmósfera 4759 kt de  $\text{CO}_2$ , 2149 kt de  $\text{NO}_2$ , 1301 kt de  $\text{CO}$ , 114 kt de  $\text{C}_x\text{H}_y$ , 19 kt de material particulado y 34 kt de  $\text{SO}_2$ . Este comportamiento fue creciente a través del tiempo, tanto en energía como en emisiones, lo que permite entrever una correspondencia proporcional entre la cantidad de energía liberada, la cantidad quemada de combustible y el volumen de descargas de especies contaminantes a la atmósfera capitalina (figura 8). La cantidad de especies emitidas a la atmósfera<sup>13</sup> —calculadas con base en la aplicación de balances de materia y energía<sup>14</sup>— permite entrever que la pérdida de la calidad del aire en la ciudad (recuadro 1) se debe principalmente a las emisiones generadas por los procesos de combustión que se llevan a cabo en fuentes móviles y fijas, situación que viene ocurriendo desde finales de la década de los años sesenta (García, 2010).

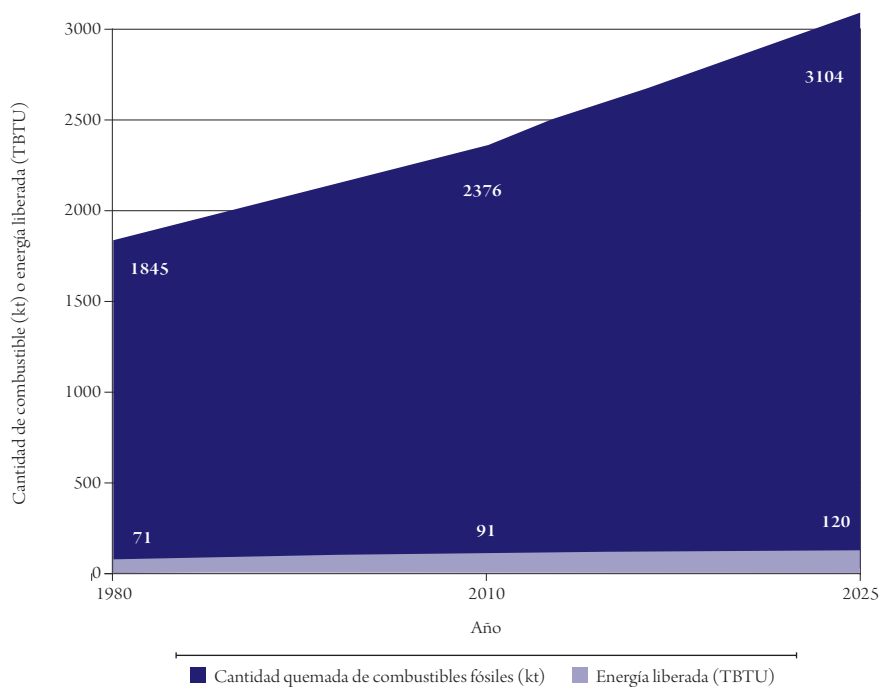
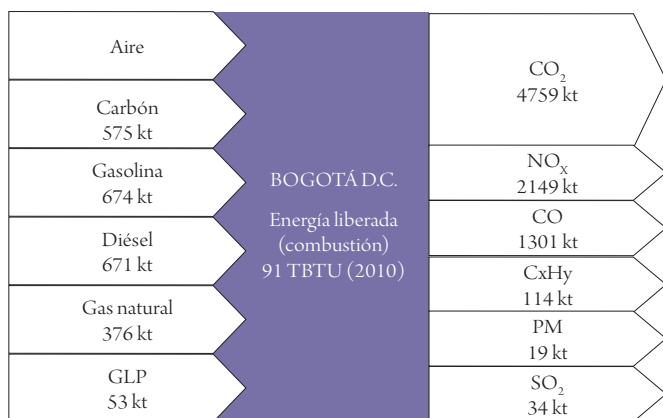
---

11 Es importante aclarar que no toda esta energía es útil, puesto que dependiendo del ciclo termodinámico o las características de la reacción, la entropía tendrá un valor significativo.

12 Los valores presentados en esta sección fueron elaborados por el autor, utilizando un modelo de cálculo soportado por un balance de materia en estado estable.

13 Es importante recalcar que el Distrito Capital presentó en el 2011 un estudio diferente de emisiones a la atmósfera en el documento “Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá”.

14 Es menester aclarar que en este trabajo no se incluyeron ni se consideraron las diferentes estimaciones de emisión desarrolladas por Zárate (2007), Rojas y Peñaloza (2009), Giraldo (2006) y Rodríguez y Berenthz (2009), ya que las metodologías usadas (Aremis, Copert IV, Emisens e IVE, respectivamente) no son comparables entre sí, ni con el método de balance de materia en estado estable. Asimismo, porque estas no son útiles al desarrollar análisis históricos por las restricciones asociadas con los factores de emisión y las suposiciones.



**Figura 8. Metabolismo de combustibles fósiles en la ciudad de Bogotá (2010) y consumo de combustibles fósiles (kt) y energía liberada (TBTU) solo por combustión (no incluye energía eléctrica)**

Fuente: elaboración propia a partir de Díaz (2011).



*Material particulado.* Esta especie mantiene su supremacía como contaminante criterio por las emisiones asociadas con la combustión: 30 kt en 1980, 19 kt para el 2010, y se espera que para el 2025 aumente su participación en un 10 %, alcanzando la cifra de 21 kt (figura 9). Su concentración promedio anual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en toda la red de monitoreo durante 20 años, muestra la persistencia del contaminante, y aunque para los últimos años no se supera la norma de calidad, se mantiene el riesgo para la población expuesta.

*Óxidos de nitrógeno.* Su emisión es significativa (1622 kt en 1980 y 2149 kt en el 2010), y se espera que su participación e importancia se mantenga en el 2025 con 2835 kt. Su concentración promedio anual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) durante 20 años en toda la red de monitoreo ha estado por debajo de la norma (figura 9B), pero por el simple hecho de su alta reactividad en la atmósfera.

*Monóxido de carbono.* La emisión de este gas tóxico ha aumentado a través del tiempo (1025 kt en 1980 a 1301 kt en el 2010). Su promedio máximo para 8 h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ha superado durante 20 años el actual límite máximo permitido ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (figura 9C), alerta temprana de un riesgo por envenenamiento, tanto en espacios confinados como en espacios abiertos, para los habitantes de la capital.

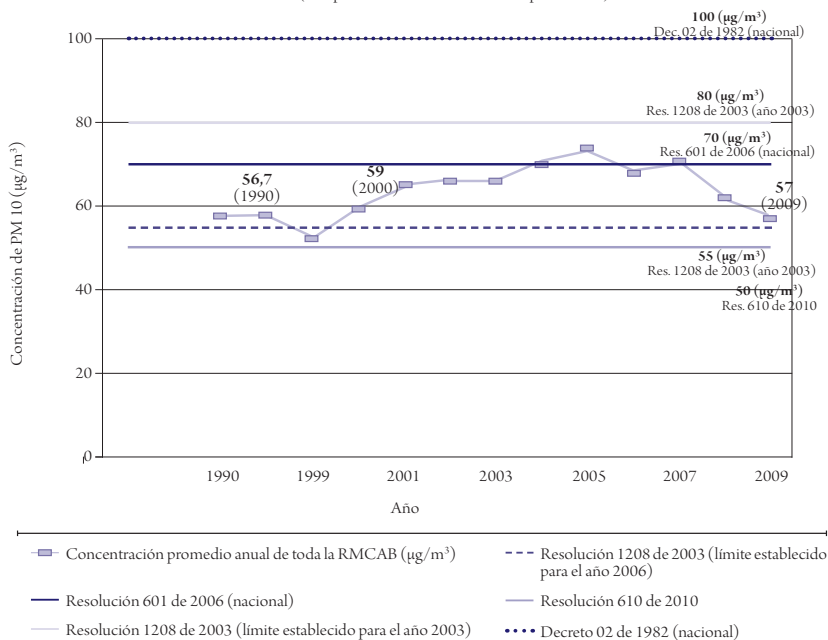
*Dióxido de azufre.* Su emisión, aunque la menor de todas la calculadas, ha generado lluvia ácida en la capital (Díaz *et al.*, 2004; León, 2000), debido a su alta reactividad en la atmósfera. Aunque se esperaba que la emisión disminuyera con la mejora acaecida durante 2 décadas en la gasolina y el diésel, no fue así: en 1980 se liberaron 24 kt y en el 2010, 49 kt. En contraste, el promedio anual desde 1990 muestra una reducción en su concentración (figura 9D), que pasa de  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 1990 a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el 2010; esta situación anómala se explica con base en la teoría de acidificación de sistemas naturales, ya que en Bogotá se presenta el fenómeno de precipitación ácida.

---

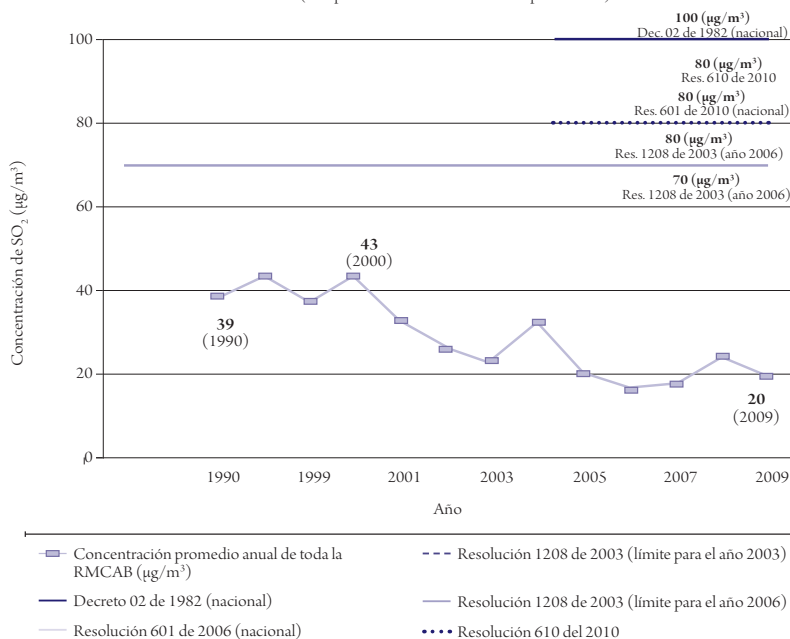
Nota: estos hechos a primera vista son contradictorios; sin embargo, pueden evidenciar una remoción por lluvia de este contaminante bajo escenarios de precipitación ácida, problema recurrente en la ciudad.

Fuente: elaboración propia a partir de Díaz (2011).

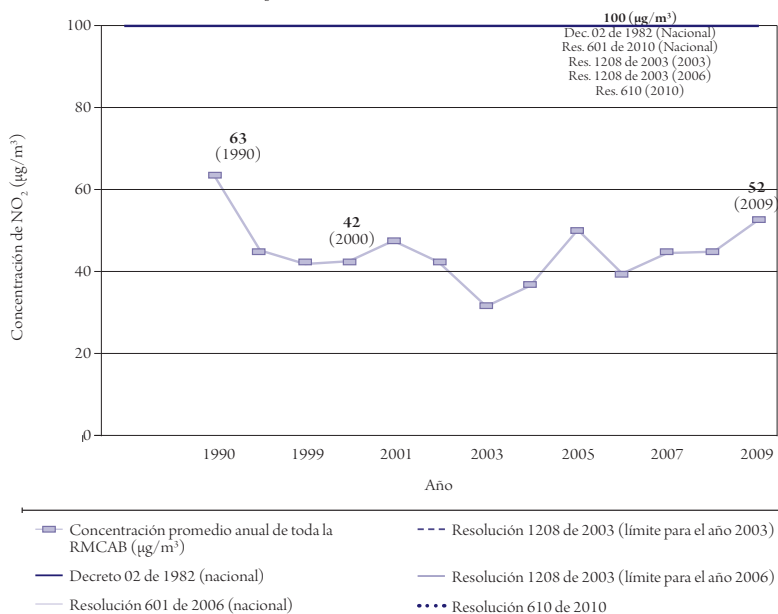
A) Registro promedio anual de PM 10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en toda la RMCAB  
(comparación con límites máximos permisibles)



B) Registro promedio anual de SO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en toda la RMCAB  
(comparación con límites máximos permisibles)



C) Registro promedio anual de  $\text{NO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en toda la RMCAB (comparación con límites máximos permisibles)



D) Concentración promedio máximo 8 horas de  $\text{CO}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en toda la RMCAB (comparación con límites máximos permisibles)

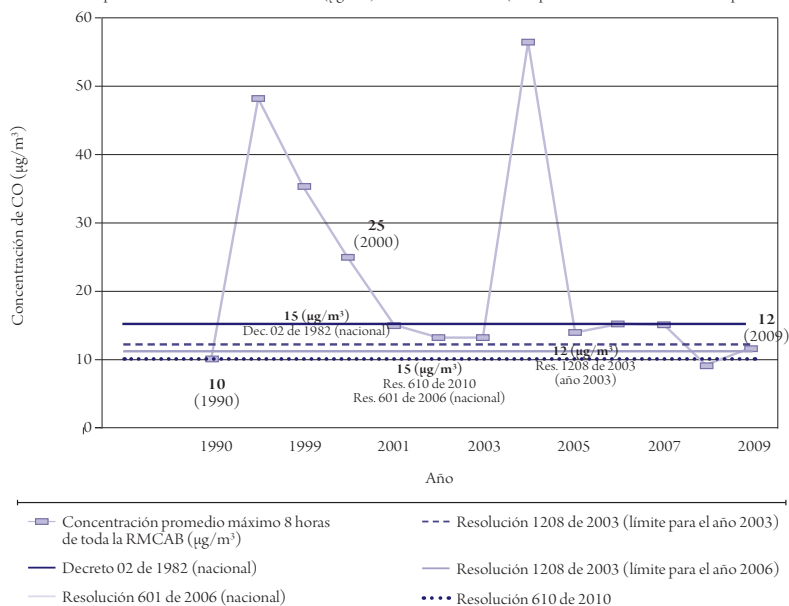


Figura 9. Registro promedio anual en toda la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en Bogotá, periodo 1990-2010, de: a)  $\text{PM}_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), b)  $\text{NO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), c)  $\text{CO}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y d)  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Fuente: elaboración propia a partir de JICA (1991), Misión Siglo XXI (1996), SDA (2008, 2010a, 2010b, 2010c, 2010d, 2010e).

El consumo de energía de la capital, soportado por combustibles convencionales, indefectiblemente determinará la emisión de un gran número de especies químicas, y, a medida que el gasto se incrementa para lograr que la ciudad sea más atractiva para la inversión (Contacto, 2012), la pérdida de la calidad del aire será mayor. Por tal motivo, la contaminación atmosférica será un daño colateral del crecimiento económico de un sistema desigual y excluyente (figura 10).

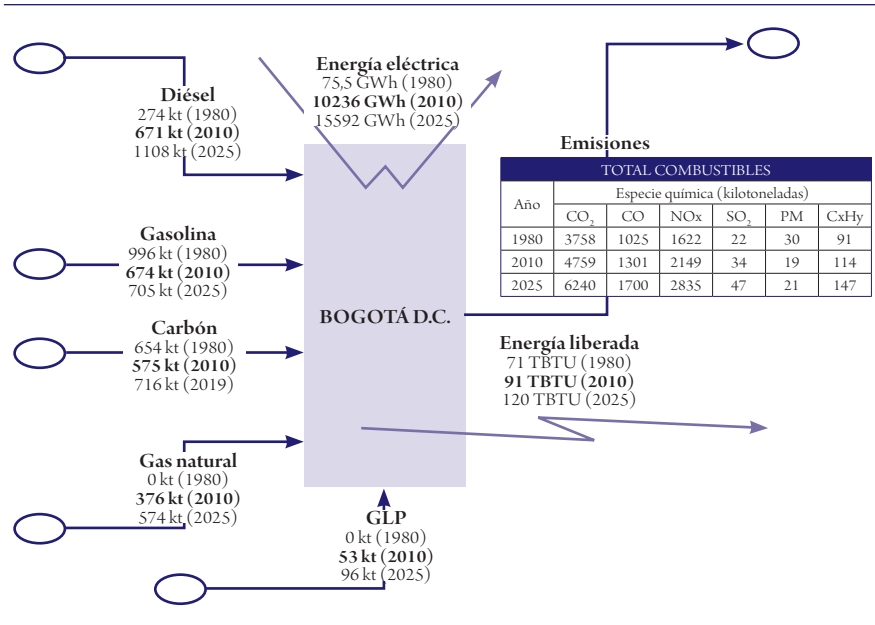


Figura 10. Metabolismo energético de la ciudad de Bogotá, 2010

Fuente: elaboración propia a partir de Díaz (2011).

Por tal motivo, pensar en una descontaminación del aire urbano, manteniendo los paradigmas actuales de crecimiento económico y el *statu quo* de los combustibles fósiles, es una quimera. Sin embargo, un futuro urbano con aire limpio es posible, solo se requiere una convergencia de aspectos técnicos, tecnológicos, económicos y culturales, en coherencia con una clara voluntad política. “Se necesita tiempo —para alcanzar el desarrollo tecnológico necesario [...] para consolidar la economía del hidrógeno [...] para reducir el consumo de hidrocarburos [...] para posesionar las fuentes sustentables de energía” (Nersesian, 2007, p. 382). Tiempo no renovable, tiempo que se agota.

## Conclusiones

El consumo de energía eléctrica evidencia la fuerte dependencia de este energético que ha adquirido la sociedad capitalina a partir de la última década del siglo XX. Tanto el consumo facturado (GWh) como el per cápita (KWh/hab.año) se han incrementado durante los últimos 30 años (76 GWh en 1980 a 10.236 en el 2010; y 18 Kwh/hab en 1980 a 1393 Kwh/hab en el 2010). Es de esperar que la “tecnodependencia” se mantenga en las próximas décadas, situación que determinaría un consumo proyectado de 15.592 Gwh para el 2025, con un valor per cápita de 1864 Kwh/hab.año.

La evolución en el consumo de hidrocarburos durante los últimos 30 años ha obedecido a un proceso de transición energética atribuido a diferentes elementos y a sus relaciones en los escenarios local, regional y global. Las condiciones del mercado, la cultura, las decisiones políticas, la disponibilidad y accesibilidad de los recursos naturales, la variación de los precios, el desarrollo y perfeccionamiento de la técnica y la tecnología y las exigencias y restricciones ambientales han determinado la hegemonía de los energéticos primarios en la ciudad. Esta transición se ha suscitado bajo un esquema de aumento general de consumo, que durante el periodo 1980-2010 expresó un incremento de un 22 % (1924 kt a 2349 kt, respectivamente), y se espera que alcance las 3199 kt en 15 años, logrando un 36 % de acrecimiento.

Específicamente, cada combustible fósil ha tenido su época hegemónica: gasolina (fuentes móviles) y carbón (fuentes fijas) en 1980, gasolina y diésel (fuentes móviles) y carbón y gas natural (fuentes fijas) en el 2010, y se estima que en el 2025 se mantenga esta participación en la demanda energética. En cuanto a la participación en el mercado, la gasolina dominó con un 52 % del total consumido en 1980, y permanece hoy, junto con el diésel, como uno de los combustibles más demandados (29 % de participación cada uno). Para el 2025, se prevé que el diésel sea el combustible que mayor consumo tenga (1108 kt), debido a la presión que ejercerán las futuras fuentes móviles, por lo que representará un 35 % sobre el total.

Todos estos combustibles liberaron en el 2010 casi 3 veces más energía (91 TBTU -26.668 GWh) que la suministrada por la red de transmisión eléctrica (10.236 GWh), comportamiento que puede mantenerse para el 2025. Toda la energía liberada en la combustión y aquella entregada a máquinas y equipos eléctricos y electrónicos e iluminación sumó en total 71,3 TBTU para 1980 y 126 TBTU en el

2010, repercutiendo indudablemente en un gradiente de temperatura en el casco urbano de la ciudad y su periferia, y estableciendo así una causa para el fenómeno de la “isla de calor” que presenta Bogotá.

Si la energía de “origen antrópico” se compara con la cantidad de energía solar que alcanza la superficie terrestre del casco urbano de Bogotá —correspondiente a 390.693 TBTU/año—, se logra entrever que este recurso renovable, potencialmente infinito, podría brindar teóricamente, con tecnología fotovoltaica y solar, una capacidad equivalente a 5500 veces el actual gasto fundamentado en combustibles fósiles y fuerza hidráulica. Infortunadamente, en la actualidad, todo el potencial solar de la ciudad está desaprovechado, pero en un futuro, Bogotá podría beneficiarse gracias a la disminución de los costos de la tecnología asociada con este tipo de energía.

Las emisiones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_x$  y  $\text{CxHy}$  presentan un comportamiento similar en el análisis histórico y en la proyección, tanto en el aumento de la masa emitida (kt), como en la generación per cápita (kg/hab.año) entre los años 1980 y 2010. Esta situación se presentaba debido a la directa relación de estos contaminantes con el tradicional modelo energético de una población que suple sus requerimientos con la quema de combustibles fósiles. La única especie que presentó una reducción fue el material particulado, que pasó de 30 kt emitidas en 1980 a 19 kt en el 2010, y de 7 a 3 kg/hab.año en el mismo periodo. Para el 2025 se espera un incremento tanto de la cantidad de emisiones (6240 kt  $\text{CO}_2$ , 2835 kt  $\text{NO}_x$ , 1700 kt  $\text{CO}$ , 147 kt  $\text{CxHy}$ , 47 kt  $\text{SO}_2$  y 21 de PM) como en relación con el aporte per cápita.

La dinámica de los flujos de entrada y salida de energía para los años 1980 y 2010 evidencia que el metabolismo energético se ha incrementado durante los últimos 30 años. Asimismo, para el 2025 se espera que el uso de energía eléctrica, gas natural, GLP, gasolina, diésel y carbón crezca, definiendo condiciones de alta presión sobre los compartimentos ambientales urbanos y sobre los alrededores, y exponiendo a la ciudad a una pérdida significativa de la calidad del aire; lo anterior en escenarios de alta variabilidad climática y con un riesgo de racionamiento energético que puede inducir un incremento mayor en el consumo de combustibles y coadyuvar con un proceso inadvertido de colapso urbano.

El panorama calculado dentro de 15 años es crítico y no vaticina condiciones ambientales favorables tanto para la ciudad como para los sistemas naturales y

productivos de soporte, razón por la cual, las propuestas de sostenibilidad energética urbana deben propender por la masificación del uso de formas renovables de energía, la reducción del consumo mediante la concienciación ciudadana sobre las ventajas de una vida austera y frugal y el aprovechamiento energético de las basuras. Adicionalmente, se requiere que la gestión ambiental del compartimento ambiental en relación con el aire considere la reactividad química de la atmósfera, ya que seguir pensando que los óxidos de no metales —como los  $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$ — no representan un problema porque sus concentraciones no superan la norma, sería desconocer la fisicoquímica de la atmósfera y considerarla como un sistema inerte y estático.

## Agradecimientos

Esta investigación pudo realizarse con el apoyo de la Universidad Central y el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia, especialmente con el concurso de los profesores Nohra León y Leonardo Emilio Calle.

## Referencias

- Alba, J. (2003). Crisis de crecimiento o ausencia de infraestructura. *Revista Bitácora*, 7. Enero-diciembre. Bogotá.
- Aprile-Guiset, J. (2008, 16 de noviembre). La ciudad prohibida: entrevista de Myriam Bautista. *El Tiempo*, domingo. Bogotá.
- Arango, J. (2009). Calidad de los combustibles en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 29. Bogotá.
- Asociación Colombiana del Petróleo (ACP). (2009). Informe Estadístico Petrolero. ACP. Recuperado de [www.acp.com.co](http://www.acp.com.co).
- Cala, H. (1992). Reformulación de los combustibles. En: Seminario Taller Nacional Transporte Urbano y Medio Ambiente. *Memorias Seminario Taller Nacional sobre Transporte Urbano y Medio Ambiente*. Paipa: Universidad Nacional/Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Carbones Carinco. (2010). Aspectos históricos de la industria del carbón en Colombia. *Carinco*. Recuperado de <http://www.carincoltda.com>.
- Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (2007). *Observatorio de movilidad de Bogotá y la región No. 1: reporte anual de la movilidad*. Bogotá, Colombia. Bogotá: CCB/Universidad de los Andes.

- Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (2008). *Observatorio de movilidad de Bogotá y la región No. 2: caracterización e indicadores del Sistema Transmilenio*. Bogotá: CCB/ Universidad de los Andes.
- Contacto. (2012). Insumos para una ciudad atractiva. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes-Contacto*, 5. Marzo-septiembre. Bogotá.
- De la Pedraja, R. (1985). *Historia de la energía en Colombia: 1537 a 1930*. Bogotá: El Áncora.
- Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD). (2000). Estadísticas históricas Santafé de Bogotá D.C., 1950-1999. Bogotá: Alcaldía Mayor de Santafé de Bogotá D.C.
- Díaz, C. (2011). *Metabolismo de la ciudad de Bogotá: una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Díaz, C., García, H. y Antolínez, A. (2004). Estimativo de precursores y comportamiento de la precipitación ácida —húmeda y seca— en el norte de Bogotá D.C. *Meteorología Colombia*, 8. Marzo. Bogotá.
- Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol). (2010). Estadísticas de ventas nacionales. *Ecopetrol*. Recuperado de <http://www.ecopetrol.com>.
- Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol). (2010). El petróleo y su mundo. *Ecopetrol*. Recuperado de <http://www.ecopetrol.co>.
- Empresa de Energía de Bogotá (EEB). (2010). Nuestra empresa. *EEB*. Recuperado de <http://www.eeb.com.co>.
- Empresas Unidas de Energía Eléctrica. (1927). Gráfico de Kwh producidos en el año (período 1926-1927). En *Bogotá en documentos: ciudad y gobierno en el siglo XX* [Archivo de datos]. Recuperado de <http://www.bogotaendocumentos.com>.
- García, H. (2010). Restricciones ontológicas en la política de calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*. Bogotá.
- García, J. (1999). Cronología del servicio de energía eléctrica de Bogotá cronología de la iluminación. *Cuaderno*, 4. Bogotá.
- Gutiérrez, A. (2006). *Orígenes y desarrollo de la industria química en Colombia*. Bogotá: Guadalupe Ltda.
- Haberl, H. (2001). The Energetic Metabolism of Societies, Part 1: Accounting Concepts. *Journal of Industrial Ecology*, 5 (1).
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas). (2004). *El carbón colombiano: recursos, reservas y calidad*. Bogotá: Ingeominas.
- Japan International Cooperation Agency (JICA). (1991). *Plan para el control de la contaminación del aire en Santafé de Bogotá*. Bogotá: JICA.
- Jiménez, G. (1996). *Colombia se apaga: el caos del sector eléctrico*. Bogotá: Planeta.



- K'Akumu, O. (2007). Land Use Management Challenges for the City of Nairobi. *Urban Forum*, 18 (1). Amsterdam.
- León, A. (2000). Particularidades de la lluvia ácida en Santafé de Bogotá D.C. *Meteorología Colombiana*, 1. Bogotá.
- Lozano, A. (1978). Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá. En: Cámara de Comercio de Bogotá. *Bogotá: estructura y principales servicios públicos*. Bogotá: Cámara de Comercio de Bogotá.
- Medina, Y. (1993). Programas y proyectos de importancia a nivel nacional. En Seminario Taller Nacional Transporte Urbano y Medio Ambiente. *Memorias Seminario Taller Nacional sobre Transporte Urbano y Medio Ambiente*. Paipa: Universidad Nacional/ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). Cobertura del servicio de gas natural, segundo trimestre de 2010. *Minminas*. Recuperado de <http://www.minminas.gov.co>.
- Ministerio de Transporte. (2010). Estadísticas sector transporte: parque automotor. *Mintransporte*. Recuperado de <http://www.mintransporte.gov.co>.
- Misión Siglo XXI. (1996). *Perfil ambiental de Santafé de Bogotá*. Bogotá: Corporación Misión Siglo XXI.
- Museo Vintage. (2010). *Historia del transporte* [Archivo de datos]. Recuperado de <http://www.museovintage.com>.
- Nersesian, R. (2007). *Energy for the 21st Century*. Nueva York: M.E. Sharpe Inc.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (DAMA). (2003). *Informe GEO Bogotá: perspectivas del medio ambiente urbano*. Bogotá: PNUMA.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2007). *Atlas ambiental de Bogotá D.C.* Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Secretaría Distrital de Ambiente.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2008). *Bogotá, como vamos en ambiente*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Secretaría Distrital de Ambiente.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2010a). *Informe anual de la calidad del aire en Bogotá: año 2003*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado de <http://www.secretariadeambiente.gov.co>.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2010b). *Informe anual de la calidad del aire en Bogotá: año 2004*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado de <http://www.secretariadeambiente.gov.co>.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2010c). *Informe anual de la calidad del aire en Bogotá: año 2005*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado de <http://www.secretariadeambiente.gov.co>.

- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2010d). *Informe anual de la calidad del aire en Bogotá: año 2006*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado de <http://www.secretariadeambiente.gov.co>.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2010e). *Informe anual de la calidad del aire en Bogotá: año 2008*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado de <http://www.secretariadeambiente.gov.co>.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). (2010f). *Informe anual de la calidad del aire en Bogotá: año 2009*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Secretaría Distrital de Ambiente. Recuperado de <http://www.secretariadeambiente.gov.co>.
- Secretaría Distrital de Planeación (SDP). (2007). *Síntesis de coyuntura No. 28: consumo de gas natural en Bogotá*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Dirección de Políticas Sectoriales (SDA).
- Secretaría Distrital de Planeación (SDP). (2008). *Síntesis de coyuntura No. 78*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá-Dirección de Políticas Sectoriales (SDA).
- Sistema de Gestión y Seguimiento a las Metas del Gobierno (SIGOB). (2010). *Infraestructura y servicios públicos, cobertura de energía en el sistema interconectado nacional*. Recuperado de <http://www.sigob.gov.co>.
- Sistema Único de Información de Servicios Públicos (SUI). (2010). *Reportes por servicio*. Recuperado de <http://http://www.sui.gov.co>.
- Solano, M. (2010). Un viaje del tranvía a Transmilenio. *Portal de la ciudad de Bogotá*. Recuperado de <http://www.bogota.gov.co>.
- Toledo, V. (2008). Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7. Quito.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (1999). *Plan de expansión de referencia: generación y transmisión 1998-2010*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2001). *Plan de expansión de referencia: generación y transmisión 2001-2015*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2002). *La cadena de gas licuado del petróleo en Colombia: versión 2001-2002*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2004). *Plan de expansión de referencia: generación y transmisión 2004-2018*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2005a). *La cadena del carbón: el carbón colombiano, fuente de energía para el futuro*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.

- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2005b). *La cadena de gas licuado del petróleo en Colombia: actualización 2005*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2005c). *La cadena de gas natural en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2006a). *Colombia, país minero: plan nacional de desarrollo minero con visión al año 2019*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2006b). *Mercado nacional e internacional del carbón colombiano*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2006c). *Boletín estadístico de minas y energía 1999-2005*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2008). *Boletín estadístico de minas y energía: 2003-2008*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2010a). *Plan de expansión de referencia: generación y transmisión 2010-2024*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2010b). *Boletín estadístico de minas y energía: 1990-2010*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2010c). Sistema de información eléctrico colombiano (SIEL). UPME. Recuperado de: <http://www.upme.gov.co>
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2010d). Sistema de información de petróleo y gas colombiano: proyecciones de demanda de gas natural en el sector residencial y comercial. UPME. Recuperado de <http://www.sipg.gov.co>.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2010e). Sistema de información de petróleo y gas colombiano: proyección de demanda de gas natural, año 2007. UPME. Recuperado de <http://www.sipg.gov.co>.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2010f). *Boletín estadístico de minas y energía 1990-2010*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía-UPME. Recuperado de <http://www.upme.gov.co>.
- Uribe, E. (1996). Contaminación generada por fuentes móviles en Santafé de Bogotá. En *Memorias del Segundo Curso Seminario Internacional sobre Control de la Contaminación por Automotores, 25 al 29 de noviembre de 1996*. Bogotá: Instituto de Estudios Ambientales/Universidad Nacional de Colombia-Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Vargas, P. (2010, 29 de octubre). Solo se aprovecha el 20 % del potencial hidroeléctrico: EEB. *Diario La República*. Bogotá.
- Vargas, J. y Zambrano, M. (1990). La población indígena de Santafé. En J. Vargas. *La sociedad de Santafé colonial*. Bogotá: Cinep.