

# METABOLISMO ENERGÉTICO DE BOGOTÁ D.C.: SEÑAL DE INSOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

**Cristian Julián Díaz Álvarez**

Universidad Central. Departamento de Ingeniería Ambiental

[cdiaza2@ucentral.edu.co](mailto:cdiaza2@ucentral.edu.co)

Carrera 5 No. 21 -38. Bogotá D.C., Colombia. Tel: (571) 323 9868 Ext. 3101

## Resumen

La “producción”, almacenamiento y uso de la energía son actividades fundamentales para poder realizar cualquier tipo de trabajo encaminado al sostenimiento de la población, al mantenimiento y crecimiento de la estructura económica y, por supuesto, a la búsqueda del desarrollo de una ciudad. Bogotá D.C., como organismo, ha sobrevivido gracias a la transformación de la energía, sea esta renovable o no, a través de “transiciones” ocurridas por el crecimiento económico y por la influencia de las fuerzas técnica, económica, política, ambiental y social. Proceso que fue analizado con el cálculo del metabolismo urbano, que contempló los pilares del portafolio energético capitalino: la energía eléctrica y los combustibles fósiles y sus derivados. La magnitud de las cifras de consumo se traduce en una liberación – por combustión y por uso – de 125.8 TBU, que demuestra el voraz apetito de la capital colombiana, el cual indudablemente genera impactos negativos en el ambiente urbano y regional.

**Palabras Clave:** Energía, Metabolismo Urbano, Sustentabilidad.

## Abstract

The "production", storage and use of energy are key activities to be able to perform any kind of work aimed to population sustainability, maintenance and growth of the economic structure and, of course, the quest for city development. Bogotá D.C., like any organism, has been survived thanks to energy transformation - renewable or not-, through "transitions" occurred by economic growth and influence of the technical, economic, political, environmental and social forces. Process analyzed thanks to the calculation of urban metabolism, which contemplate the pillars of the capital energy portfolio: electrical energy and fossil fuels and their derivatives. The magnitude of consumption shows that city release 125.8 TBTU, value that demonstrates the voracious appetite of the Colombian capital, which undoubtedly generates negative impacts on the urban and regional environment.

**Key Words:** energy, urban metabolism, sustainability.

## 1. El devenir energético de Bogotá

Bogotá, como organismo, ha sobrevivido gracias a la transformación de la energía, la cual se expresa principalmente a través de la red de transmisión eléctrica, de la combustión de hidrocarburos y en la incidencia de la radiación solar sobre la superficie capitalina. Siendo la energía eléctrica y los combustibles fósiles la clave en el portafolio de la ciudad, su

importancia y protagonismo en la “*transición energética*” han determinado el salto de asentamiento urbano a metrópoli extendida en tan sólo cincuenta años.

### 1.1. La energía eléctrica

Desde el montaje de la primera planta eléctrica de vapor alimentada por carbón (1890) y la entrada de la planta hidroeléctrica de “El Charquito - 350 kW”<sup>1</sup>(1900), hasta el enlace con los sistemas regionales a través de una red nacional de alta tensión – Sistema Interconectado Nacional (1967) -, el primer siglo de la energía eléctrica en la ciudad se caracterizó por los problemas de suministro.

Las crisis presentadas a finales del siglo XIX y principios del XX, las restricciones de 1976 y 1981, y el racionamiento del año 1992 (Cuadro 1) tuvieron elementos comunes: la variabilidad climática y eventos extremos de sequía. Naturalmente, cada uno de ellos tuvo detonantes particulares, a saber: a) en los albores del suministro, la incipiente tecnología y los problemas financieros de las nacientes empresas determinaron no sólo apagones recurrentes sino la quiebra de las compañías, b) los racionamientos de 1977 y 1981 - que afectaron al país - “*fueron consecuencia del atraso en la construcción de nuevas plantas, ocasionado por las dificultades financieras de las empresas*” (ISA, 2002:70), y c) la reciente crisis nacional “*fue una coincidencia de factores desfavorables que ocurrieron en un mismo momento, siendo el más importante la ocurrencia del fenómeno del Niño*” (Restrepo, 1992, citado por ISA, 2002:71).

**Cuadro 1. El apagón de 1992**

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 termoeléctricas, e) la contratación y costos de generación de dos barcasas con capacidad de generación de 60 MW cada una y, f) la inyección directa de capital a las empresas generadoras de energía como la EEB (ISA, 2002; Jiménez, 1996; OSSO, 2002). El último y más costoso racionamiento de energía del país se puede atribuir a tres factores<sup>2</sup>, que Germán Jiménez resume así (1996):

*“...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 éstas 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”.*

Elaboración propia

Estos infaustos eventos demuestran que, para evitar futuras crisis energéticas, es absolutamente esencial y prioritario evitar el desabastecimiento de las fuentes primarias, aumentar la eficiencia en la generación y reducir las pérdidas en la distribución y transporte de la energía.

<sup>1</sup> Esta planta se encontraba ubicada en el municipio de Soacha, y heredó el nombre de la hacienda “El Charquito” en la que se emplazó esta hidroeléctrica, la cual se puso en marcha el 6 de agosto de 1900, el primer cumpleaños de Bogotá en el siglo XX.

<sup>2</sup> Es importante aclarar que el sistema hidroeléctrico nacional es vulnerable, puesto que depende de los complejos regímenes de los caudales de los cuerpos de agua que los abastecen.

## 1.2. El carbón

La primera crisis energética de la ciudad, asociada al déficit e incremento del precio de la madera, determinó el uso del carbón mineral como fuente primaria de energía en todos los sectores usuarios durante la época republicana (De la Pedraza, 1985). Este irremplazable y esencial combustible soportó la naciente infraestructura de la capital de finales del siglo XIX y principios del XX: la línea del tren Facatativá y Bogotá (1890), el ferrocarril del Norte (1892), el servicio de energía eléctrica (1890), la industria cervecera moderna (1891), la industria del vidrio plano (1911) y la industria de la cerámica blanca (1900), entre otras<sup>3</sup> (Alba, 2003; Gutiérrez, 2006; Ingeominas, 2004).

La intensificación de los procesos de urbanización y de las actividades industriales durante la primera mitad del siglo XX determinó la hegemonía<sup>4</sup> de este mineral. Pero a partir de la década de 1960, y debido a la recomposición de la canasta energética del país, el carbón dejó de ser el combustible de consumo mayoritario<sup>5</sup>, cediéndole paso a los derivados del petróleo y al gas natural (UPME, 2006).

En el siglo XXI, el carbón que consume Bogotá sigue proviniendo de actividades mineras de Cundinamarca, cuya explotación es poco tecnificada y de subsistencia (UPME, 2005). Razón por la cual, no es común que el mineral sea sometido a beneficios como el lavado y secado, conllevando impactos negativos sobre la eficiencia en su combustión y sobre la calidad del aire urbano, debido al considerable porcentaje de cenizas, impurezas y humedad que contiene.

## 1.3. El petróleo y sus derivados

El uso de combustibles líquidos derivados del petróleo en la capital se estableció con la entrada en circulación del primer vehículo particular en 1905 (Museo Vintage, 2010) y con la llegada de los automóviles de servicio público (1910) y de buses inter barriales (1929). Luego, con la abrupta y definitiva salida de operación de los tranvías eléctricos<sup>6</sup> (1951) y su posterior remplazo por buses a gasolina (1952) y diesel (1959) de empresas privadas y el distrito, los derivados livianos y medios del petróleo se consolidaron como los combustibles líder para la movilización del parque automotor en la capital.

El uso de la gasolina y diesel con la técnica y tecnología disponible para inicios de la década de 1990 determinó que Bogotá, “*con 10 veces menos vehículos que Tokio, arrojará a la atmósfera 2 veces más toneladas de CO y aproximadamente las mismas toneladas de hidrocarburos*” (Cala, 1992:77). Esta situación ambiental conllevó que Ecopetrol, a través de

---

<sup>3</sup> La Cervecería Alemana Bavaria, fundada por Leo Kopp, inició la producción en mayo de 1891 en la fábrica situada en lo que es hoy la carrera 13 con calle 28, produciendo 6 m<sup>3</sup> por día. La vidriería Fenicia, fundada por los hermanos Kopp, funcionó hasta la segunda mitad del siglo XX. La fábrica de lozas Faenza, ubicada en lo que es hoy la calle 22 con carrera 5, operó hasta 1922 (Gutiérrez, 2006).

<sup>4</sup> A partir de la década de 1950, el carbón se consolidó en el sector industrial macro consumidor energético: la industria del cemento, de la cerámica roja - ladrillo - y generación de vapor.

<sup>5</sup> No obstante, desde 1970 el carbón se concibió como un energético estratégico generador de divisas. Razón por la cual, Colombia, a partir del proyecto El Cerrejón Zona norte, registró un despegue tecnológico de la minería e inició su posicionamiento mundial como productor (INGEOMINAS, 2004; UPME, 2006).

<sup>6</sup> Las pérdidas acaecidas en la infraestructura como consecuencia del Bogotazo, sumadas a medidas e interés tendientes a favorecer el uso de buses privados - préstamo de los Estados Unidos por valor de 5 millones de dólares para la reconstrucción -; así mismo, la fuerte oposición del Dr. Fernando Mazuera Villegas - alcalde de la capital entre 1947 y 1949 -, y los conceptos técnicos que argumentaron la mayor versatilidad, movilidad y relación costo - beneficio de los autobuses convencionales, fueron el golpe mortal al tranvía (Aprile - Gnisset, 2008; Museo Vintage, 2010).

la División Técnica y el Instituto Colombiano del Petróleo, iniciara un proceso gradual de mejora de la calidad de los combustibles, inicialmente de las gasolinas y posteriormente del diesel que se vendía en Bogotá (Cuadro2).

#### **Cuadro 2. Evolución de la calidad de gasolina y diesel en Colombia (periodo 1990 – 2010).**

Para el caso de las gasolinas, en los últimos veinte años se han logrado grandes avances: a) el primer diagnóstico de calidad (década de los ochenta), b) la eliminación del tetra-etilo de plomo<sup>7</sup> (1990), c) la disminución de la Presión de Vapor Reid – RVP, por sus siglas en inglés, de 11,5 psi a 9 psi (1991), de 9 a 8,5 (1993) y de 8,5 a 8 (1997), d) la inyección de aditivos detergentes (1993), e) el incremento del número de octanos (1996), f) la adición de etanol carburante (2005), g) la reducción del número de aromáticos, pasando de 28% a 20 % en la gasolina Regular, y de 35% a 22% en la gasolina Extra o Premium (2009), y h) la disminución del contenido de azufre hasta 300 ppm (2010) (Cala, 1992; Media, 1993; Arango, 2009).

Con el diesel, el principal logro ha sido reducir el contenido de azufre de 9000 ppm existente en la década de los ochenta, a 500 ppm<sup>8</sup> para el 2010. Resultado obtenido inicialmente, y de manera inmediata, con la mezcla de diesel importado de bajo azufre con diesel nacional, y posteriormente con reconversión tecnológica. Este proceso ha tenido un alto costo para las finanzas públicas: \$ 327 millones de dólares en gasto<sup>9</sup>, sólo en el 2008, y \$ 700 millones de dólares de inversión para la planta de hidro – tratamiento en el Complejo Industrial de Barrancabermeja - CIB. El diesel con menos de 50 ppm se logrará distribuir en Bogotá D.C. luego de una inversión de \$ 4100 millones de dólares en el Plan Maestro de la Refinería de Cartagena y de \$ 2400 millones de dólares en el CIB<sup>10</sup> (Arango, 2009).

La energía eléctrica y los hidrocarburos se han constituido, por más de un siglo, en los pilares del portafolio energético de la capital, su hegemonía se ha mantenido a través de los diferentes periodos históricos, permitiendo que Bogotá haya dado el salto de asentamiento urbano a metrópoli extendida en tan sólo cincuenta años.

## **2. Metabolismo Energético**

El estudio del metabolismo energético de la ciudad contempla principalmente los dos energéticos fundamentales del portafolio capitalino: la energía eléctrica y los combustibles fósiles y sus derivados. La primera es la forma de energía más personalizada 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.

### **2.1. Energía eléctrica**

Aunque el suministro de energía eléctrica en Bogotá D.C. 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 macro proyectos hidroeléctricos del Guavio y

<sup>7</sup> A partir del 1° de enero de 1991, se eliminó este aditivo antidetonante en las gasolinas importadas, que para la fecha, suplían el 25% de la demanda nacional.

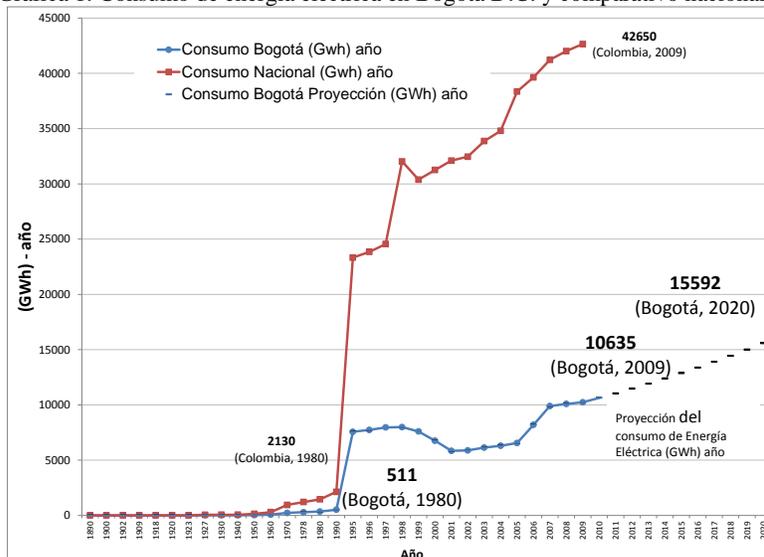
<sup>8</sup> Desde el mes de julio de 2008 se empezó a distribuir en Bogotá diesel con menos de 500 ppm, mientras que, desde el 1° de enero de 2009 el país consumía un diesel con 2500 ppm de azufre.

<sup>9</sup> “El país importó 600.000 barriles por mes sólo para poder cumplir los compromisos de bajo contenido de azufre en el diesel” (Arango, 2009:106).

<sup>10</sup> Estos valores no sólo contemplan la inversión para la reducción del contenido de azufre en el diesel.

Chivor, y por las dos cadenas de generación asociadas a la cuenca media y baja del Río Bogotá<sup>11</sup>. La ciudad, por su magnitud, consume el 24% de la energía eléctrica del país (EEB, 2010), alcanzando un total anual de 10.236 GWh (Gráfica 1), y una cobertura del 99,98% (UPME, 2010).

Gráfica 1. Consumo de energía eléctrica en Bogotá D.C. y comparativo nacional<sup>12</sup>



Elaboración propia con información de: Empresas Unidas de Energía Eléctrica (1927), García (1999), Lozano (1978), PME (2003), PNUMA & SDA (2003), Rodríguez Et al (1997), SDA (2007), UPME (2004), UPME (2006), UPME (1999), UPME (2010).

Para el año 2010, el total de usuarios -clasificados de acuerdo con la Ley 143 de 1994<sup>13</sup> -, fue de 1.924.641, de los cuales el sector residencial<sup>14</sup> representó el 87,6%, el comercial constituyó el 10,5%, mientras que el 1,9% restante se distribuyó en el industrial (1,6%), el oficial (0,1%) y los no regulados (0,2%)<sup>15</sup>. Por su parte, la participación en el consumo para el mismo año representa el comportamiento durante la primera década del siglo XXI: residencial 41%, industrial 28%, comercial 22,8%, oficial 3,7% y no regulados 4,4% (SDA, 2007).

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 dieciocho 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

<sup>11</sup> El corazón de estas dos cadenas es el embalse del Muña (1943), que almacena principalmente el agua del Río Bogotá, brindando un caudal de 75 m<sup>3</sup>/s que permite una capacidad instalada de 1175,5 MW.

<sup>12</sup>Debido a la escala, a la proximidad de los valores iniciales a cero y a la enorme diferencia de éstos con los actuales, la curva se ubica en el límite inferior del eje x desde inicios del siglo XX hasta mediados de éste.

<sup>13</sup> Ley por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional. Así mismo define dos categorías de usuarios del servicio: regulado y no regulado. El **usuario regulado** se considera la persona natural o jurídica cuyas compras de electricidad están sujetas a tarifas establecidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas. Por su parte, el **usuario no regulado** es una persona natural o jurídica con una demanda máxima superior a un valor en MW o a un consumo mensual mínimo de energía en MWh, definidos por la CREG, por instalación legalizada, a partir de la cual no utiliza redes públicas de transporte de energía eléctrica y la utiliza en un mismo predio o en predios contiguos. Sus compras de electricidad se realizan a precios acordados libremente entre el comprador y el vendedor (Ley 143 de 1994; XM, 2010).

<sup>14</sup>Es evidente que el sector residencial domina tanto la participación en el número de usuarios como en la demanda, la cual se distribuye de manera disímil entre los estratos 1 al 6 de la población: el estrato 6 es el de mayor consumo promedio, y en adelante, éste desciende a medida que disminuye el estrato, con excepción de los estratos uno y dos. (SDA, 2007:189).

<sup>15</sup> Este comportamiento se ha mantenido en promedio desde el año 1998.

economía<sup>16</sup>. Con este último supuesto, el consumo esperado para el año 2020 sería de 15.592 GWh (Gráfico 1). Este gran salto en la demanda de energía eléctrica 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>17</sup> (Martínez, 2010, citado por EEB, 2010).

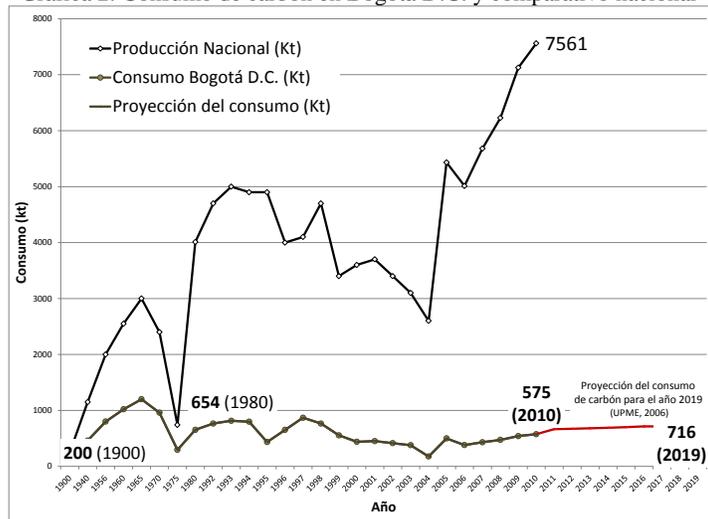
Sin embargo, es prioritario advertir que los estudios a largo plazo no están considerando la variabilidad climática del planeta (natural o de origen antrópico), ni sus efectos regionales y locales sobre el ciclo hidrológico, del cual depende la ciudad y el país para mantener viva su economía. El optimismo 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 nuevo y más costoso apagón.

## 2.2. 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.

**2.2.1. Carbón.** El consumo de carbón térmico en Bogotá presentó un crecimiento global sostenido hasta la década de 1960, momento desde el cual disminuyó - en términos globales – un 44% con relación al año 2010 (Gráfica 2), quedando 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.

Gráfica 2. Consumo de carbón en Bogotá D.C. y comparativo nacional<sup>18</sup>



Elaboración propia con información de: Carinco (2010); Misión Siglo XXI (1996), UPME (2001), UPME (2006).

<sup>16</sup> En años venideros, y manteniendo las tendencias actuales, se espera que el sector residencial continúe dominando la estructura de la demanda, mientras que la participación del sector industrial puede disminuir debido a la desindustrialización y a la “terciarización” de la economía capitalina.

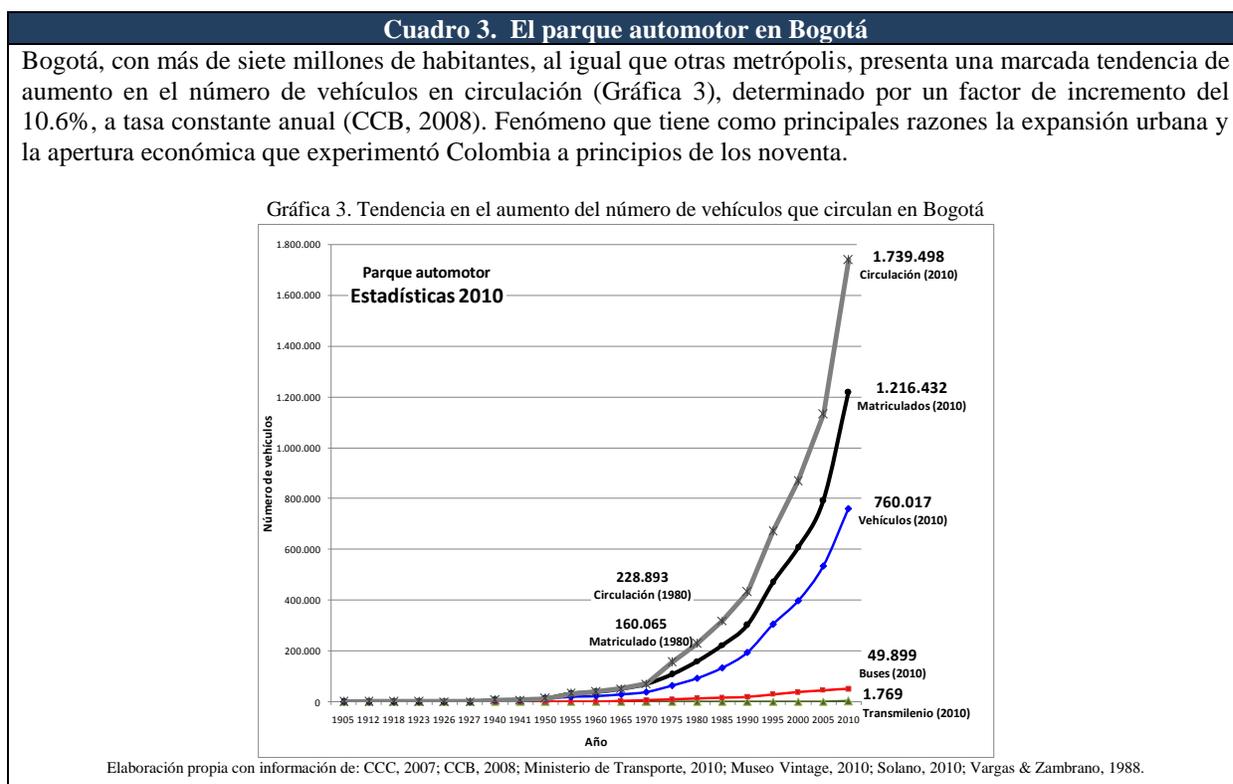
<sup>17</sup> Esta afirmación es temeraria, ya que determinaría la afectación de todas las grandes cuencas hidrográficas del país. Por otro lado, esta cifra puede no ser cierta, ya que la OLADE reporta que el país sólo está aprovechando el 20.3 % de su potencial hidroenergético (Vargas, 2010).

<sup>18</sup> Debido a la escala, a la proximidad de los valores iniciales a cero y a la enorme diferencia de éstos con los actuales, la curva se ubica en el límite inferior del eje x desde inicios del siglo XX hasta mediados de éste.

Esta reducción, motivada por factores diferentes al precio, se debió principalmente a la masificación de los derivados del petróleo y, en las últimas dos décadas, a la presión ejercida por la autoridad ambiental a los usuarios industriales.

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 (Gráfica 2) a razón del 7.6% anual<sup>19</sup>, debido principalmente a que el carbón es un excelente sustituto energético en momentos en que los costos del petróleo y el gas natural se incrementan.

**2.2.2. Gasolina y Diesel.** En la evolución del consumo de hidrocarburos líquidos en la ciudad y su relación con el transporte, se evidencian cuatro eventos significativos: a) la relación directa del consumo de gasolina con relación al parque automotor<sup>20</sup>, b) la disminución del consumo de gasolina en la primera década del siglo XXI<sup>21</sup>, c) el incremento del consumo de diesel 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).



Elaboración propia

<sup>19</sup>Esta razón de crecimiento fue calculada en el año 2006 por la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, y está calculada para todo el país. No existe una cifra propia para Bogotá D.C.

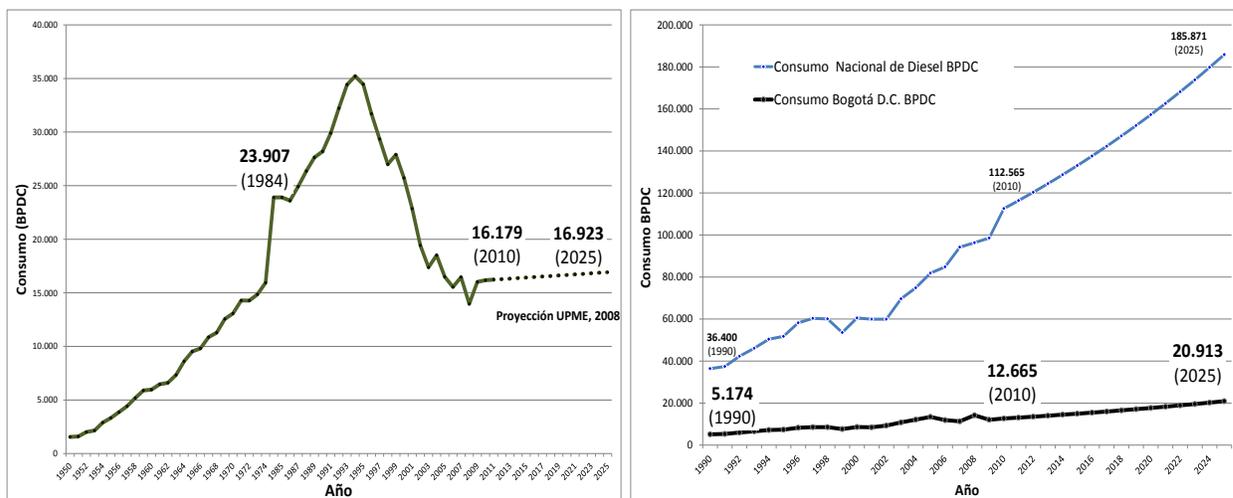
<sup>20</sup> Durante el siglo XX el consumo de gasolina fue directamente proporcional al número de vehículos: En 1950, los 11.984 vehículos matriculados consumieron 1.556 BPDC; en el año 1985 el número de vehículos ascendió a 223.396 y el consumo fue de 23.907 BPDC; para el año 2000 se alcanzó la cifra de 987.013 vehículos que consumieron 25.712 BPDC de gasolina motor (DNP, 2000; STT, 2001; Ministerio de Transporte, 2010).

<sup>21</sup> 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 a 2010 - cinco veces al existente en 1985 -, se consumieron 16.179 BPDC – 30% menos que el consumo de 1985 -.

Para el siglo XXI, el consumo de combustibles líquidos para la flota vehicular en Bogotá (Cuadro 3) 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. 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 diesel 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, 2008:8).

El estudio prospectivo de la demanda de energía para el sector transporte, elaborado por la UPME (2008), prevé que, para el año 2020, la oferta nacional de combustibles aumentará un 25.5% en gasolina motor y un 51.4% para diesel, y que los procesos de oxigenación de la gasolina con alcohol carburante al 10% (E10) y de diesel con aceite vegetal al 5% (B5), no afectarán el consumo en la flota vehicular. Por lo tanto, es de esperar que bajo un escenario medio de crecimiento económico<sup>22</sup>, el “*diesel tenga un crecimiento medio anual del 3,4% y la gasolina del 0.3%*” (UPME 2008:5), con lo que se llegaría a demandas en Bogotá de 16.923 BPDC de gasolina y de 20.913 BPDC de diesel para el año 2025 (Gráfica 4).

Gráfica 4. Consumo (BPDC) de gasolina motor en Bogotá D.C. (1950 – 2010) yde diesel en Colombia y Bogotá D.C. (1990 – 2010); y respectivas proyecciones a 2025



Elaboración propia con información de: ACP, 2009; DAPD, 2000; UPME, 2006; UPME, 2008; Uribe, 1996.; Ecopetrol, 2010; UPME, 2010.

**2.2.3. El Gas Natural.** El gas natural ingresó a Bogotá luego de la expedición del Régimen de los Servicios Públicos Domiciliarios<sup>23</sup>(Ley 142 de 1994), fecha a partir de la cual su consumo creció significativamente, alcanzando tasas del 40%<sup>24</sup> anual durante el periodo 1997 – 2007 (SDP, 2007) (Gráfica 5). Para los próximos años se espera que este energético, que atiende

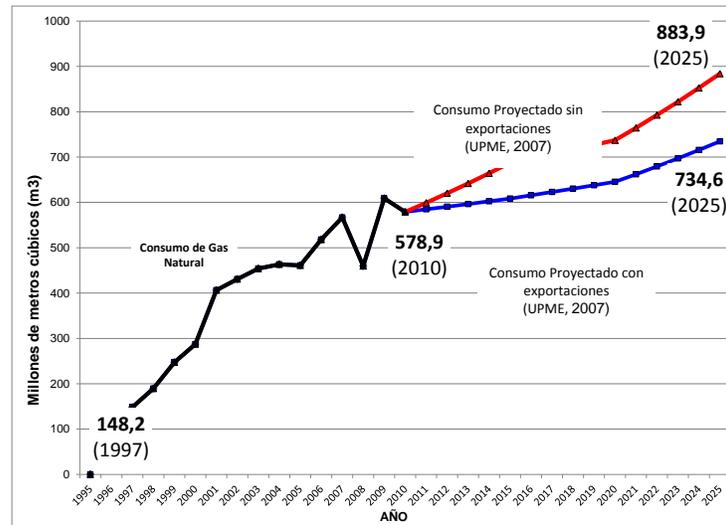
<sup>22</sup> La proyección de demanda de energía del sector transporte, desarrollada por la Subdirección de Planeación Energética de la UPME (2008), determinó cinco escenarios, de los cuales el “base” contempló: a) precios medios basados en la Administración de Información de Energía – EIA (por sus 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.

<sup>23</sup> 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 (Art. 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.

<sup>24</sup> 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.

principalmente las necesidades de los estratos 2 y 3, se consolide en el combustible líder en los sectores doméstico e industrial, alcanzando un consumo total de 883.9 Mm<sup>3</sup> para el año 2025.

Gráfica 5. Consumo de gas natural (Millones de m<sup>3</sup>) en Bogotá<sup>25</sup>; periodo (1997 – 2010) y proyección a 2025.



Elaboración propia con información de: SDP, 2007; SIU, 2010; UPME, 2007; UPME, 2010.

Actualmente, Bogotá D.C. representa el 28.4% de los usuarios de gas natural del país, con 1.554.713 unidades conectadas a la red; y el servicio alcanza una cobertura residencial del 86.2%, con un consumo a 2010 de 578.9 Mm<sup>3</sup> (Ministerio de Minas y Energía, 2010; SIU, 2010).

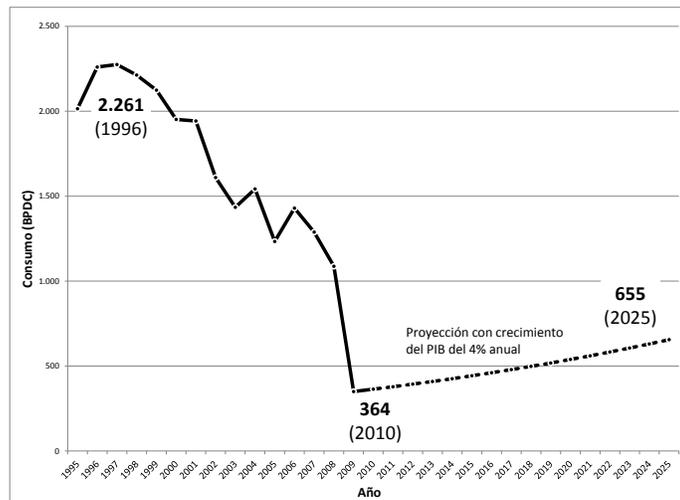
**2.2.4. El Gas Licuado de Petróleo.** Este hidrocarburo, a diferencia del gas natural, incursionó en el portafolio energético nacional mucho antes del establecimiento de los lineamientos de política energética de la década del noventa del siglo XX<sup>26</sup>. Su industria data de 1940, cuando fue destinado como combustible para uso doméstico, alcanzando, en tan sólo 20 años, su posicionamiento y supremacía (UPME, 2005). 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, 2005:18). Las decisiones de política energética y un escenario favorable de oferta, no fueron suficientes para evitar este comportamiento (Gráfica 6).

Bajo este contexto, Bogotá D.C. pasó de consumir 2.261 BPDC en el año 1996 a 364 BPDC en el año 2010 (Gráfico 6), y aunque el propósito de la UPME es mejorar la tendencia, no se prevé un aumento significativo en el consumo, debido a que los nuevos proyectos y planes para extender el servicio de este hidrocarburo se concentran en áreas rurales y zonas menos pobladas.

<sup>25</sup>Debido a la escala, a la proximidad de los valores iniciales a cero y a la enorme diferencia de éstos con los actuales, la curva se ubica en el límite inferior del eje x en el año 1995.

<sup>26</sup> 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).

Gráfica 6. Consumo de GLP (BDPC) en Bogotá<sup>27</sup>. Periodo 1995 – 2010, y proyección a 2025.

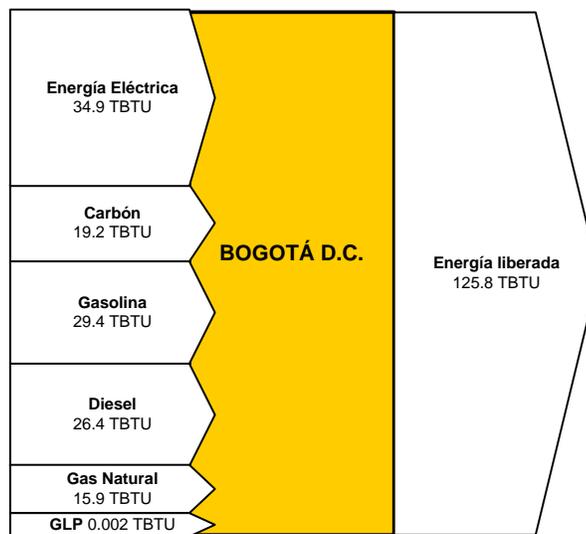


Elaboración propia con información de: SIU 2010; UPME, 2002.

### 2.3. Síntesis del metabolismo

El consumo de combustibles en la capital y el consumo de energía eléctrica para el año 2010 se traduce en una liberación – por combustión y por uso – de 125.8 TBTU año, representado en 34.9 TBTU asociados a la energía eléctrica (10236 GWh), 19.2 TBTU por carbón (575 Kt), 29.4 TBTU por gasolina (674 Kt; 16179 BPDC), 26.4 TBTU por diesel (671 Kt; 12665 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 1). La magnitud de estas cifras demuestra el voraz apetito energético de Bogotá, el cual indudablemente genera impactos negativos en el ambiente urbano.

Figura 1. Flujo de la energía (eléctrica y combustibles) en la ciudad de Bogotá D.C. (año 2010).



Elaboración propia

<sup>27</sup>La proyección para el año 2025, desarrollada por el autor, representa un cambio abrupto en la tendencia a la baja del GLP durante 20 años. Sin embargo, ésta proyección obedece a las estimaciones de la UPME.

## 2.4. Emisiones

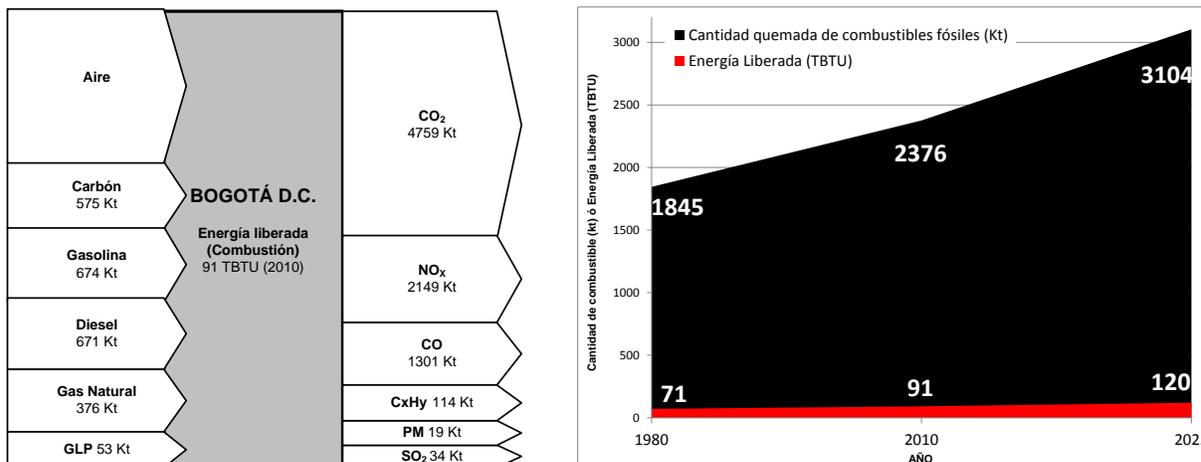
La combustión – reacción química de oxidación - permite liberar la energía de un combustible al entrar en contacto con el oxígeno del aire. El “*precio termodinámico*” que el sistema urbano paga por obtener energía a partir de esta reacción, se expresa en especies químicas gaseosas, aerosoles y sólidos que, en función de su concentración, cantidad y lugar de liberación al ambiente, determinan un detrimento 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 significativo 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 (CO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>), material particulado, hidrocarburos no quemados (CxHy), vapor de agua y gases de arrastre como el O<sub>2</sub> y el N<sub>2</sub>, entre otras especies.

Es así que Bogotá, en el año 2010, generando 91 TBTU de energía<sup>28</sup> mediante la combustión de gasolina motor, diesel, carbón, gas natural y GLP (2376 kilo toneladas - Kt), liberó<sup>29</sup> a la atmósfera 4759 Kt de CO<sub>2</sub>, 2149 Kt NO<sub>2</sub>, 1301 Kt de CO, 114 Kt de CxHy, 19 Kt de material particulado y 34 Kt de SO<sub>2</sub>. Comportamiento creciente a través del tiempo, tanto en energía como en emisiones, que permite entrever una correspondencia directamente proporcional<sup>30</sup> entre la cantidad de energía liberada, la cantidad quemada de combustible y el volumen de descargas de especies contaminantes a la atmósfera capitalina (Gráfica 7 y Figura 2).

Figura 2. Metabolismo de combustibles fósiles en la ciudad de Bogotá D.C. (Año 2010).

Gráfica 7. Consumo de combustibles fósiles (Kt) y energía liberada (TBTU) sólo por combustión en Bogotá (no incluye energía eléctrica).



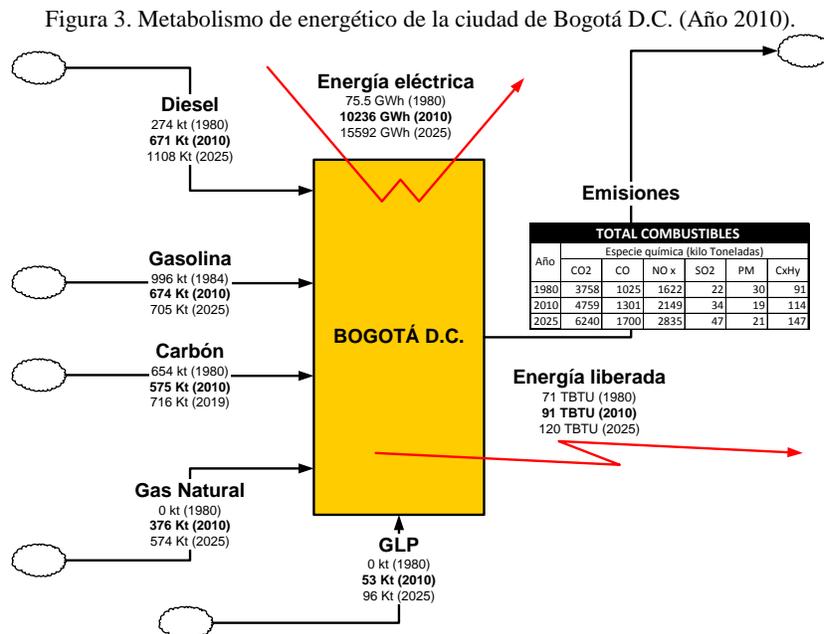
Elaboración propia

<sup>28</sup> 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.

<sup>29</sup> 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.

<sup>30</sup> La relación existente entre la energía liberada, el consumo de combustibles y la cantidad de emisiones generadas es directamente proporcional, desde la lógica de los balances de materia.

La cantidad de especies emitidas a la atmósfera<sup>31</sup> (Figura 2 y 3) permite entrever que la pérdida de la calidad del aire en la ciudad se debe principalmente a las emisiones generadas por los procesos de combustión que se llevan a cabo en fuentes móviles y fijas<sup>32</sup>, situación que viene ocurriendo desde finales de la década de los sesenta (García, 2010:125).



Elaboración propia.

Un futuro con aire limpio es posible, sólo se requiere una convergencia de aspectos técnicos, tecnológicos, económicos y culturales, en coherencia con una regia 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, 2007:382). Tiempo, no renovable, tiempo que se agota.

## Conclusión

Los flujos de materiales y de energía, conceptualizados, concebidos, explicitados, calculados y analizados en el macro estudio de Cristian Díaz (2011) “*Metabolismo de la Ciudad de Bogotá D.C.*”, expresan un gran proceso termodinámico en la capital, con el cual logra su crecimiento y mantiene su perfil protagónico en el desarrollo político, social y económico en Colombia y en la región. Esta compleja dinámica para alcanzar el progreso indudablemente genera una presión sobre su propia infraestructura, sobre la oferta de bienes y servicios y capacidad de carga de los sistemas naturales que le abastecen y que soportan sus flujos contaminantes.

<sup>31</sup> Es importante recalcar que el Distrito Capital presentó en el año 2011 un estudio diferente de emisiones a la atmósfera en el documento “Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá”.

<sup>32</sup> Evidentemente existen muchas actividades domésticas, comerciales e industriales que liberan especies químicas a la atmósfera. Estas fuentes pueden ser analizadas desde el tipo de transformación física o química que las genera (operaciones o procesos unitarios) o desde las categorías, 15 en total, que la EPA propone en su documento AP-42.

Por su parte, la cuantificación del flujo de entrada y salida de energía para los años 1980 y 2010 muestra que el consumo total de energía se ha incrementado durante los últimos treinta años. Para el año 2025 se espera que el consumo total de energía eléctrica, gas natural, gas licuado de petróleo, gasolina, diesel y carbón se incremente, definiendo condiciones de alta presión sobre aire urbano y sobre los alrededores, exponiendo a la ciudad a una pérdida significativa de la calidad del aire; y bajo escenarios de alta variabilidad climática, a un riesgo de racionamiento energético que puede coadyuvar con un proceso inadvertido de colapso urbano.

El panorama calculado dentro de quince 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 nuevas propuestas de sostenibilidad urbana deben contemplar la reutilización de los materiales de desecho, el uso de formas renovables de energía, la concienciación ciudadana de las ventajas de una vida austera y frugal, y el uso de instrumentos directos o indirectos de política ambiental. Necesidades apremiantes para poder enfrentar las exigencias del cambio climático.

#### Información del autor:

**Cristian Julián Díaz Álvarez:** Ingeniero químico, Especialista en Manejo Integrado del Medio Ambiente y Magister en Medio Ambiente y Desarrollo. Profesor y actual director del Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central.

#### **Bibliografía**

**Alba J. (2003).** *Crisis de crecimiento o ausencia de infraestructura.* En: Revista Bitácora No. 7 enero – diciembre de 2003. Bogotá, Colombia.: Facultad de Artes de la Universidad Nacional de Colombia.

**Aprile – Guiset J. (2008).** *La ciudad prohibida.* Entrevista de Myriam Bautista en: Diario El Tiempo, domingo 16 de noviembre de 2008. Bogotá D.C., Colombia.: Casa Editorial El Tiempo.

**Arango J. (2009).** *Calidad de los combustibles en Colombia.* En: Revista de Ingeniería, No. 29, marzo de 2009. Bogotá, Colombia.: Universidad de Los Andes.

**Asociación Colombiana del Petróleo -ACP (2009).** *Informe Estadístico Petrolero.* Disponible en: [www.acp.com.co](http://www.acp.com.co)

**Cala H. (1992).** *Reformulación de los combustibles.* En: Memorias Seminario Taller Nacional sobre Transporte Urbano y Medio Ambiente. Paipa, Colombia.: Universidad Nacional y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

**Carbones Carinco (2010).** *Aspectos históricos de la industria del carbón en Colombia.* Disponible en: [www.carincoltda.com](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.: CCB y 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, Colombia.: CCB y Universidad de Los Andes.

**De la Pedraza R. (1985).** *Historia de la energía en Colombia: 1537 a 1930.* Bogotá, Colombia.: El Ancora Editores.

**Departamento Administrativo de Planeación Distrital – DAPD (2000).** *Estadísticas Históricas Santafé de Bogotá D.C., 1950 – 1999.* Bogotá,

Colombia.: 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, Colombia.: Universidad Nacional de Colombia.

**Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPETROL (2010).** *Estadísticas de ventas nacionales.* Disponible en: [www.ecopetrol.com](http://www.ecopetrol.com)

**Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPETROL (2010).** *El petróleo y su mundo.* Disponible en: [www.ecopetrol.co](http://www.ecopetrol.co)

**Empresa de Energía de Bogotá- EEB (2010).** *Nuestra empresa.* Disponible en: [www.eeb.com.co](http://www.eeb.com.co)

**Empresas Unidas de Energía Eléctrica. (1927).** *Gráfico de Kwh producidos en el año (periodo 1926 – 1927).* En: Bogotá en documentos: ciudad y gobierno en el siglo XX. Disponible en: [www.bogotaendocumentos.com](http://www.bogotaendocumentos.com)

**García H. (2010).** *Restricciones ontológicas en la política de calidad del aire en Bogotá.* En: Revista de Ingeniería. Bogotá, Colombia.: Universidad de Los Andes.

**García J. (1999).** *Cronología del servicio de energía eléctrica de Bogotá cronología de la iluminación.* Cuaderno No. 4. Bogotá, Colombia.: Veedurías Ciudadanas.

**Gutiérrez A. (2006).** *Orígenes y desarrollo de la industria química en Colombia.* Bogotá, Colombia.: Editora Guadalupe Ltda.

**Instituto Colombiano de Geología y Minería – INGEOMINAS (2004).** *El carbón colombiano: recursos, reservas y calidad.* Bogotá, Colombia.:Ingeominas.

**Jiménez G. (1996).** *Colombia se apaga: el caos del sector eléctrico.* Santafé de Bogotá, Colombia.: Planeta Colombiana Editorial.

**Lozano A. (1978).** *Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá.* En: Bogotá: estructura y principales servicios públicos. Bogotá, Colombia.: Cámara de Comercio de Bogotá.

**Medina Y. (1993).** *Programas y proyectos de importancia a nivel nacional.* En: Memorias Seminario Taller Nacional sobre Transporte Urbano

y Medio Ambiente. Paipa, Colombia.: Universidad Nacional y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

**Ministerio de Minas y Energía (2010).** *Cobertura del servicio de gas natural, segundo trimestre de 2010.* Disponible en: [www.minminas.gov.co](http://www.minminas.gov.co)

**Ministerio de Transporte (2010).** *Estadísticas sector transporte: parque automotor.* Disponible en: [www.mintransporte.gov.co](http://www.mintransporte.gov.co)

**Museo Vintage (2010).** *Historia del transporte.* Disponible en: [www.museovintage.com](http://www.museovintage.com)

**Nersesian R. (2007).** *Energy for the 21st century.* New York, EE.UU.: M.E. Sharpe Inc.

**Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA & Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente - DAMA (2003).** *Informe GEO Bogotá: perspectivas del medio ambiente urbano.* Bogotá, Colombia.: PNUMA.

**Secretaría Distrital de Ambiente - SDA (2007).** *Atlas Ambiental de Bogotá D.C.* Bogotá, Colombia.: Secretaría Distrital de Ambiente – Alcaldía Mayor de Bogotá.

**Secretaría Distrital de Planeación - SDP (2007).** *Síntesis de coyuntura No. 28: Consumo de gas natural en Bogotá.* Bogotá, Colombia.: Dirección de Políticas Sectoriales SDA – Alcaldía Mayor de Bogotá.

**Secretaría Distrital de Planeación - SDP (2008).** *Síntesis de coyuntura No. 78.* Bogotá, Colombia.: Dirección de Políticas Sectoriales SDA – Alcaldía Mayor de Bogotá.

**Sistema de Gestión y Seguimiento a las Metas del Gobierno - SIGOB (2010).** *Infraestructura y Servicios Públicos, cobertura de energía en el sistema interconectado nacional.* Disponible en: [www.sigob.gov.co](http://www.sigob.gov.co)

**Sistema Único de Información de Servicios Públicos – SUI (2010).** *Reportes por servicio.* Disponible en: <http://www.sui.gov.co>

**Solano M. (2010).** *Un viaje del tranvía a transmilenio.* En: Portal de la ciudad de Bogotá. Disponible en: [www.bogota.gov.co](http://www.bogota.gov.co)

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (1999).** *Plan de expansión de referencia: generación y transmisión 1998 – 2010.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2001).** *Plan de expansión de referencia: generación y transmisión 2001 - 2015.* Bogotá, Colombia.: 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, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2004).** *Plan de expansión de referencia: generación y transmisión 2004 – 2018.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2005).** *La cadena del carbón: el carbón colombiano, fuente de energía para el futuro.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2005).** *La cadena de gas licuado del petróleo en Colombia: actualización 2005.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2005).** *La cadena de gas natural en Colombia.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2006).** *Colombia, país minero: plan nacional de desarrollo minero con visión al año 2019.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2006).** *Mercado nacional e internacional del carbón colombiano.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2006).** *Boletín estadístico de minas y energía 1999 - 2005.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2008).** *Boletín estadístico de Minas y Energía: 2003 – 2008.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2010).** *Plan de expansión de referencia: generación y transmisión 2010 - 2024.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2010).** *Boletín estadístico de Minas y Energía: 1990 - 2010.* Bogotá, Colombia.: Ministerio de Minas y Energía - UPME.

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2010).** *Sistema de información eléctrico colombiano - SIEL.* Disponible en: [www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co)

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2010).** *Sistema de información de petróleo y gas colombiano: Proyecciones de demanda de gas natural en el sector residencial y comercial.* Disponible en: [www.sipg.gov.co](http://www.sipg.gov.co)

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2010).** *Sistema de información de petróleo y gas colombiano: Proyección de demanda de gas natural, año 2007.* Disponible en: [www.sipg.gov.co](http://www.sipg.gov.co)

**Unidad de Planeación Minero Energética – UPME (2010).** *Boletín estadístico de minas y energía 1990 – 2010.* Disponible en: [www.upme.gov.co](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, Colombia.: Instituto de Estudios Ambientales y Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia.

**Vargas P. (2010).** *Sólo se aprovecha el 20% del potencial hidroeléctrico: EEB.* En: Diario La República, 29 de octubre de 2010. Bogotá, Colombia.: La República.