A. FORERO, "PROBLEMÁTICA EN TORNO AL USO DE FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONALES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ: ALTERNATIVAS Y DESAFÍOS." - Instituto de Altos Estudios para el Desarrollo (IAED)

PROBLEMÁTICA EN TORNO AL USO DE FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONALES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ: ALTERNATIVAS Y DESAFÍOS.

AUGUSTO VERNEY FORERO REYES

Instituto de Altos Estudios para el Desarrollo (IAED)

Academia Diplomática de San Carlos

Programa de Maestría en Análisis de Problemas Políticos, Económicos e Internacionales Contemporáneos

Bogotá, Colombia

2015

PROBLEMÁTICA EN TORNO AL USO DE FUENTES DE ENERGÍA CONVENCIONALES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ: ALTERNATIVAS Y DESAFÍOS.

AUGUSTO VERNEY FORERO REYES

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Análisis de Problemas Políticos, Económicos e Internacionales Contemporáneos

Directora:

NOHRA LEÓN RODRÍGUEZ

PHD en Ciencias Económicas

Instituto de Altos Estudios para el Desarrollo (IAED)

Academia Diplomática de San Carlos

Programa de Maestría en Análisis de Problemas Políticos, Económicos e Internacionales Contemporáneos

Bogotá, Colombia

2015

Resumen

El objetivo general de esta tesis es realizar una revisión de las principales problemáticas ambientales asociadas con el modelo energético actual de la ciudad de Bogotá para entender la lógica de desarrollo y crecimiento económico en la que se desenvuelve el sistema energético de la ciudad y establecer las vulnerabilidades y oportunidades del mismo.

Se consideran tres escalas de análisis: mundial, nacional y local. Primero, se establece una relación entre consumo energético para el funcionamiento de las sociedades humanas y el Cambio Climático, encontrando un vínculo entre el sistema económico de producción humana y las variaciones meteorológicas recientes en el planeta. Luego, se revisa el consumo energético en las tres escalas de análisis y se revisa la problemática ambiental que se deriva de este consumo. Finalmente, se resumen las experiencias en la implementación de Fuentes de Energía No Convencional –FNCE- para entender cuáles oportunidades de desarrollo tiene Bogotá y las limitaciones a las que se enfrenta.

Es de particular interés la escala local, en donde se hace énfasis en el caso de la ciudad de Bogotá, exponiendo las experiencias más importantes en el sector energético de la ciudad de Bogotá y los problemas ambientales asociados a éste. Se revisan especialmente las políticas asociadas con el sector transporte, cuyo consumo energético se centra en el uso de combustibles fósiles.

Para ello, se adopta una perspectiva constituida por cuatro componentes: uno económico, uno político-normativo, uno ecológico y uno sociocultural, a partir de los cuales: se evalúan las iniciativas verdes implementadas en las tres escalas de análisis, estableciendo unos alcances y unas limitaciones generales para cada escala y cada componente.

Se concluye que Bogotá se encuentra en una lógica de desarrollo vinculado al crecimiento económico que hace insostenible el sistema energético actual y la necesidad de replantear dicho modelo económico así como el uso de FNCE, especialmente en el sector transporte.

Palabras clave: modelo energético, problemas ambientales, desarrollo económico, sistema energético, Bogotá.

Tabla de contenido

Resumen 2
Tabla de contenido 3
Lista de abreviaturas 5
Lista de figuras 7
Lista de gráficas 8
Lista de tablas 10
Introducción general 11
Capítulo 1: La energía como sistema 14
1.1 Energía y sistema productivo 15
1.2 Eficiencia energética 20
1.3 Limites al crecimiento 21
1.4 Conclusiones 22
Capítulo 2: caracterización del modelo energético convencional: escala mundial y nacional 23
2.1 Panorama a escala mundial: producción y consumo de energía 23
2.1.1 Problemática ambiental asociada al uso de fuentes de energía convencionales 28
2.1.2 Contaminación atmosférica urbana y salud pública 35
2.2 Panorama a escala nacional: Colombia 38
2.2.1 Producción y consumo de energía en Colombia 38
2.2.2 Emisiones nacionales de GEI en Colombia 42
2.2.3 Cambio Climático en Colombia 44
2.3 Conclusiones 47
Capítulo 3: caracterización del modelo energético de Bogotá y problemática ambiental 48
3.1 Oferta y demanda energética de Bogotá 48
3.1.1 Eficiencia energética 55
3.2 Problemática ambiental asociada al modelo energético de Bogotá 58
3.2.1 Cambio Climático Global y sus efectos sobre la ciudad 59
3.2.2 Contaminación atmosférica, calidad del aire y efectos sobre la salud pública 63
Calidad del aire y efectos sobre la salud en la población bogotana 66
3.3 Conclusiones 68
Capítulo 4. Evaluación de las propuestas de modelos energéticos alternativos, una mirada local e internacional 69

4.1 Propuestas locales 69
4.1.1 Uso de fuentes no convencionales de energía como modelos energéticos alternativos en el país. 70
4.1.2 Avances en iniciativas distritales para mitigar los impactos ambientales del modelo energético actual 77
4.2 Alcances y limitaciones de las propuestas locales 86
4.2.1 Evaluación y perspectiva nacional 89
4.2.2 Evaluación distrital 90
4.3 Propuestas internacionales 92
4.3.1 Perspectiva mundial en el uso de FNCE 92
4.3.2 Experiencias en la implementación de FNCE y otras iniciativas verdes en Latinoamérica y el Caribe 95
4.4 Alcances y limitaciones de las propuestas internacionales 98
4.4.1 Consideraciones en el ámbito internacional 99
4.4.2 Consideraciones para la región de Latinoamérica y el Caribe 100
4.5 Conclusiones generales 102
4.5.1 Sinergia entre la producción y consumo de energía y el agua 102
4.5.2 Eficiencia económica en el uso de FNCE 103
4.5.3 Impactos ambientales no contemplados como consecuencia de la implementación de iniciativas verdes 104
Capítulo 5: Recomendaciones generales 106
5.1 Recomendaciones generales en torno al modelo energético 106
5.1.1 Contexto nacional 106
5.2 Recomendaciones en torno al modelo energético actual de Bogotá 107
5.2.1 El caso del uso de fuentes alternativas de energía en el sector transporte 108
5.2.2 El caso del proyecto de extracción de biogás en el Relleno Sanitario Doña Juana 109
5.2.3 El caso del plan de mitigación y prevención de los efectos del cambio climático 110
5.2.4. Recomendaciones para una política distrital 110
Bibliografía 112
Anexos 120
1. Datos usados para la construcción del indicador de eficiencia energética 120

Lista de abreviaturas

AIDA	La Asociación Interamericana para el Medio Ambiente
BTR	Buses de Transito Rápido
CFC	Cloro-Fluorocarbonos
CH4	Metano
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CMR	Comisión Mundial de Represas (CMR)
CO2	Dióxido de Carbono (CO2)
CRE	Certificados de Reducción de Emisiones
CRE	Comisión de Reguladora de Energía
DNP	Departamento de Planeación Nacional
EEB	Empresa de Energía de Bogotá.
EEC	Empresa de Energía de Cundinamarca
EIU	Economist Intelligence Unit
EPA	Agencia de Protección ambiental (EPA
FAZNI	Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas
FCE	Fuentes Convencionales de Energía
FNCE	Fuentes No Convencionales de Energía
GEI	Gases efecto invernadero
GLP	Gas Licuado de Petróleo
GNV	Gas Natural Vehicular
Gwh	Gigawattshora
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
HFC	Hidrofluorocarbonos
IAE	Agencia Internacional de Energía
ICOLD	Comisión Internacional de Grandes Repesas
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
IISA	Índice de Impacto de la Salud Ambiental
INEA	Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas
INGEOMINAS	Instituto Colombiano de Geología y Minería
IPPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
IPSE	Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas

MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MDL	Mecanismos de Desarrollo Limpio
MME	Ministerio de Minas y Energía
MPS	Material Particulado Suspendido
MW	Megawatts
NCR	Consejo Noruego para los Refugiados
NO2	Oxido Nitroso
NOAA	Observatorio Oceánico y Atmosférico Manua Loa
OAB	Observatorio Ambiental de Bogotá.
OMS	Organización Mundial de la Salud (OMS)
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPEC	Organización de Países Exportadores de e Petróleo
OPEN	Programa de Promoción de Oportunidades de Mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética
OPS	Organización Panamericana para la Salud
PCH	Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
PFC	Perfluorocarbonos
PIB	Producto Interno Bruto
PMM	Plan Maestro de Movilidad
PROURE	Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes no Convencionales
RMCAB	Red de Monitoreo de Calidad del Aire en Bogotá.
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
SDM	Secretaría de Movilidad
SF	Hexafluoruro de Azufre
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SITP	Sistema Integrado de Transporte Público
SO2	Oxido de Azufre
UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
WEC	Consejo Mundial de Energía
WRI	Instituto de los Recursos Mundiales
ZNI	Zonas No Interconectadas

Lista de figuras

Pág.

Figura 1-1. Relojes de arena de entropía……...……...…18.

Figura 1-2. Balance general de materiales en la economía……..19.

Figura 4-1. Programas implementados por la ciudad para mejorar la calidad del aire, 2010……..79.

Figura 4-2: Ejes de acción frente al Cambio Climático en Bogotá…….....85.

Lista de gráficas

Pág.

Gráfica 2-1. Producción energética primaria mundial (Mtoe), 1971-2010…….....24.

Grafica 2-2. Producción energética mundial por tipo de combustible…….25.

Grafico 2-3. Distribución de la demanda mundial de petróleo 2009-2035……..26.

Gráfica 2-4. Generación eléctrica por tipo de combustible……..27.

Gráfica 2-5. Emisiones mundiales de GEI antropógenos…….30.

Gráfica 2-6. Nivel histórico de CO2 en la atmósfera……...31.

Grafica 2-7. Impactos asociados al Cambio Climático……33.

Gráfico 2-8. Impactos producidos por los desastres naturales a escala mundial……..34.

Gráfica 2-9. Potencial energético colombiano…….38.

Gráfica 2-10. Distribución de los consumos energéticos…….39.

Gráfica 2-11. Consumo Final de energía por sectores – 2009…….40.

Grafica 2-12. Composición de la generación de Energía, 2011-2012……..41.

Gráfica 2-13. Banda de proyección de demanda nacional de energía eléctrica, 2008-2024……41.

Gráfica 2-14. Inventario GEI 1990, 1994, 2000……...42.

Gráfica 2-15. Porcentaje de Emisiones GEI, 2004……43

Gráfica 3-1. Consumo energético en el sector transporte en Colombia, resultados por región, 2010.....50.

Gráfica 3-2. Consumo de energía eléctrica en Bogotá por tipo de usuario, 2008-2012 (Gwh)……...51.

Grafica 3-3. Consumo per cápita de energía eléctrica en Bogotá según estrato socioeconómico 2012 (Kwh por habitante)…….51.

Gráfica 3-4. Evolución del consumo medio mensual de energía eléctrica del área Codensa por estrato socioeconómico 1998-2012……....52.

Grafica 3-5. Consumo Industrial de energía eléctrica por localidades. Clientes de Codensa S.A. ESP (Gwh)…….53.

Grafica 3-6. Evolución en la estructura de consumo por sectores en el área de Codensa……54.

Gráfica 3-7. Eficiencia energética con relación al PIB por sectores económicos para Bogotá, 1992-2002…….……57.

Gráfica 3-8. Eficiencia energética con relación al PIB por sectores económicos para Bogotá por sectores de mayor y menor consumo energético, 1992-2002…….....…...58.

Gráfica 3-9. Participación de emisiones de GEI por módulo para cada gas de efecto invernadero en Bogotá, año 2012…….61.

Gráfica 3-10. Participación de emisiones de GEI del módulo energía en Bogotá 2012……..…62.

Grafica 3-11. Ubicación de las estaciones para el monitoreo de la calidad del aire y parámetros contaminantes medidos…….64.

Gráfica 3-12. Distribución de la Concentración de la PM10 durante 2012. Material Particulado PM10 (µg/m3) promedio 2011…….65.

Gráfica 3-13. Índice de Impacto de la Salud Ambiental (IISA) 2008-2013…….67.

Gráfico 3-14. Casos atendidos en salas de Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA), 2007-2013……..67.

Gráfica 4-1. Capacidad del Sistema Interconectado Nacional (MW) – 2014……..70.

Lista de tablas

Pág.

Tabla 2-1. Efectos del Material Particulado sobre la salud humana…….37

Tabla 2-2. Módulos y categorías principales de GEI……44

Tabla 2-3. Efectos esperados del Cambio Climático……..…45

Tabla 4-1. Participación de las FCNE en el SIN, 2010……...….71.

Tabla 4-2. Iniciativas propuestas en el Plan Maestro de Movilidad, 2006……...78.

Tabla 4-3. Portafolio óptimo de medidas del plan decenal de descontaminación para Bogotá, 2010……...82.

Tabla 4-4. Certificados de Reducción de Emisiones solicitados por el concesionario, 2011……..84.

Tabla 4-5. Ventajas y desventajas de las FCNE……..…86.

Tabla 4-6. Panorama de las FNCE en Colombia……89.

Tabla 4-7. Balance general de las iniciativas para el uso de FNCE en la ciudad de Bogotá……...91.

Tabla 4-8. Países líderes en el uso de fuentes no convencionales de energía y capacidad instalada……..93.

Tabla 4-9. Total de proyectos presentados, proyectos registrados, y kCERs 2012 por país para la región……...……95.

Tabla 4-10. Resumen de la evaluación del EIU de las principales ciudades de Latinoamérica, 2010……97.

Tabla 4-11. Balance general del ámbito internacional……....99.

Tabla 4-12. Balance general de la región Latinoamérica y el Caribe…….……100.

Introducción general

La dependencia mundial de las fuentes de energía convencionales ha generado que el planeta experimente una serie de impactos ambientales asociados, principalmente, a la emisión de Material Particulado y de Gases de Efecto Invernadero. Estos impactos ambientales no solo generan riesgos importantes sobre los componentes ecosistémicos de la biosfera, sino que también generan riesgos que potencialmente pueden reducir el bienestar humano de la generación presente y las generaciones futuras.

Las causas y los efectos de estos impactos ambientales se presentan tanto a escala local como a escala global. Las sinergias que se presentan entre estas dos escalas hacen necesario que la problemática ambiental asociada al modelo energético urbano de una ciudad como Bogotá sea abordada desde una perspectiva sistémica, en la cual, no solo se tengan en cuenta los impactos ambientales que genera la ciudad sobre la biosfera a escala global, sino que también se considere la forma en que los impactos ambientales globales afectan a la población de Bogotá y la forma en que se puedan desarrollar estrategias de adaptación a estos impactos.

La forma en que se articula el modelo energético de Bogotá indica que éste se configura bajo una lógica de desarrollo en la cual el crecimiento económico es la prioridad. De esta manera, al incrementarse la escala económica de la ciudad, se requiere subsidios crecientes de energía generando efectos sobre el medio ambiente, implicado que, si no se modifica esta lógica de desarrollo, no es posible cambiar el modelo energético de la ciudad ni solventar la problemática ambiental asociada a este.

El objetivo general de esta tesis es estudiar la problemática ambiental que surge debido a la lógica de desarrollo económico creciente en el que se encuentra el modelo energético actual de la ciudad de Bogotá y evaluar los alcances y limitaciones de algunas de las políticas públicas más importantes en los últimos años para mitigar los impactos ambientales asociados a este modelo energético.

Para la evaluación de estas políticas, se tienen en cuenta las siguientes preguntas: ¿El incremento de la escala económica requiere subsidios crecientes de energía? ¿Cómo afecta esto al ambiente? ¿El modelo energético de Bogotá se encuentra en esta lógica de desarrollo económico creciente? ¿Puede modificarse el modelo energético actual de Bogotá conservando la misma lógica?

La tesis consta de cinco capítulos, cada uno de los cuales se encarga de resolver un objetivo específico de la siguiente manera:

En el primer capítulo se exponen dos teorías que explican cómo la problemática ambiental se vincula al desarrollo de un modelo energético necesario para sostener el crecimiento del sistema económico; en primer lugar, se establece la relación entre la física y la ecología para entender que el crecimiento económico tiene un límite que viene dado por la energía disponible para la producción. En segundo lugar, se explica cómo la problemática ambiental del modelo energético mundial actual se puede entender a partir de este límite físico y las implicaciones que tiene esto para una ciudad como Bogotá.

En el segundo capítulo se realiza una caracterización del modelo energético convencional en distintas escalas: mundial y nacional, así como la problemática ambiental asociada a este modelo.

En el tercer capítulo se presenta el caso de Bogotá, su modelo energético y las principales problemáticas ambientales asociadas a éste, especialmente, en el sector de transporte, cuyos consumo energético e impactos al ambiente son los más importantes para la ciudad.

En el cuarto capítulo se hace una evaluación de modelos energéticos alternativos para la ciudad, empezando por una revisión de la experiencia del país con el uso de FNCE; luego se presentan las iniciativas verdes que, desde el gobierno distrital; se han implementado para afrontar y solucionar la problemática ambiental; después se hace una revisión de experiencias internacionales sobre el uso de FNCE, y se deja un acápite especial para la región latinoamericana, cuyas dinámicas de crecimiento y desarrollo son compartidas por Bogotá.

En cada sección, luego se pasa a hacer una evaluación de las estrategias implementadas a partir una perspectiva sistémica que consta de cuatro componentes: ecológico, económico, político-normativo y socio-cultural, buscando dilucidar los alcances y limitaciones de cada una.

En el quinto capítulo se hacen unas recomendaciones que retoman lo trabajado a lo largo del documento para proponer estrategias que puedan ser útiles en el mejoramiento del bienestar humano de la población bogotana así como del sistema energético de la ciudad.

Finalmente, para desarrollar este trabajo fue necesario analizar la bibliografía existente del ámbito internacional, nacional y distrital. Informes, reportes, investigaciones, consultorías, artículos especializados, constituyeron el insumo básico de este trabajo. Lamentablemente los esfuerzos realizados para obtener información detallada sobre Bogotá no surtieron los resultados esperados en todos los casos. La Información suministrada por las entidades distritales, muchas veces a través de

derecho de petición, fue incompleta, desactualizada e inoportuna. Por tal motivo iniciativas como el metro de Bogotá, quedaron por fuera de este análisis.

La presente tesis fue culminada en enero de 2015, por lo cual recoge los avances desarrollados sobre la materia hasta dicha fecha.

Capítulo 1: La energía como sistema

La energía es movimiento, esto es casi que literal para los seres vivos y, en particular, para la especie humana. Todas las dinámicas de la sociedad actual giran en torno al consumo y producción de energía que, en últimas, deriva en todos esos bienes y servicios que rodean la vida humana. No obstante, este tema es visto con poca trascendencia por los ciudadanos del común que, aparentemente, tienen temas más interesantes y prioritarios en sus vidas.

Pero, cuando nos referimos a organismos que intervienen directamente en el curso de las vidas de todos, es un tema muy importante. La seguridad energética y, específicamente, los recursos necesarios para mantener en funcionamiento los grandes ecosistemas urbanos que ha creado el hombre para su existencia, han puesto a toda la biósfera a su disposición. Mediante las transformaciones de materias primas y recursos disponibles, la humanidad ha logrado hacer de toda la Tierra su propio ecosistema. Sin embargo, el costo al que esto ha sucedido es demasiado alto: el futuro de las generaciones por venir está en entredicho, así como la vida de las especies no humanas que conviven con el ser humano y de las que éste se aprovecha para su bienestar.

El consumo energético actual supera todo aquel consumo hecho por las generaciones pasadas de seres humanos. Los problemas derivados del consumo energético y la producción de artefactos para uso humano han causado problemas ambientales a gran escala. Es por esto que resulta importante entender cómo la problemática ambiental se vincula al desarrollo y sostenimiento de un modelo energético particular y que, resulta necesario para sostener el crecimiento del sistema económico actual.

En este capítulo se exponen argumentos a favor de la siguiente premisa: No importa de dónde se obtenga la energía, su consumo siempre tiene un impacto ambiental; el sistema económico es un sistema energético y por lo tanto no tiene sentido hablar de sistemas alternativos de energía, a menos que se replantee el discurso del desarrollo a partir del crecimiento económico. Para ello, se cuenta con cuatro apartados organizados de la siguiente manera: 1) se describe la relación entre energía y sistema productivo; 2) se exponen unas consideraciones sobre la eficiencia energética; 3) se argumenta sobre los límites al crecimiento económico y la necesidad desarrollar una alternativa sostenible y; 4) se presentan unas conclusiones generales para el capítulo.

1.1 Energía y sistema productivo

La energía se entiende como una propiedad de los objetos que se puede medir y observar, gracias a las interacciones físicas que se dan entre estos. En física, particularmente en la termodinámica, la energía es necesaria para realizar trabajo pero eso no significa que toda la energía pueda realizar trabajo.

El estudio científico de la energía en los sistemas, es decir la termodinámica, se dio en el siglo diecinueve cuando diversos ingenieros y científicos como James Watt, Sadi Carnot, James Prescott Joule, Rudolph Clausius y William Thomson quisieron entender e incrementar la eficiencia de los motores de vapor al realizar trabajo mecánico útil. Desde el inicio, estos esfuerzos combinaron el estudio de sistemas naturales y sistemas desarrollados a través de la ingeniería, de un modo que es inusual tanto para las ciencias naturales como para la física (Baumgärtner, 2004).

La termodinámica ha permitido conceptualizar los procesos económicos en términos biofísicos al permitir expresar estos procesos como flujos de materia y energía. Sin embargo, mucho antes de ser utilizada para describir los procesos económicos, ya era utilizada para describir los procesos biológicos en la ecología.

La ecología se ha dedicado, como ciencia, al estudio de la intervención entre los organismos y sus condiciones de supervivencia; sus inicios se dan con el trabajo de Haeckel en 1866 pero, su desarrollo como rama de investigación independiente dentro de la biología, no se dio sino hasta la década de 1950 (Kaarhus, 2000).

En la ecología, el trabajo de Raymond Lindeman introdujo la aplicación de métodos de la física en el estudio de sistemas naturales. Estos estudios incorporaron los flujos de energía y la conversión de unidades de biomasa en unidades de energía. Posteriormente, estos aportes fueron sintetizados por E. Odum en su libro *Fundamentals of Ecology* de 1953. El trabajo de Odum estuvo influenciado por el de su hermano menor, H.T. Odum, quien tenía estudios en meteorología (Craig, 2001). El trabajo de los hermanos Odum fue innovador en estudiar los flujos de energía desde una perspectiva sistémica (Røpke, 2004).

El trabajo de H.T. Odum trajo un cambio importante en el campo de las ciencias naturales y fue la incorporación de problemas que hasta el momento solo se consideraban parte de las ciencias sociales. Una parte de los problemas sociales tratados en el trabajo de H.T. Odum se relacionaba con la economía. Los hermanos Odum aprendieron la importancia de las consideraciones económicas en la

toma de decisiones y encontraron necesario expresar sus ideas en términos económicos para explicar a los políticos y votantes la importancia de los ecosistemas (Røpke, 2004).

Durante la década de los años sesenta, Boulding (1966) realizó su ensayo titulado *The Economics of the Coming Spaceship Earth*, en el cual se consideraba la transición de una economía sin límites naturales a una economía limitada en la extracción de recursos y la producción de desechos. El trabajo de Boulding no incorporaba más que leyes simples de la física pero, posteriormente, los trabajos de Daly en 1968 y Ayres y Kneese en 1970 se centraron en el carácter metabólico de las actividades económicas mediante la conversión de energía y recursos de baja entropía en desechos de alta entropía.

La diferencia entre estos trabajos es que, para Ayres y Kneese, quienes compartían la misma perspectiva, se centraron en un marco de equilibrio general; mientras que, Daly propuso un modelo de input-output tanto económico como ecológico (Røpke, 2004). Según Victor (1972), Ayres y Kneese no consideraron lo que le sucede a los materiales una vez regresan al ambiente, mientras que el trabajo de Daly reconoce las interacciones que se dan por fuera del marco económico.

Durante la década de los años setenta, Georgescu-Roegen publicó un trabajo denominado *The Entropy Law and the Economic Process*, en el cual se profundiza la idea de que los procesos económicos involucran la conversión de energía y materiales en un proceso estructurado que, a su vez, involucra la producción de entropía (Kåberger & Månsson, 2001). Este libro incorpora temas amplios incluyendo física, economía y filosofía de la ciencia y, fue central para el desarrollo de discusiones que se darían posteriormente dentro de la economía ecológica (Røpke, 2004).

El trabajo de Georgescu-Roegen desarrolló y elaboró una extensa crítica a las ciencias económicas basado en las leyes de la termodinámica, y en particular, la ley de la entropía, la cual él consideraba "la más económica de todas las leyes físicas" (Georgescu Roegen, 1971. p. 280, citado en Baumgärtner, 2004). Su contribución inició un intenso debate en torno a la pregunta de si la termodinámica y sus leyes son relevantes para la economía (Burness et al., 1980; Daly, 1992; Kåberger & Månsson, 2001; Khalil, 1990; Lozada, 1991; 1995; Norgaard, 1986; Townsend, 1992; Williamson, 1993; Young, 1991; 1994, citados en Baumgärtner, 2004).

Uno de los principales aportes de Georgescu-Roegen fue la incorporación de la segunda ley de la termodinámica al estudio de los procesos económicos. Esta ley puede ser expresada de la siguiente manera: la cantidad de energía disponible para realizar trabajo tiende a incrementarse con el tiempo; o de forma similar: la entropía tiende a incrementarse en el tiempo. En el contexto del trabajo de

Georgescu-Roegen, esta ley puede ser interpretada como que, en todo movimiento de energía, siempre hay una parte de la energía que se degrada y que se pierde para el aprovechamiento humano.

Georgescu-Roegen sostuvo que los principios físicos que se aplican a la energía, también pueden ser aplicados a la materia, de tal manera que no solo la energía disponible para hacer trabajo se pierde para el aprovechamiento humano, sino también los materiales usados en el proceso económico; de tal manera que, ni mediante los avances tecnológicos se puede crear un mecanismo de reciclaje que recupere los materiales al cien por ciento. A menudo, esta propuesta es tomada como la cuarta ley de la termodinámica; sin embargo, algunos autores sostienen que no es más que la segunda ley expresada de forma diferente ya que, a partir del segundo principio se puede derivar el cuarto (Naredo & Valero, 1999).

La principal conclusión que se puede extraer del trabajo de Georgescu-Roegen es que el crecimiento económico sostenido es imposible en un medio que es finito. De esta conclusión se deriva que los mercados funcionan de forma imperfecta debido a que no incorporan las consideraciones derivadas de las leyes termodinámicas y por lo tanto ocasionan una serie de problemáticas ambientales como externalidades.

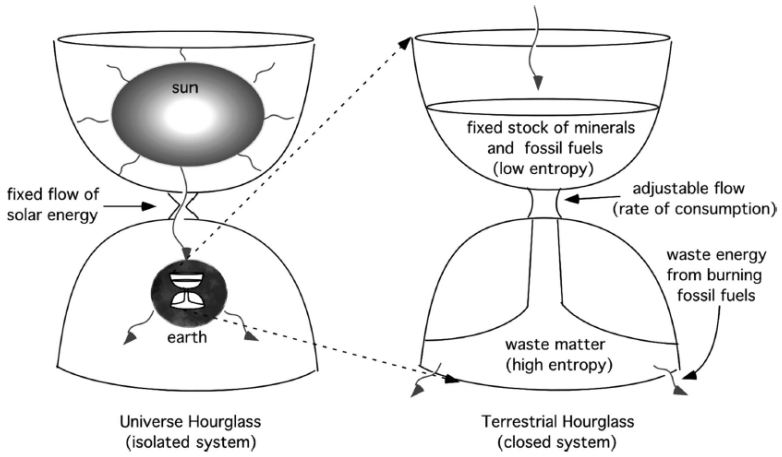
La idea subyacente a estos trabajos es que cuando se habla de un sistema, este implica una interrelación entre uno o más componentes del mismo y, sea abierto o cerrado, constituye una estructura que se ve afectada por esta interacción entre los componentes internos del sistema, así como por su relación con elementos del entorno que lo rodea. Esto es importante para entender que las dinámicas del sistema económico se asemejan a las de un sistema energético, cuyas interacciones entre productores y consumidores afectan el flujo de energía y, además, tienen un impacto directo en el sistema superior del que hace parte, el ecosistema.

Todos los ecosistemas pertenecen a un sistema principal: la Tierra; cuyos flujos de energía disponibles vienen dados por la energía que emite el Sol y llega al planeta. Ahora, aunque la cantidad de energía que emite el Sol es infinita, la cantidad de energía que recibe el planeta es constante y, por lo tanto, finita. Esto quiere decir que la energía disponible para el funcionamiento del sistema económico también tiene un límite.

Al respecto, Daly (1986) argumentó que la entropía establece límites a las cantidades de trabajo que se pueden realizar en cualquier sistema termodinámico y por esta razón los sistemas deberían estar diseñados de tal manera que se capture la máxima cantidad de trabajo disponible dado un cambio entrópico. Por ejemplo, el uso del carbón sería más eficiente si en vez de quemarse para generar calor

(lo cual representa convertir el calor en energía de baja calidad) y luego convertir este calor en trabajo mediante un motor térmico; se usara el carbón directamente para producir trabajo como ocurre en una célula de combustible.

Figura 1-1. Relojes de arena de entropía.

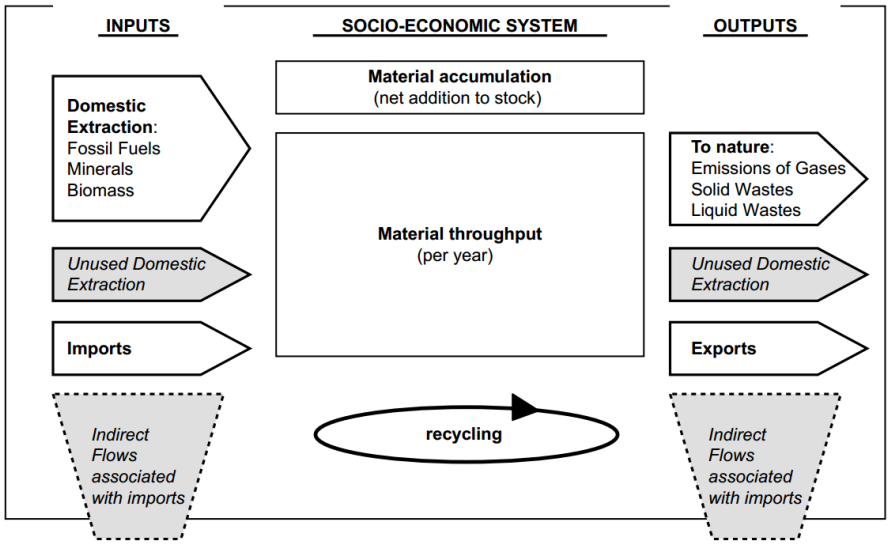


Fuente: Daly, 2007.

Como se observa en la Figura 1-1, hay una cantidad fija de minerales y combustibles fósiles (baja entropía) disponible en el planeta; cuya tasa de consumo humano determina la cantidad de desechos energéticos y de materiales (alta entropía) se generan y emiten al ecosistema. Si esta tasa de consumo es muy alta, se están tomando recursos disponibles para las generaciones futuras en la producción del presente, aumentando la acumulación de desechos es mayor y haciendo de esta situación algo insostenible.

Daly entiende la producción como un flujo metabólico que es entrópico e irreversible. El uso de recursos es un flujo de fuentes naturales (bosques, minas, pastizales, pesca) que, mediante la transformación ocurrida en producción y consumo dentro del mercado, vuelve a la naturaleza como desperdicios (a la atmósfera, los océanos, el jardín del vecino) (Daly, 2007). La importancia de entender esto radica en la sostenibilidad del sistema: al ser un proceso que inicia con la toma de energía de fuentes externas y cuyos desechos también salen del sistema, puede dar la impresión errónea de que no hay un proceso de reciclaje o absorción de los residuos o, que la disponibilidad de energía es infinita. Pero, lo cierto es que existe una tasa entre la producción de energía y el consumo de esta y que, de no conservar un determinado equilibrio, conlleva al colapso del sistema.

Figura 1-2. Balance general de materiales en la economía.



Fuente: Martinez-Alier, 2009.

En la Figura 1-2 se observa el flujo metabólico del sistema socioeconómico. Se plantea en forma de proceso compuesto en tres etapas: las entradas de energía (inputs), la producción material a partir de esas entradas (material throughput), y las salidas de energía o residuos (outputs); en donde la primera y tercera etapas son externas al sistema y, este último, funciona como una estructura cerrada. Esta representación no corresponde con la realidad y, es evidente en las externalidades que surgen del funcionamiento del mercado y los consecuentes perjuicios que tiene sobre otras especies y las generaciones futuras.

Generalmente, este metabolismo se entiende en términos materiales, tangibles. Sin embargo, cuando los flujos de energía disponibles se transforman en bienes y servicios, es necesario comprender que este proceso transcurre como origen y resultado de las interacciones entre individuos humanos, cuyas complejas relaciones llevan a considerar el lado intangible del metabolismo del sistema. Esta idea ha sido contemplada desde disciplinas como la economía y la sociología, que han buscado explicar el flujo energético en relación con las implicaciones históricas, económicas, sociales en la apropiación humana de la naturaleza (Toledo, 2013).

1.2 Eficiencia energética

Cuando se habla de la imperfección de los mercados, no se trata de un problema de eficiencia, puesto que el mercado es incapaz de reflejar las restricciones impuestas por la ley de la entropía; ya que, el óptimo de Pareto[1] es determinado independientemente de la escala del mercado. En cambio, es un problema de sostenibilidad del sistema, dada su finitud: por más eficiente que sea el uso de los recursos no renovables en el mercado, este uso no puede ser ilimitado.

Entonces, al establecer que hay límites para el consumo energético, se puede deducir que también los hay para los ecosistemas creados por el hombre, las ciudades. El modelo de crecimiento económico actual toma su lugar en la concepción de grandes asentamientos humanos concentrados en un espacio que permite reducir los costos de producción. Concebir las ciudades como unos sistemas de producción, transformación y consumo, hace más evidente que las cantidades de energía necesarias para crear y mantener en funcionamiento un asentamiento humano son enormes.

Esto no quiere decir que la eficiencia no debe ser considerada en el análisis. El aumento de la eficiencia energética es un objetivo que, aparentemente, garantiza una disminución del consumo energético (y por ende, de la producción) pero, este no siempre es el caso. Un aumento en la eficiencia energética puede conllevar a un aumento en el consumo total de energía y, de hecho, es bastante probable que lo haga. Comúnmente, se le conoce a este fenómeno como la paradoja de Jevons, en honor al economista William Jevons. La paradoja de Jevons se origina cuando un aumento en la eficiencia provocada por una mejora tecnológica induce una disminución de la relación costo-beneficio en el uso de un insumo, lo cual, produce que el consumo total del insumo aumente (Ceddia, Sedlacek, Bardsley & Gomez-y-Paloma, 2013).

La paradoja de Jevons puede conducir a que las medidas utilizadas para disminuir el impacto ambiental generado por la producción o consumo de un insumo energético mediante aumentos en la eficiencia sean contraproducentes y, de hecho, se provoque un aumento en los impactos ambientales generados al aumentar el consumo total de los insumos energéticos. Por esta razón, es importante tener en cuenta que, inducir mejoras tecnológicas para mejorar la eficiencia energética del sector productivo, no siempre es la mejor opción desde la perspectiva ambiental. En cambio, deben buscarse fuentes de energía que reduzcan la importancia y la magnitud de los impactos ambientales negativos generados durante la producción o el consumo de dicha energía.

[1] Este es un criterio de eficiencia económica que sirve para la evaluación de políticas económicas propuesto por Vilfredo Pareto en 1906, el cual estableció que una situación es eficiente si no es posible mejorar la situación de un individuo sin empeorar la de los demás (Díaz, 2014).

Uno de los desafíos, respecto a la eficiencia energética, es su medición. En términos generales, existen dos aproximaciones posibles para medirla: una micro y una macro. La aproximación micro parte del supuesto de que existen tecnologías de producción más eficientes que otras, por lo cual consiste en medir qué tanto se han implementado las tecnologías más eficientes respecto a las menos eficientes, para una muestra de empresas. Por su parte, la aproximación macro consiste en comparar los agregados de consumo energético por sectores con la producción de cada uno de estos, observando su variación en el tiempo, sin centrar la atención en las tecnologías de producción o en las fuentes energéticas utilizadas en el proceso.

1.3 Limites al crecimiento

Con la creciente población, la escala del sistema económico ha aumentado vertiginosamente en el último siglo y, con ello, la demanda de energía necesaria para mantener la tasa de crecimiento en la producción y consumo. Estudios realizados para determinar este impacto han mostrado que la energía total y los materiales necesarios para mantener y reemplazar el consumo de la sociedad actual han incrementado vertiginosamente (Daly, 2007). De esto se deriva que, por más desarrollos tecnológicos que surjan para aumentar la eficiencia energética, el modelo de desarrollo económico es el que determina el crecimiento en la demanda y oferta de energía, por lo que no se estaría solucionando nada, si la premisa bajo la cual funciona el mercado es el aumento en la producción y consumo, con su consecuente aumento energético y los impactos ambientales que esto acarrea.

En otras palabras, la energía es un insumo necesario para el funcionamiento del sistema económico, en particular, para su crecimiento. A medida que el sistema económico crece, se necesita más energía y, esta crece, principalmente, a través del incremento en el subsidio energético provisto por la energía fósil. Esto constituye un círculo vicioso en el cual se genera un impacto creciente sobre el ambiente con el único fin de incrementar la escala del sistema económico.

Daly (2007) lo planteó en términos de una dicotomía: la sostenibilidad del sistema está dada por, escoger entre una imposibilidad política (cambio social en la forma en que la humanidad se relaciona con el entorno, limitando el crecimiento) o una imposibilidad biofísica (crecimiento continuo hasta alcanzar el límite de la catástrofe ambiental y enfrentar las consecuentes pérdidas de bienestar que esto conlleva).

Teniendo en cuenta que, en el largo plazo, el verdadero límite viene impuesto por la disponibilidad de recursos biofísicos, el crecimiento se hace insostenible, volviéndolo antieconómico[2]. El conflicto surge de la voluntad social y política para reconocer que los cambios necesarios para hacer sostenible el sistema socio-económico actual implican medidas drásticas en el comportamiento de la sociedad: redistribución del ingreso para disminuir la pobreza, control de natalidad para afrontar la transición poblacional de la pirámide demográfica, pagar más por mantener un capital natural mínimo (lo que traduce en una disminución en el ingreso) (Daly, 2007, p. 10).

1.4 Conclusiones

Es indudable que, los problemas ambientales constituyen una de las principales preocupaciones políticas que existen en la actualidad. La aplicación de políticas que aboguen por la protección de los ecosistemas y un uso más responsable de los recursos materiales y energéticos no solo responde a una propuesta teórica, sino que es una necesidad real derivada de la insostenibilidad del modelo económico actual. Por esta razón, es importante que la discusión teórica esté subordinada a las necesidades reales de los habitantes del planeta y estas deben convertirse en el eje central de cualquier teoría que abogue por mejorar la calidad de vida de las personas.

El crecimiento ilimitado o infinito es imposible. La energía disponible para sostener la vida es finita, el espacio también lo es. Aunque el mercado no tenga límites por entenderse, teóricamente, como un sistema cerrado; es evidente que, en la práctica, éste es abierto y, todo consumo de energía y su consecuente producción de desechos tienen implicaciones en el ambiente del que toma recursos y en el que deposita sus productos.

Desde la economía ecológica, el cambio debe surgir a partir de una transformación de la cultura de consumo sin límites, presente en el actual sistema económico, a una sociedad de consumo sostenible que, sin tener que volver a la época de las cavernas o a trepar árboles, pueda mantener un equilibrio con el ecosistema y el ambiente, así como el nivel de bienestar logrado a partir del desarrollo tecnológico humano.

[2] Esta expresión es usada por Daly para referirse a todo crecimiento que se da más allá del óptimo económico. Esto es, los costos de producir un bien superan a los beneficios obtenidos de la producción de este, resultando en una pérdida, económica y social; Daly (2007) lo expresa como "volviéndonos más pobres que ricos" (p. 10).

Capítulo 2: caracterización del modelo energético convencional: escala mundial y nacional

La energía es uno de los principales insumos que requiere diariamente los asentamientos urbanos para poder funcionar. Tanto la generación energética como su consumo producen efectos sobre el entorno que pueden afectar negativamente el bienestar humano. Es por esto que es relevante revisar el modelo energético en las tres escalas de producción y consumo más importantes: escala mudial y nacional; de tal manera que se pueda establecer los impactos ambientales generados por la oferta y la demanda energética, así como los retos que deben asumirse para garantizar la sostenibilidad de su metabolismo social.

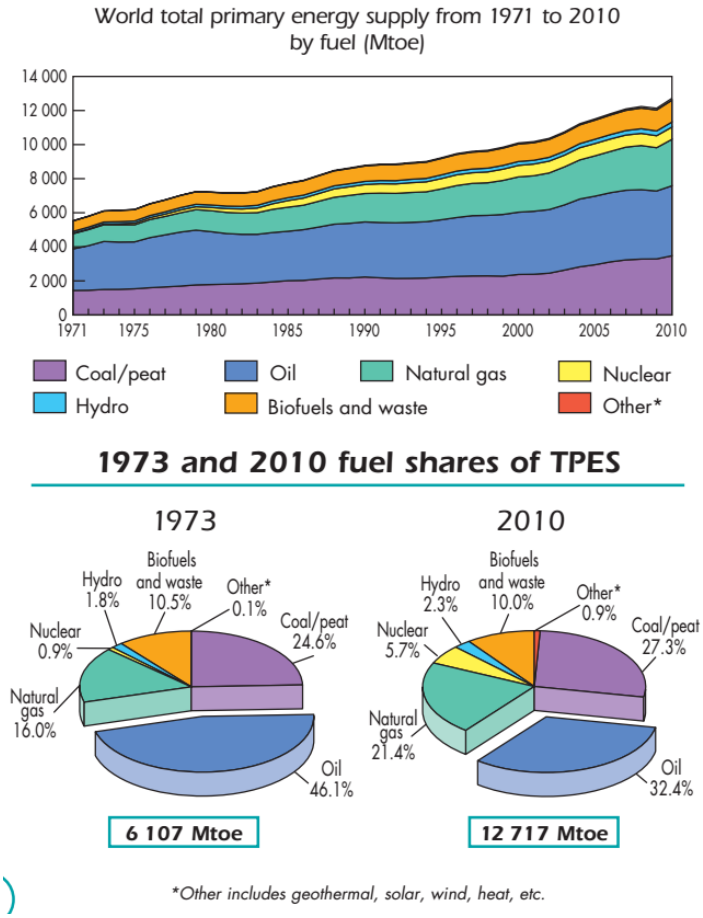
A continuación se identifican y describen los principales problemas ambientales existentes a nivel mundial y nacional que surgen a partir del uso de energía fósil y otras fuentes de energía convencionales. Para el desarrollo de este objetivo, este capítulo consta de tres secciones: 1) se presenta la información más reciente sobre el consumo y la producción de energía a nivel mundial y se muestran los principales problemas ambientales que surgen debido a la alta dependencia de fuentes de energía convencionales como el Cambio Climático Global, la contaminación atmosférica urbana y la calidad del aire y, los impactos ambientales de las centrales hidroeléctricas y otras fuentes convencionales de energía; 2) se presenta el panorama a escala nacional, es decir, el contexto colombiano en cuanto a demanda y oferta energética, así como las problemáticas ambientales asociadas y; 3) se presentan unas conclusiones a partir de las dos secciones anteriores.

2.1 Panorama a escala mundial: producción y consumo de energía

La cuarta revolución industrial trajo consigo un nuevo paradigma tecno-económico, sustentado en el uso extensivo de la energía fósil que coadyuvó a importantes desarrollos tecnológicos (Pérez, 2004). En décadas recientes, el suministro de energía primaria mundial se duplicó con creces (pasando de 6,107 mtoe[3] en 1973 a 12,717 mtoe en 2010), principalmente, debido al incremento en la oferta de combustibles fósiles (Gráfica 2-1). El carbón, la gasolina, el gas y el biodiesel, han sido las principales fuentes de oferta energética durante dicho periodo. Solo a mediados de la década de los ochenta, la energía nuclear y las hidroeléctricas empezaron a ser representativas en la oferta energética mundial (IEA, 2012b).

[3] Millones de toneladas equivalentes de petróleo.

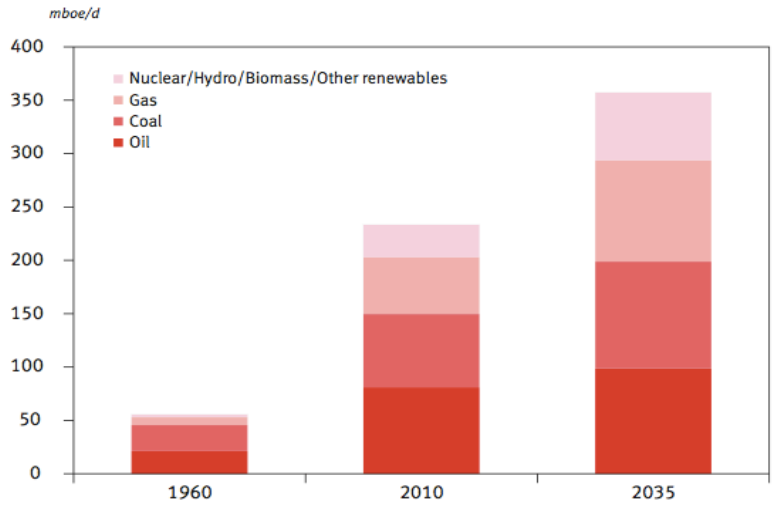
Gráfica 2-1. Producción energética primaria mundial (Mtoe), 1971-2010.



Fuente: IEA, 2012a. p. 28.

Otras fuentes de suministro de energía no fósil (geotérmica, solar, eólica, entre otras) han emergido en décadas recientes pero conservan una representatividad baja. Esta representatividad dentro de la oferta energética mundial de energía primaria pasó de un 14% en 1971 a un 19% en 2010 (IEA, 2012b. p 18).

Grafica 2-2. Producción energética mundial por tipo de combustible.



Fuente: OPEC, 2012. p. 76.

Las proyecciones indican un incremento de la oferta energética mundial de un 54% en el período comprendido entre 2010 y 2035 (Gráfica 2-2), siendo el 60% de este incremento explicado por el incremento de la demanda energética en China, India y Oriente Medio (OPEC, 2012).

Pese al crecimiento esperado de la demanda de energía a nivel mundial, se prevé una pequeña disminución en la representatividad de los combustibles fósiles. Sin embargo, se espera que los combustibles fósiles sigan siendo la fuente predominante de producción energética, principalmente, debido al incremento en años recientes de las subvenciones a la explotación de combustibles fósiles en Oriente Medio y Norte de África (IEA, 2012c).

En 2010, los combustibles fósiles representaron el 87% de la demanda mundial de energía y se proyecta que para 2035 representarán el 82%. En este escenario, se prevé una disminución de la representatividad porcentual del carbón y el petróleo[4], pasando de un 35% de la demanda mundial de energía en 2010 a cerca de un 27% en 2035. Por su parte, el gas aumentará su representatividad en la demanda energética mundial, pasando de un 23% en 2010 a un 26% en 2035 (OPEC, 2012).

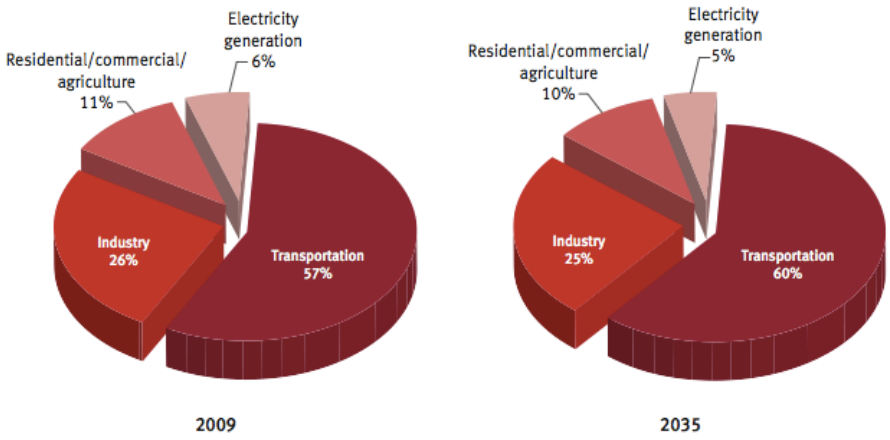
Una de las principales variables explicativas del crecimiento de la demanda energética, en el mediano plazo, será el crecimiento demográfico. De acuerdo a las proyecciones de la OPEP, la población mundial pasará de 6,9 billones de personas en 2010 a 8,6 billones en 2035. El 92% de este incremento

[4] La demanda de petróleo alcanzará 99,7 millones de barriles diarios de petróleo (bdp) en 2035, partiendo de una demanda de 87,4 millones bdp en 2011, y el precio medio para el crudo importado en esa misma fecha rondará los 125 USD/barril (en USD de 2011) (más de 215 USD/barril en términos nominales) (IEA, 2012c).

se deberá a países como China e India, en donde este último país superará a China como el país más poblado del mundo en 2022 (OPEC, 2012).

Por otra parte, el sector transporte (terrestre, aéreo, marítimo, ferrovial, etc.) representa actualmente uno de los principales componentes de la demanda energética mundial y el principal componente de la demanda de petróleo, constituyendo un 57% del consumo mundial de petróleo en 2009 (Gráfica 2-3), seguido por el consumo industrial. La OPEP prevé que este porcentaje aumentará a un 61% en 2035, siendo este el sector clave en el crecimiento de la demanda de petróleo (OPEC, 2012).

Grafico 2-3. Distribución de la demanda mundial de petróleo 2009-2035.



Fuente: OPEC, 2012. p. 76.

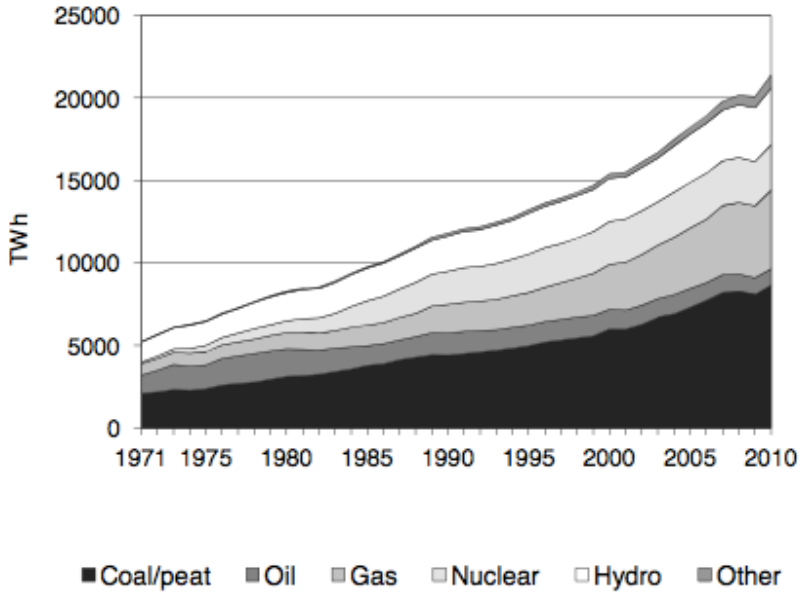
De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), habrá un incremento del consumo de petróleo provocado por el crecimiento económico de los países emergentes (principalmente, China, la India y Oriente Medio). Dicho consumo representa actualmente más de la mitad del consumo mundial de petróleo, y se prevé que esta cifra se incrementará debido al crecimiento del parque automotor. Se proyecta que el número de automóviles en circulación se duplicará en el período comprendido entre 2011 y 2035, alcanzando los 1.700 millones (IEA, 2012c).

El incremento de la demanda de combustible para vehículos pesados tendrá un papel fundamental en el incremento de la demanda mundial de petróleo: *"Este último será causante del 40% del incremento de la demanda mundial de petróleo: el consumo de petróleo en combustible para vehículos pesados – principalmente diesel– se intensifica mucho más rápidamente que para los automóviles, en parte*

porque las normativas de ahorro de combustible no son tan comúnmente aplicadas a vehículos pesados" (IEA, 2012c, p.5).

Respecto a generación eléctrica, la electricidad generada por las fuentes fósiles supera la de cualquier fuente no convencional de energía actualmente (81% de la oferta energética primaria mundial), con cerca de 20.000 Tw/h; dominando, en mayor proporción, el carbón (Grafica 2-4).

Gráfica 2-4. Generación eléctrica por tipo de combustible.



Fuente: IEA, 2012b. p. 124.

La IEA presupuesta que la demanda de electricidad para el año 2035 será un 70% superior a la actual, siendo este crecimiento impulsado por el crecimiento demográfico, el incremento del ingreso en los países en desarrollo, el aumento constante del número de aparatos eléctricos utilizados en los hogares y edificios comerciales, el crecimiento de la procesos industriales accionados eléctricamente (IEA, 2012b) y por una infraestructura eléctrica obsoleta ineficiente (IEA, 2012c).

En cuanto a la generación de electricidad a través del agua, la IEA prevé que las necesidades de agua para la producción de energía crecerán dos veces más rápido que la demandad de energía. El agua es esencial para la generación eléctrica, sin embargo, también se utiliza para la extracción, el transporte y el procesamiento de petróleo, gas y carbón, entre otras. Dicha agencia calculó que el agua destinada para la producción de energía en 2010 fue de 583.000 millones de metros cúbicos. El agua que no

volvió a su fuente por las actividades antes descritas, significó 66.000 millones de metros cúbicos (IEA, 2012d).

Se tiene previsto un aumento del 85%, para el periodo comprendido entre 2011 y 2035, en la demanda hídrica para actividades de generación de energía, incluyendo su uso extensivo en la producción de biocombustibles; lo cual, aunado al crecimiento económico, intensificará la competencia por los recursos hídricos a escala mundial. Esta situación conllevará a costes adicionales en las actividades

de uso intensivo de agua, problemas en la generación de electricidad y posibles conflictos geopolíticos por dicho recurso (IEA, 2012d).

En general, el panorama de mediano plazo evidencia la continuidad de la fuerte dependencia mundial a los combustibles fósiles, provocada principalmente por el crecimiento de economías en desarrollo y una fuerte presión demográfica que incrementará el consumo y la producción de energía.

2.1.1 Problemática ambiental asociada al uso de fuentes de energía convencionales

Los impactos ambientales asociados al uso de fuentes de energía convencionales son diversos y se presentan en múltiples escalas. En esta sección se abordan algunos problemas que surgen debido al uso y dependencia de estas fuentes de energía.

Cambio Climático Global

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) definió en 1992, en su Artículo 1, el cambio climático como "*el cambio de clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables*" (UN, 1992. p. 3).

Es un hecho científico y político que el Cambio Climático es una realidad presente y representa uno de los mayores problemas ambientales de nuestro tiempo. Existe una preocupación a escala global por el acelerado aumento de las emisiones contaminantes a la atmósfera, fomentado principalmente por el uso indiscriminado de los combustibles fósiles.

Actualmente, se sabe que una gran variedad de actividades antrópicas, incluyendo la combustión de combustibles fósiles, generan emisiones importantes de Gases de Efecto Invernadero (GEI), los cuales son los principales causantes del Cambio Climático que experimenta actualmente la atmósfera de la Tierra. De acuerdo a los reportes de 2007 y 2013 del Panel Intergubernamental para el Cambio

Climático (IPCC por sus siglas en ingles), existe una certeza del 90% de que el actual Cambio Climático es de origen antrópico. Las actividades productivas humanas han incidido en la recomposición de la atmósfera y en las propiedades de la superficie terrestre, provocando variaciones en el balance de radiación de la tierra-atmósfera; causa directa del Cambio Climático.

Los GEI son "*aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja*" (UN, 1992. p. 5). De acuerdo a Pulido (2012):

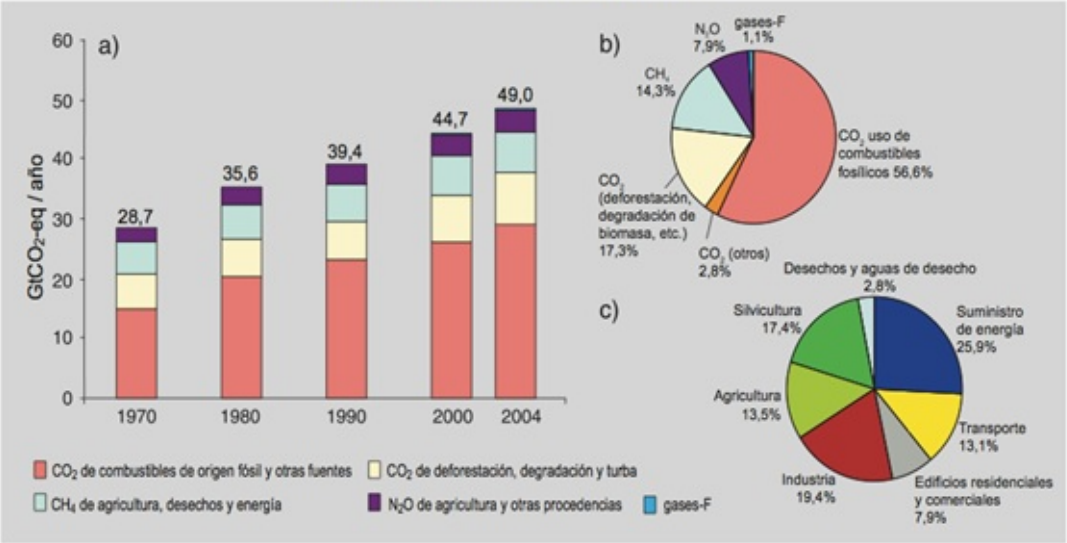
> "El incremento en la concentración de los GEI en la atmósfera es uno de las principales causas de forzamiento radiativo[5]. Los GEI reducen la pérdida neta de radiación infrarroja hacia el espacio y tienen poco impacto en la absorción de la radiación solar, lo que hace que la temperatura de la superficie sea más cálida y produce el denominado "efecto invernadero". La Tierra está expuesta a un efecto invernadero de forma natural, especialmente en la tropósfera, debido al balance radiativo entre su superficie y la atmósfera que la rodea gracias a las sustancias de efecto invernadero que naturalmente se encuentran en ella (vapor de agua H2O, Dióxido de Carbono CO2, Metano CH4, Óxido Nitroso N2O), sin embargo, tanto la variación en la concentración en la atmósfera de algunas de estas sustancias como la emisión de las sustancias sintéticas de efecto invernadero (Hexafluoruro de Azufre SF6, hidroclorofluorocarbonos HFCs, perfluorocarbonos PFCs) debido a la actividad humana alteran este efecto invernadero, incrementándolo de manera significativa" (p. 20).

La transformación indiscriminada de los ecosistemas y la utilización intensiva de fuentes de energía fósil iniciada desde la revolución industrial provocaron una emisión masiva de GEI, modificando la composición química de la atmósfera terrestre e incrementando la temperatura media mundial. Adicionalmente, se han producido una gran diversidad de efectos climáticos: aumento en las precipitaciones anuales, incremento de la salinidad de los océanos, cambio en los patrones de viento, aumento de las sequías, ondas de calor y los ciclones torrenciales, entre otros (IPCC, 2007).

La atmósfera garantiza la vida y la supervivencia de todos los ecosistemas y especies en el mundo. Esta función ha sido modificada por la emisiones de GEI que las sociedades humanas han realizado en los últimos siglos, haciendo la capa de gases más densa en la atmosfera, lo cual ha provocado cambios en los patrones de clima (CEID, 2009). Solo entre 1970 y 2004, hubo un aumento del 70% de las emisiones de GEI por actividades humanas (IPCC, 2007); situación producto de la utilización de combustibles fósiles, de las actividades agrícolas y del cambio en el uso de la tierra (Gráfica 2-5).

[5] "El *forzamiento radiativo* es un indicador de la influencia que determinado factor ejerce sobre el balance de energía entrante y saliente del sistema Tierra-atmósfera. Los valores del forzamiento radiativo corresponden a cambios referidos a las condiciones de la era preindustrial, definidos en 1750, y están expresados en watios por metro cuadrado (W/m^2)" (IPCC, 2007, p. 36).

Gráfica 2-5. Emisiones mundiales de GEI antropógenos.



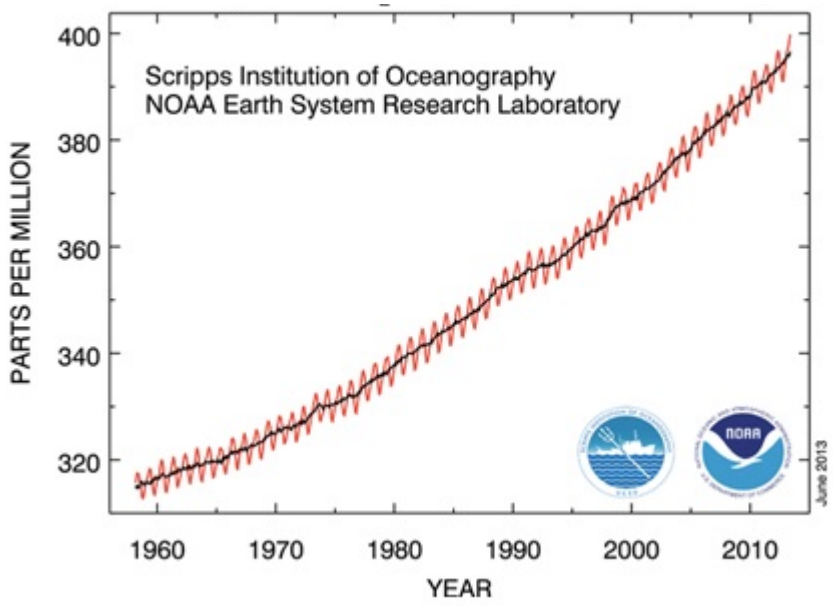
Fuente: IPCC, 2007. p. 15.

Los principales GEI emitidos por las actividades antropógenas son: Dióxido de Carbono (CO2), Metano (CH4) y Oxido Nitroso (N2O), entre otro compuestos como: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de Azufre (SF), Hidroclorofluorocarbonos (HCFC), Cloro-Fluorocarbonos (CFC) y los gases químicamente activos: dióxido de azufre (SO) y compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (IPCC, 2000). Los tres gases iniciales representan el principal porcentaje del actual forzamiento radiativo, constituyéndose el CO2 como uno de los más significativos dentro de este grupo gases (IPCC, 2013. p. 31).

La combustión de combustibles fósiles representa la principal fuente de emisiones de CO2 y un 56,6% de las emisiones antropógenas de GEI (Gráfica 2-5). Esto, sumado al hecho de que el CO2 es el gas que más influencia tiene actualmente sobre el balance radiativo del planeta, produce que el uso de combustibles fósiles para la generación de energía se constituya como el factor más influyente en el fenómeno de Cambio Climático que experimenta actualmente la Tierra.

Recientemente, el Observatorio Manua Loa de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) señaló que la atmosfera terrestre había superado las 400 partículas por millón (ppm) de CO2 (Gráfica 2-6); cifra histórica pues, la última vez que el planeta vivió una situación de esta magnitud fue hace 3 y hace 5 millones de años. Igualmente, la tasa de crecimiento mundial de los GEI se ha incrementado sustancialmente en 2.1 ppm por año (NOAA, 2013).

Gráfica 2-6. Nivel histórico de CO2 en la atmósfera.



Fuente: NOAA, 2013.

Respecto al calentamiento global producido por el Cambio Climático, la IEA publicó un artículo titulado *Prospect of limiting the global increase in temperature to 2ºC is getting bleaker*, en el cual señaló la dificultad de alcanzar el objetivo de limitar el aumento de temperatura a 2 Cº para el presente siglo. De acuerdo a sus datos, en 2010, se alcanzó una cifra histórica de 30,6 gigatoneladas (Gt) de GEI, un incremento del 5% respecto al año 2008, cuando el mundo alcanzó los niveles de 29,3 Gt (IEA, 2011).

Igualmente, de acuerdo a las estimaciones de The Emissions Gap Report (2012), coordinado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) y la Fundación Europea del Clima, los niveles de emisiones de los GEI ya se encuentran por encima del promedio para el cumplimiento de la meta de 2ºC para el año 2100 debido a que gases como el CO2 han aumentado su concentración en la atmósfera un 25% desde el año 2000 (UNEP, 2013, p.21); las emisiones probablemente llegarán a 58 Gt de CO2 en ocho años, 14 Gt más de las contempladas para el año 2020.

La temperatura entre 1990 a 2010 se incrementó 0,4 ºC (UNEP, 2001) y de acuerdo a las proyecciones futuras modeladas por el Special Report Emission Scenarios del IPCC, se prevé que en los siguientes años, el calentamiento global puede estar cercano a los 0,2 ºC por década. Para el caso especifico de América Latina, se podrían experimentar aumentos de temperaturas cercanos entre 1ºC

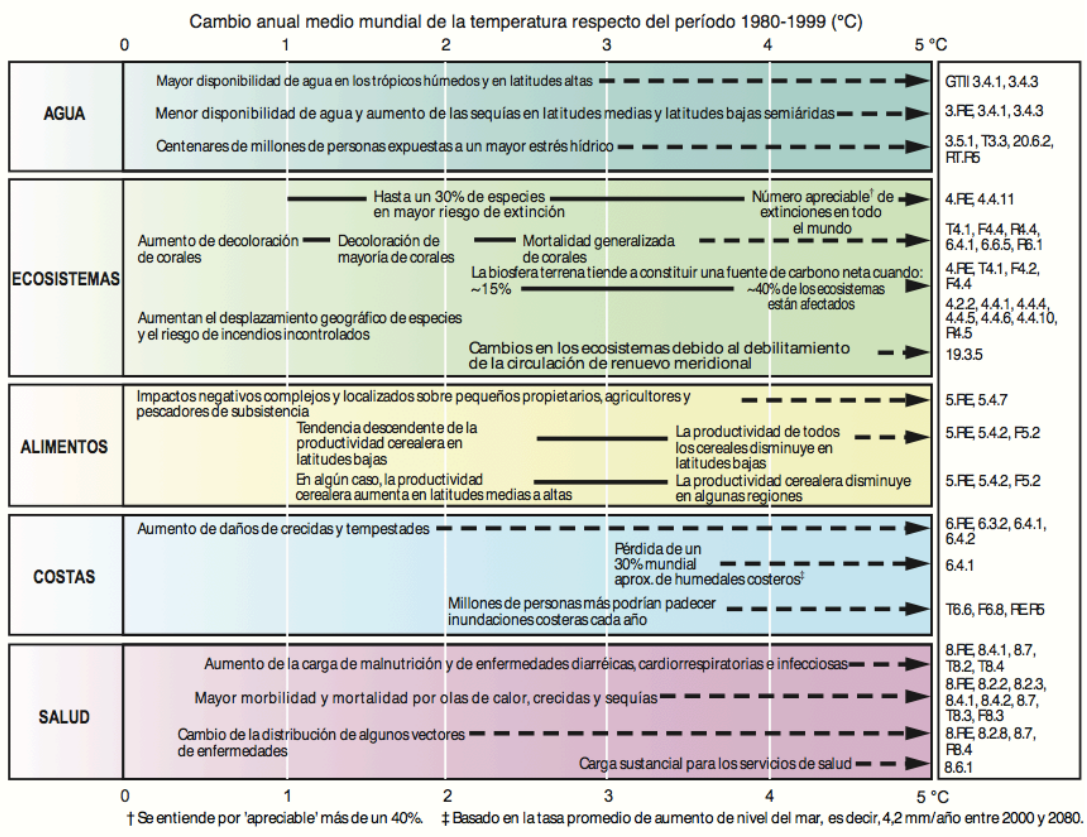
a 4ºC o, en el peor de los escenarios, de 6 ºC (Conde-Álvarez & Saldaña-Zorrilla, 2007).

Adicionalmente, el nivel del mar se ha incrementado debido a este calentamiento. Se ha presentado un aumento del nivel de los océanos en promedio de 1,8 milímetros por año (mm/año) por efecto de la dilatación térmica y el deshielo de los glaciares, casquetes y de los mantos polares. Estos últimos presentan una disminución de la extensión de nieve en promedio de 2,7% por decenio desde 1978 (Conde-Álvarez & Saldaña-Zorrilla, 2007.).

Esta realidad ha desencadenado cambios en la biosfera volviéndola inestable. Se ha presentado un incremento de lagos glaciales, se han descongelado vastas zonas de permafrost, se ha producido una alteración de las pautas eólicas y los sistemas hidrológicos y han cambiado las temperaturas anuales esperadas. En síntesis, el calentamiento global ha provocado cambios físicos y biológicos que tienden a acentuarse en el mediano y largo plazo.

Por otra parte, los impactos ambientales producidos por el Cambio Climático afectan directamente a los ecosistemas al modificar los parámetros climáticos necesarios para su funcionamiento normal. Los ecosistemas constituyen un componente fundamental para garantizar el bienestar humano por varias razones: en primer lugar, los ecosistemas proveen los materiales necesarios para el funcionamiento del sistema económico; en segundo lugar, los ecosistemas actúan como sumidero al asimilar y transformar los desechos producidos por las actividades humanas; en tercer lugar, los ecosistemas aseguran el mantenimiento de las condiciones ambientales necesarias para garantizar la salud y la supervivencia de los seres humanos; en cuarto lugar y por último, los ecosistemas cumplen funciones que resultan irremplazables a través del capital artificial (principalmente, generación de alimento y de agua). En la Gráfica 2-7 se resumen algunos de los impactos asociados al Cambio Climático que afectan directamente el bienestar humano.

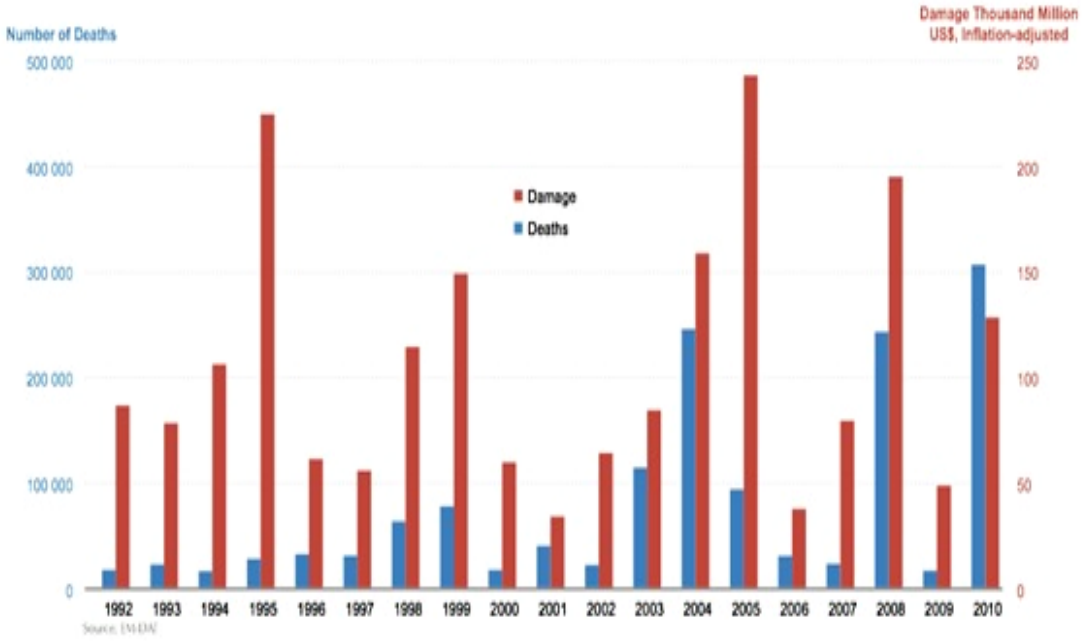
Grafica 2-7. Impactos asociados al Cambio Climático.



Fuente: IPCC, 2000. p 10.

Otro tipo de impactos asociados al Cambio Climático son aquellos relacionados con el incremento en el número de desastres naturales debido a la inestabilidad de los parámetros climáticos. La información disponible sobre los impactos producidos por desastres naturales a escala global muestra una tendencia creciente en el número de muertes producidas por este tipo de desastres durante el período comprendido entre 1992 y 2010 (Gráfica 2-8).

Gráfico 2-8. Impactos producidos por los desastres naturales a escala mundial.



Fuente: UNEP, 2011. p. 62.

Igualmente, de acuerdo al IPCC, más del 90% de los desplazamientos mundiales recientes fueron provocados por el Cambio Climático (IPCC, 2007). En el mismo sentido, el Consejo Noruego para los Refugiados (NCR, por sus siglas en ingles) reportó que 14,9 millones de personas, en 2011, fueron desplazadas por desastres asociados al Cambio Climático (NCR, 2012). De acuerdo al NCR, el aumento de la población aunado a los impactos del Cambio Climático reforzará el incremento en los desplazamientos por desastres naturales (NCR, 2012).

Impacto ambiental de las centrales hidroeléctricas

Desde hace miles de años se construyen represas para el control de las inundaciones y la generación de energía hidráulica. En el siglo pasado, las represas y embalses se promocionaron como una fuente de suministro de agua y energía capaces de producir múltiples beneficios, convirtiéndose en sinónimo de desarrollo y modernización. Según la Comisión Internacional de Grandes Repesas (ICOLD), existen más de 45.000 grandes represas en el mundo lo cuales representa que más de la mitad de los ríos del mundo tienen al menos una represa (CMR, 2000).

Es innegable la capacidad de generación de energía y de desarrollo de las represas y embalses del mundo. La energía hidroeléctrica suministra más del 90% de la electricidad a 24 países como sucede en países como Brasil y Noruega. Sin embargo, la utilización de las represas y embalses como fuente

de generación de energía se presenta de forma desigual entre los países: solo 5 países del mundo producen la electricidad de las tres cuartas partes de todas las represas del mundo y dos tercios de ellas se encuentras en países en desarrollo. (CMR, 2000).

Algunos de los beneficios asociados a esta fuente de energía son: la creación de empleo, la promoción industrial y la generación de ingresos de exportación eléctrica, de materias primas y de manufacturas. Estas bondades son claramente significativas para la satisfacción de las necesidades humanas, sin embargo, como bien ha señalado la CMR, en los últimos 50 años se han detectado problemas sociales y ambientales asociados a estas fuentes de energía que han coadyuvado al desplazamiento forzado de comunidades enteras. Se calcula a la fecha del informe que entre 40 y 80 millones de personas han sufrido por el desarrollo de dicha fuente aunado a la transformación de los ecosistemas, los cursos de los ríos y la emisión de CH4 (AIDA, 2009; CMR, 2000).

Existe un imaginario colectivo de que las represas y embalses son sinónimo de energía limpia y desarrollo sostenible, lo cual, en la mayoría de casos, no es cierto:

> La Comisión encontró que todos los embalses analizados hasta ahora por científicos emiten gases invernadero, como también lo hacen los lagos naturales, debido a la descomposición de la vegetación y a la entrada de carbón procedente de la cuenca. La magnitud de esas emisiones es muy variable. Los datos preliminares del estudio del caso de una represa hidroeléctrica en Brasil muestran que el nivel bruto de estas emisiones es significativo si se lo compara con una planta termo eléctrica equivalente (CMR, 2000. p. 17).

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica que se encuentra sumergida en los embalses y represas emite grandes cantidades de GEI, especialmente CO2 y CH4. Este último gas se distingue por tener de 21 a 22 veces mayores efectos de invernadero que el CO2 en la atmósfera (CEID, 2009; AIDA, 2009). La Asociación Interamericana para el Medio Ambiente (AIDA) estima que los embalses y represas tienen un potencial de aporte al calentamiento global del 15% de las emisiones de GEI (AIDA, 2009). Por otro lado, los embalses tropicales pueden generar 150 veces más CO2 por kilovatio/hora (Kw/h) que el generado en zonas boreales, al punto que pueden generar mayores emisiones que las plantas a base de hidrocarburos (AIDA, 2009).

2.1.2 Contaminación atmosférica urbana y salud pública

Otra de las problemáticas ambientales que impactan negativamente a las ciudades del mundo es el Material Particulado (llamada por los expertos "PM", en referencia a su tamaño de hasta 10 micrómetros, para el caso del PM_{10}): polen, cenizas, polvo de minerales, cemento y metal. Este material se compone principalmente de partículas líquidas o sólidas resultantes de procesos como la *"erosión, las erupciones volcánicas, los incendios, o de origen antropogénico; provenientes del uso*

de combustibles fósiles en la industria y el transporte, de actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos, entre otros" (SDA, 2012. p.30).

De acuerdo al informe de ONU-Hábitat (2012), los niveles de PM_{10} de la mayoría de ciudades de Latinoamérica y el Caribe exceden los mínimos recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). De acuerdo a esta organización, el nivel mínimo de PM_{10} recomendado es de 20 microgramos/m^3; sin embargo, en la mayoría de ciudades estudiadas en este informe, se alcanzan niveles de concentraciones que duplican e incluso triplican este valor. El mayor responsable de esta contaminación atmosférica en las urbes de América Latina y el Caribe es el transporte terrestre, la energía eléctrica, especialmente a base de carbón o aceite pesado y la producción industrial (ONU-Hábitat, 2012).

Las partículas de mayor interés para el monitoreo son las de menor o igual de 2.5 y 10 micras de diámetro, debido a su relación con emisiones directas vehiculares e industriales y con contaminantes secundarios como sulfatos (sulfatos y nitratos producidos por contaminantes primarios e interacciones atmosféricas) (SDA, 2012).

Estas partículas representan un grave riesgo para la salud humana, pues al ingresar al tracto respiratorio, producen daños en tejidos y órganos o sirven de vehículo para bacterias y virus (SDA, 2012). Científicos de la salud han asociado la alta concentración de PM_{10} con enfermedades cardiovasculares y respiratorias y con una mayor morbilidad y mortalidad (ONU-Hábitat, 2012). Debido a la complejidad físico-química del PM y su multiplicidad de efectos perjudiciales sobre la salud humana, existe especial interés por monitorear los niveles de Material Particulado en las ciudades actualmente (SDA, 2012).

De acuerdo al estudio *Epidemiología Ambiental: Un proyecto para América Latina y el Caribe* (1994), elaborado por el Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud en asocio con la Organización Mundial para la Salud (OMS), la Organización Panamericana para la Salud (OPS) y la Agencia de Protección ambiental (EPA por sus siglas en ingles): "*La variable ambiental es uno de los factores determinantes en el proceso salud- enfermedad, siendo la contaminación atmosférica una de las variables dentro de la categoría ambiental*" (p. 41).

Los efectos sobre la salud que pueden tener estos contaminantes atmosféricos son diversos. El Material Particulado Suspendido (MPS) puede penetrar directamente el sistema respiratorio. Las partículas de hasta 10 micrómetros (PM_{10}), pueden llegar hasta la zona tranqueobronquial del

organismo humano, mientras que las partículas de hasta 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) pueden llegar hasta los alveolos pulmonares. Las enfermedades asociadas a este material contaminante son: infecciones respiratorias, asma, bronquitis, arritmias y ataques cardiacos, dolor de garganta, tos, sibilancias y dolor de cabeza (SDA. 2010). En la Tabla 2-1 se presentan algunos efectos agudos y crónicos sobre la salud humana del Material Particulado.

Tabla 2-1. Efectos del Material Particulado sobre la salud humana.

Contaminante	Efectos agudos	Generalidades
Material particulado	Puede agravar la enfermedad pulmonar. Bronquitis aguda. Ataque de asma. Aumento de la susceptibilidad a sufrir infecciones respiratorias. En población sensible ataques cardiacos y arritmia.	El material particulado entre 5 -50 µm es retenido por la nariz y la faringe. Las partículas de 1 a 5 µm ingresan a la región bronquial. Los alveolos son afectados por partículas de diámetro menor a 0.5µm. Partículas menores a 0.05µm son exhaladas. Las partículas pueden causar la irritación e inflamación de los alveolos y el endurecimiento de las vías respiratorias resultando en una pérdida de la función pulmonar al reducir la capacidad de intercambio de oxígeno. Las partículas pueden llegar al torrente sanguíneo y causar problemas cardiovasculares.
	Efectos crónicos	
	Reducción de la función pulmonar. Desarrollo de bronquitis crónica. Suele asociarse con el desarrollo de cáncer pulmonar. Muerte prematura.	

Fuente: SDA, 2010. p. 47.

Por otra parte, la exposición a los GEI presentes en la atmosfera, como el monóxido de carbono (CO2), pueden generar un incremento del dolor en el pecho (angina) que "*se relaciona con la disminución de la duración del ejercicio máxima a corto plazo en hombres jóvenes sanos; la exposición a este contaminante en ambientes internos puede ser mortal (muerte dulce) pues impide que el oxígeno llegue a órganos vitales*" (SDA. 2010, p. 46). Además: "*la exposición por dióxido de nitrógeno (NO2) causa cambios en la función pulmonar y un aumento en la resistencia de vías aéreas en sujetos sanos, también se pueden dar otros posibles efectos relacionados a inflamación del pulmón y cambios inmunológicos*" (SDA, 2010. p. 46).

Por su parte, el Ozono (O3) genera una disminución en la función pulmonar en personas de todas las edades que se ejercitan en exteriores (OMS-OPS, 1994) y, adicionalmente "*se asocia entre otra sintomatología: irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad y dolor durante la respiración*

profunda. Los óxidos de azufre también generan efectos en el sistema respiratorio incrementando la resistencia aérea específica de vías respiratorias y broncoconstricción" (SDA, 2011. p. 46).

Finalmente, como bien señala el informe sobre epidemiología ambiental de la OMS, OPS y EPA (1994), la exposición a PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, NO_2, O_3, entre otros contaminantes, trae efectos combinados y acumulativos "*que contribuyen con la disminución de la función pulmonar de la población expuesta, por ejemplo algunos estudios han asociado que la exposición simultánea a largo plazo a partículas y a SO_2 contribuye al desarrollo de bronquitis obstructiva"* (SDA, 2011. p. 46).

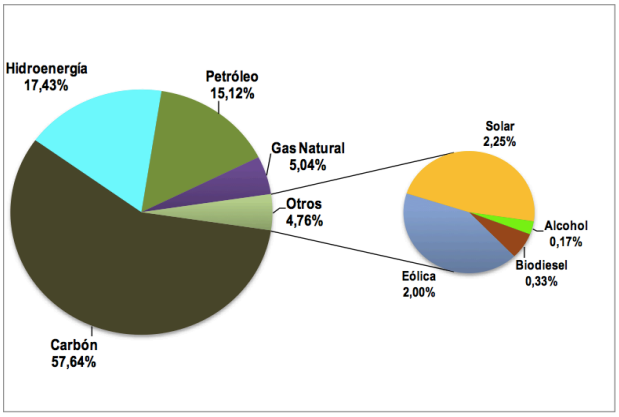
2.2 Panorama a escala nacional: Colombia

La dependencia a las fuentes de energía convencionales y los impactos ambientales a los cuales esta dependencia conlleva son especialmente relevantes para el caso colombiano. Si bien, la responsabilidad del país respecto a las emisiones mundiales de GEI es baja, representando un 0,37% de las emisiones globales totales (MADS, 2013); la vulnerabilidad del país es alta a causa de su ubicación geográfica ecuatorial y de sus condiciones socioeconómicas, caracterizadas por altos índices de pobreza y una de las desigualdades distributivas más altas del mundo.

2.2.1 Producción y consumo de energía en Colombia

El potencial energético colombiano está constituido principalmente por carbón, hidroenergía, petróleo y gas natural (Gráfica 2-9). A diferencia de otros países del mundo, Colombia cuenta con vastos recursos hídricos para generación de energía, constituyéndose como la segunda fuente con mayor potencial después del carbón.

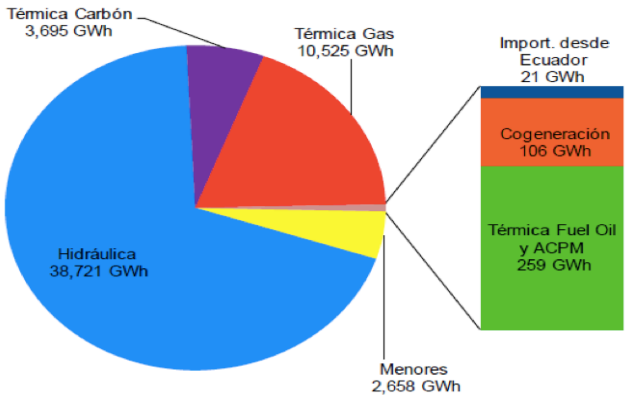
Gráfica 2-9. Potencial energético colombiano.



Fuente: UPME. 2010, p. 3.

Como se observa en la Gráfica 2-10, la distribución de los consumos energéticos se encuentra encabezada por la energía hidráulica con un 69,6%[6]; seguido de la térmica-gas con un 18,9% y el carbón con un 6,6%. Las energías renovables no tienen una proporción significativa dentro de los consumos energéticos, pero como ha señalado la UPME (2010), Colombia cuenta con un potencial importante de recursos energéticos renovables.

Gráfica 2-10. Distribución de los consumos energéticos.



Fuente: Benavides. 2011, p. 7.

Según el Ministerio de Minas (2010), para el 2008 la participación porcentual del consumo final de energía por fuentes primarias se caracterizaba por el alto consumo de gas natural, con una participación de 51,3%, seguido de la leña con un 20,6% y el carbón mineral con un 12,2%. Los energéticos renovables (leña y bagazo) tenían una participación del 31% en el total del consumo de energéticos primarios en este mismo año.

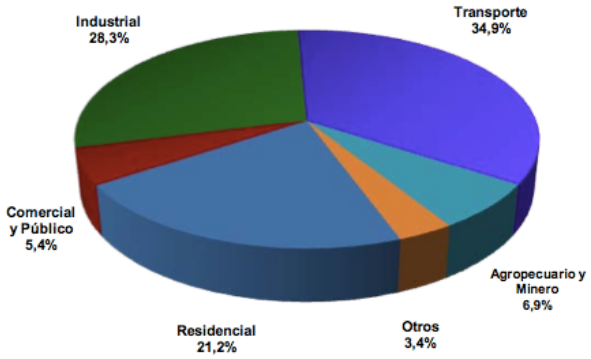
Por su parte, el consumo nacional por fuentes secundarias evidencia una fuerte dependencia al consumo del combustible diesel. Este combustible representa un 33,3% de la balanza energética, por encima de fuentes como la energía eléctrica (23,8%) y la gasolina convencional (21,9%). Sumando los derivados del petróleo: diesel, gasolina, GLP [7] y kerosene, se encuentra que tienen una participación del 61,2% del total del consumo por fuente secundaria, lo cual demuestra la alta dependencia de nuestro país a los combustibles fósiles como fuente de generación de energía

[6] De acuerdo a los reportes publicados por el Ministerio Nacional de Minas y Energía para los años 2011 a 2013, los cuales se encuentran más actualizados para el caso del energético hidroeléctrico, la demanda de energía eléctrica se encuentra muy por encima de los datos suministrado por el Observatorio de Energías Renovable para Latinoamérica y el Caribe.
[7] Gas Licuado de Petróleo.

(Ministerio de Minas y Energía, 2010. p. 5).

Si bien, el consumo final por tipo de fuente aporta un estimado sobre las características del consumo del país, es importante también conocer el consumo por sectores. En la Gráfica 2-11 se observa que el principal sector que impacta el consumo es el transporte con un 34,9% del consumo total, seguido por el industrial que representa un 28,3% y el residencial con un 21,2%. Los sectores comercial, público, agropecuario y minero son minoritarios con apenas 12,3% de participación total en el consumo final de energía.

Gráfica 2-11. Consumo Final de energía por sectores – 2009.



Fuente: UPME. 2010, p. 7.

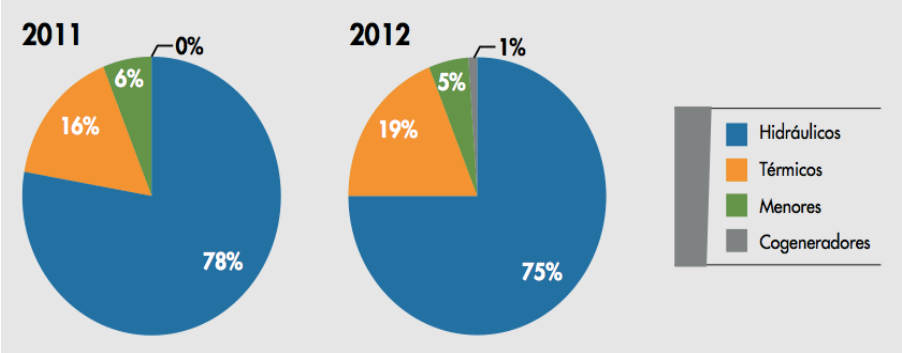
En cuanto a la oferta y la demanda energética, para el periodo 2012, la generación de energía eléctrica en Colombia fue de 59.989 GWh[8], lo cual representó un incremento del 2% respecto al registro del año anterior (58.620 GWh). Dicho aumento se dio como consecuencia de un aumento de la demanda de energía en todo el país (Ministerio Minas y energía. 2013).

La demanda de energía eléctrica en 2012 alcanzó los 59.370 GWh, registrándose un crecimiento del 3,8% con relación al año 2011, convirtiéndose así, en el mayor crecimiento de demanda en los últimos años (Ministerio de Minas y Energía, 2013). Como señaló el mismo Ministerio (2013): "*el crecimiento de la demanda fue producto del incremento en un 6,8% de la demanda no regulada*[9] *y de un 2,3% de la demanda regulada*[10]" (p. 114-116).

[8] Gigawatts hora.
[9] Industria y comercio.
[10] Consumo residencial y pequeños negocios.

Para el 2012, el Sistema Interconectado Nacional (SIN) contaba con una generación de energía de 59.989 GWh para atender una dicha demanda. Como se observa en la Gráfica 2-12, la principal fuente de generación de energía fue la hidroenergía, la cual representó un 75% de todas las fuentes de generación energética del Sistema para ese año. Otras fuentes de generación de energía fueron la térmica con un 19% del total y los cogeneradores y las plantas menores con un 6% del total.

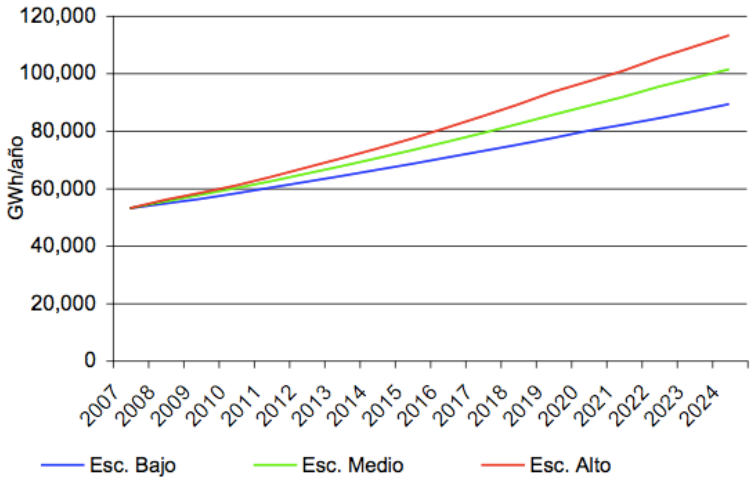
Grafica 2-12. Composición de la generación de Energía, 2011-2012.



Fuente: Ministerio de Minas y Energía, 2013. p. 115.

De acuerdo a las proyecciones que desarrolló la UPME (2008) para tres escenarios de consumo: bajo, medio y alto, el consumo de energía en el país se incrementará de forma sostenida en el mediano plazo, superando los 100.000 GWh para el 2024 en los escenarios medio y alto (Gráfica 2-13).

Gráfica 2-13. Banda de proyección de demanda nacional de energía eléctrica, 2008-2024.



Fuente: UPME, 2008. p. 22

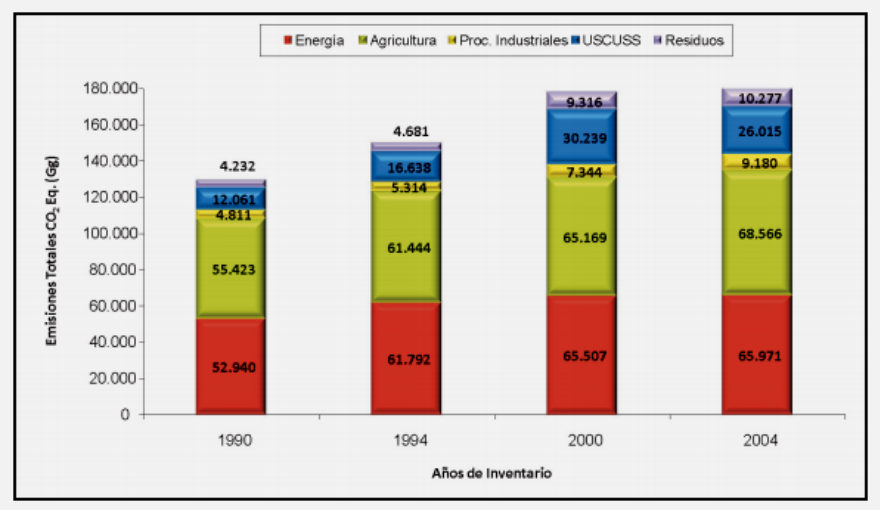
Estas proyecciones indican que en condiciones de crecimiento alto de la economía, la tasa de crecimiento de la demanda anual de energía eléctrica[11] sería de 4.9% hasta el 2011 y de 4.4% del 2011 al 2023. En el escenario medio, se espera una tasa media de 4.2% hasta el 2011, y de 3.7% para el periodo 2011 a 2023. El consumo esperado del año 2023 sería de 98,198 GWh. Para el escenario bajo, que prevé un crecimiento menor de la economía, se espera una tasa media de incremento de 3.4% hasta el 2010 y del 2011 al 2023 de 2.9% (UPME, 2008. p. 6).

En cuanto a la demanda sectorial de energía, se espera que los sectores de mayor crecimiento sean el comercial, el industrial y el residencial, con tasas promedio de crecimiento en el escenario medio de 7.4%, 5.0% y 2.8% respectivamente (UPME, 2008).

2.2.2 Emisiones nacionales de GEI en Colombia

El IDEAM, en el marco de la Primera y Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), ha producido inventarios de emisiones nacionales de GEI para los años 1990, 1994, 2000 y 2004, siguiendo los procedimientos de estimación de emisiones e incertidumbre proyectados por el IPCC. En la gráfica 2-14 se presentan los resultados obtenidos para los 4 años mencionados.

Gráfica 2-14. Inventario GEI 1990, 1994, 2000.



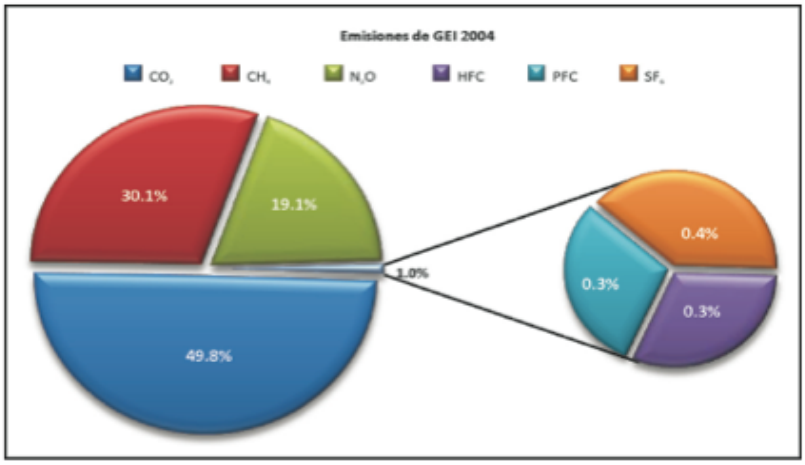
Fuente: IDEAM. 2010, p. 128.

[11] La demanda de energía nacional (sin considerar transacciones internacionales) está constituida por la suma de las ventas de energía reportadas por las empresas distribuidoras, la demanda de las cargas industriales especiales y las pérdidas de transmisión y distribución (UPME. 2008, p. 15).

En la gráfica 2-14 se puede observar un aumento en los valores absolutos de las emisiones nacionales, dominado principalmente por los sectores agricultura y energía (gas, carbón, petróleo, leña). Sin embargo, es preciso mencionar que la tasa de variación anual viene descendiendo, con valores que van del orden del 3,94% para el período 1990-1994; y 2,79% para el período 2000-2004 (IDEAM. 2010).

Del total de emisiones de GEI generadas por el país para el año 2004, el 49,8% del total correspondieron a emisiones de CO2, mientras que las emisiones de CH4 y N2O representaron un 30,1% y un 19,1% respectivamente (Gráfica 2-15).

Gráfica 2-15. Porcentaje de Emisiones GEI, 2004.



Fuente. IDEAM. 2010, p.33

En la Tabla 2-2 se puede observar que los principales generadores de emisiones de GEI en Colombia (medidos a través del porcentaje de CO2 equivalente) son la fermentación entérica (18,5%), los suelos agrícolas (18,1%), la conversión de bosques y praderas (9,2%) y las industrias de la energía (8,5%).

Tabla 2-2. Módulos y categorías principales de GEI.

Módulos y categorías principales		% de CO_2 eq.
Energía	Transporte	12,1
	Industrias de la energía	8,5
	Industrias manufactureras y de la construcción	7,3
Agricultura	Fermentación entérica	18,5
	Suelos agrícolas	18,1
USCUSS	Emisión de CO_2 del suelo	4,1
	Conversión de bosques y praderas	9,2
Residuos	Disposición de residuos sólidos en la tierra	5,0

Fuente. IDEAM, 2010 p. 30

De acuerdo al IDEAM (2010), respecto al total mundial de emisiones de GEI (49 Gt), Colombia aporta cerca del 0,37%, es decir, 0,18 Gt de CO2 equivalente a la atmosfera. Según el Instituto de los Recursos Mundiales (WRI por sus siglas en Ingles), Colombia ocupa el quinto lugar en región sobre emisiones de GEI; por encima se encuentran países como Brasil, México, Argentina y Venezuela[12] (IDEAM, 2010).

2.2.3 Cambio Climático en Colombia

Debido al Cambio Climático, se estima que en Colombia, para el año 2050, habrán desaparecido el 80% de las áreas glaciales del país y el 60% de los páramos. Para dicha fecha, la desaparición de ecosistemas afectará el suministro de agua en las ciudades del Eje Cafetero y Bogotá (Costa, 2008). Esto conllevará a cambios a nivel global, pues Colombia, al igual que los países de la región andina, tiene una de las mayores biodiversidades ecosistémicas. En la Tabla 2-3 se resumen los efectos esperados del Cambio Climático.

[12] WRI realizó los cálculos para el período 1990-2005.

Tabla 2-3. Efectos esperados del Cambio Climático.

Salud	Aumento de la incidencia de las enfermedades transmitidas por vectores (malaria y dengue). Las regiones andinas son las más propensas a estas nuevas epidemias por ser zonas de malaria inestable, pero también indirectamente a causa del deterioro de los recursos hídricos y de las condiciones de habitabilidad.
Sector agropecuario	Gran parte de los agroecosistemas del país son vulnerables a los efectos de la aridización, la erosión de suelos, la desertificación y a los cambios en el régimen hidrológico. También se estima un mayor riesgo de inundaciones en cultivos y de otros eventos naturales que afectan la producción agrícola (vendavales, granizadas, etc.).
Recursos hídricos	Se proyectan aumentos de la escorrentía en las regiones costeras, en los llanos orientales y en los departamentos donde en las últimas décadas hubo inundaciones y deslizamientos. En contraste, se prevé una disminución de la escorrentía en la región andina y el norte del país, que puede causar problemas en el suministro de agua y déficit en los embalses, lo cual disminuye la generación de hidroenergía.
Sistemas costeros	Con la elevación prevista del nivel del mar millones de habitantes quedarían expuestos a las inundaciones en las zonas costeras, así como los asentamientos industriales, la infraestructura e instalaciones turísticas, y los cultivos. También son vulnerables las fuentes de agua, por una mayor intrusión salina.
Ecosistemas	Preocupa la reducción del área de nevados y páramos y, por tanto, de sus servicios ambientales. Los corales pueden sufrir por el aumento de la temperatura media del mar, y afectar así la biodiversidad y los recursos pesqueros asociados. Los impactos sobre los bosques pueden ser considerables, pero existe todavía incertidumbre sobre la resiliencia de éstos.
Vivienda y asentamientos	La infraestructura en todo el país y los asentamientos precarios y en zonas de riesgo pueden verse afectados por la mayor frecuencia de eventos extremos (en especial inundaciones, lluvias fuertes, tormentas tropicales, vendavales y deslizamientos), lo que deteriorará aún más las condiciones de habitabilidad y la calidad de vida de poblaciones desplazadas y pobres.

Fuente: PNUD, 2010. p. 2.

Los riesgos, vulnerabilidades y costes para la humanidad asociados al cambio climático son incalculables: la vida y la seguridad alimentaria y económica se encuentran amenazadas por los efectos de la variabilidad climática. En años recientes, Colombia ha padecido algunos de sus efectos adversos.

Miles de hectáreas de bosques, sabanas y paramos en Colombia han sido afectadas por dichos fenómenos, en especial las zonas donde se concentra el 85% de la población nacional. Durante la década del 90, este país experimentó el fuerte impacto del “Niño”: la escasez de agua impactó las represas y embalses nacionales lo que conllevó a racionamientos de energía y agua. Recientemente, entre los años 2010 y 2011, Colombia se vio afectada por el intenso fenómeno de la “Niña”, el cual

provocó intensas lluvias, inundaciones, aludes de tierra, pérdidas de infraestructura y vidas. Esta ola invernal causó la muerte de 447 personas y afectó a más de 2,3 millones de individuos (DNP, 2012).

El Departamento Nacional de Planeación (DNP) señaló que esta temporada de lluvias fue la más intensa en los últimos 50 años en el país. Igualmente, indicó que el número de personas afectadas fue de tres millones y las pérdidas económicas ascendieron a más del 0,20% del PIB (DNP, 2012). Según el MADS (2013), Colombia es actualmente el tercer país más afectado por el Cambio Climático, aún siendo uno de los países que menos emisiones de GEI produce a nivel mundial.

Colombia, al igual que otros países de la región, ha experimentado con intensidad los fenómenos del "Niño" y la "Niña". Las fuertes sequias y lluvias, incendios y desbordamientos de ríos, reducciones de los niveles de embalses y racionamientos de agua y luz han sido el común denominador de estos dos fenómenos que se han hecho más intensos debido al Cambio Climático.

De acuerdo a los reportes publicados por el Ministerio Nacional de Minas y Energía para los años 2011 a 2013, las operaciones del Sistema Interconectado Nacional (SIN) fueron impactadas negativamente debido a la variabilidad climática que ha experimentado el país desde hace más de diez años. Durante el primer semestre del año 2012, se presentaron lluvias intensas en algunas regiones del país asociadas con la fase final del Fenómeno de La Niña, mientras que el segundo semestre del año se caracterizó por aportes hídricos deficitarios los cuales, a su vez, estuvieron influenciados por el cambio en la tendencia de algunas variables climáticas del pacífico tropical (Ministerio de Minas y Energía, 2011; Ministerio de Minas y Energía 2013).

Estos cambios produjeron que los aportes a los embalses del Sistema Interconectado Nacional fueran cercanos a los de un año promedio, registrándose aportes por 56,446 GWh que equivalen a un 103,8% de la media histórica. Sin embargo, quedó en evidencia la vulnerabilidad de las fuentes de energía hidráulica en Colombia frente a las variaciones en las precipitaciones anuales producidas por el Cambio Climático.

Colombia está actualmente expuesta a situaciones cambiantes dadas por la incertidumbre en las reservas de gas y petróleo, y a las variaciones climáticas globales producidas por el Cambio Climático. Los cambios en las condiciones climáticas podrían generar en el futuro incertidumbres importantes respecto a la disponibilidad de la infraestructura de generación eléctrica e incremento de las necesidades energéticas por aumento de la temperatura. Las actuales evidencias de incremento de temperatura media global y de sus efectos asociados con otras variables climáticas, hacen necesario explorar vías para una adaptación y mitigación a los cambios.

2.3 Conclusiones

Las tendencias mundial y nacional indican la presencia de un modelo de desarrollo económico creciente, en donde el consumo energético está supeditado a este modelo y las consecuencias que ha acarreado en el corto y mediano plazo son evidentes. El Cambio Climático Global de origen antrópico ya no es una preocupación exclusiva de los países desarrollados y, países como Colombia han tenido que afrontar las consecuencias de las variaciones climáticas recientes.

La fuerte dependencia energética de los combustibles fósiles ha impulsado la búsqueda de alternativas para la generación de energía con bajos impactos ambientales. Sin embargo, más allá de una optimización en el consumo de recursos y el desarrollo de nuevas fuentes de energía, se vuelve un imperativo el cambio en las dinámicas de consumo energético actuales que permitan disminuir los impactos ambientales ocasionados por la explotación humana y buscar un equilibrio energético que permita la sostenibilidad de las sociedades actuales y futuras, así como de los individuos no humanos.

Capítulo 3: caracterización del modelo energético de Bogotá y problemática ambiental

Bogotá, por ser un área urbana densamente poblada, se enfrenta actualmente a una serie de problemas ambientales originados en múltiples factores económicos y culturales. El modelo de ciudad que se ha venido construyendo implicitamente desde los gobiernos locales de las últimas décadas ha reforzado esta problemática. Aunque en forma abierta nadie recomienda la expansión de la ciudad, la conurbación con los municipios vecinos, la destrucción de los bosques, el mantenimiento de la segregación social y espacial, el secamiento y contaminación de las aguas superficiales, la invasión de los cerros y la intensificación de las prácticas extractivas; estas son consecuencias inmediatas de otras recomendaciones, propuestas de campaña hechas por candidatos a la alcaldía o acciones de gobiernos distritales anteriores (Ardila, 2011, p. 1).

Sin embargo, el impacto ambiental que genera la ciudad no es responsabilidad exclusiva de la mala gestión del gobierno local o nacional; el metabolismo social juega un papel fundamental. La obtención de recursos indispensables para el funcionamiento productivo de Bogotá y la generación de residuos y emisiones resultantes de este proceso generan impactos ambientales negativos que se relacionan directamente con el tamaño de la escala económica y poblacional de la ciudad.

La energía es uno de los principales insumos que requiere diariamente la ciudad para poder funcionar. Tanto la generación energética como su consumo producen efectos sobre el entorno que pueden afectar negativamente el bienestar humano. Es por esto que es relevante revisar el modelo energético de la ciudad y establecer los impactos ambientales generados por la oferta y la demanda energética, así como los retos a los que se enfrenta Bogotá para garantizar la sostenibilidad de su metabolismo social.

Para ello, este capítulo se divide en dos secciones: 1) se revisa el modelo energético de Bogotá y la relación entre eficiencia económica y consumo energético y; 2) se exponen los principales problemas ambientales de la ciudad, su relación con el modelo energético y los efectos que tiene sobre la salud pública.

3.1 Oferta y demanda energética de Bogotá

Bogotá hace parte de la región Centro del Sistema Interconectado Nacional (SIN), cuya capacidad instalada de generación abarca 3 fuentes: hidráulica (2989 MW), carbón (546 MW) y gas natural (30 MW); lo que ubica a esta región en el segundo lugar según la capacidad de generación instalada (UPME-Macías, 2014, p. 7). Esto es, gracias a que en la región andina se concentra la mayor

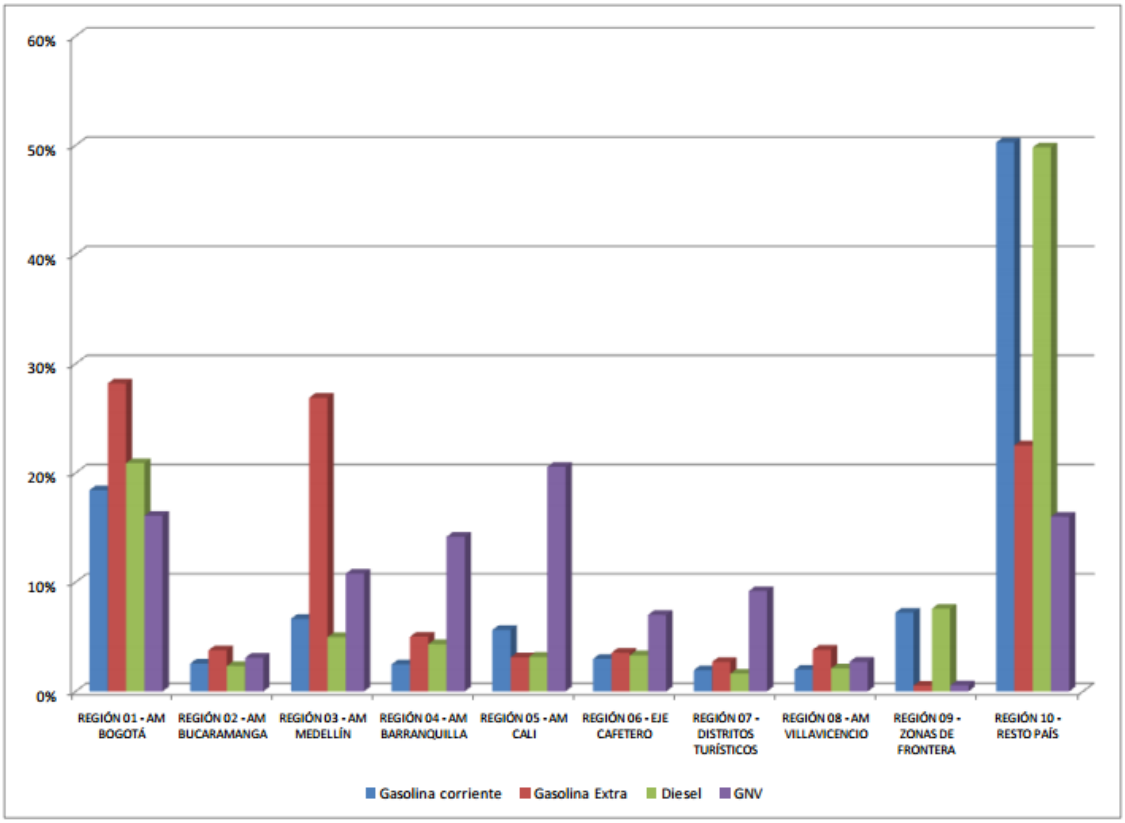
disponibilidad de recursos energéticos primarios y también es donde se ubica una gran parte de la demanda del servicio debido a la alta densidad poblacional y producción per cápita.

De acuerdo con la SDA (2010), Bogotá tiene una participación significativa en el consumo nacional de energía, registrando un 20,7% del total (231.810Tcal) para el año 2007 (SDA, 2010, p. 46). La demanda por sector en la capital muestra que el transporte constituyó el área más representativa con el 46,4%, seguido por el sector residencial con el 19,8% y el sector industrial con el 14,2%; mientras que los sectores comercial, publico, minero, agrícola y de construcción registraron un consumo menor (SDA, 2010, p. 46).

Respecto al consumo de diversas fuentes de energía, el Balance Energético UPME 1997-2006 reportó que la gasolina motor, diesel oíl, kerosene–jet fuel, gas natural y alcohol carburante sin los energéticos con mayor consumo en el sector transporte, con un aporte del 96.8% para 2007 (SDA, 2010, p. 46). Los energéticos con mayor demanda en el sector industrial están representados por el gas natural, energía eléctrica y carbón mineral; mientras que en el sector residencial, la energía eléctrica, el gas natural y el gas licuado de petróleo son los más demandados (92.2%).

Para el 2008, el consumo de energía realizado por el sector transporte de la ciudad alcanzó el 27% del total empleado en el país (Pulido, 2012, p.57). Los principales productos empleados en este sector son la gasolina corriente, la gasolina extra, el diesel y el gas natural vehicular (GNV). Según un estudio de 2010 para la caracterización energética del sector transporte carretero, de carga y pasajeros, urbano e interurbano en Colombia, Bogotá consumió alrededor del 20% de la oferta energética nacional de combustibles fósiles, siendo la gasolina extra el principal combustible utilizado, seguido por el diesel, la gasolina corriente y, en último lugar, el GNV (Gráfica 3-1).

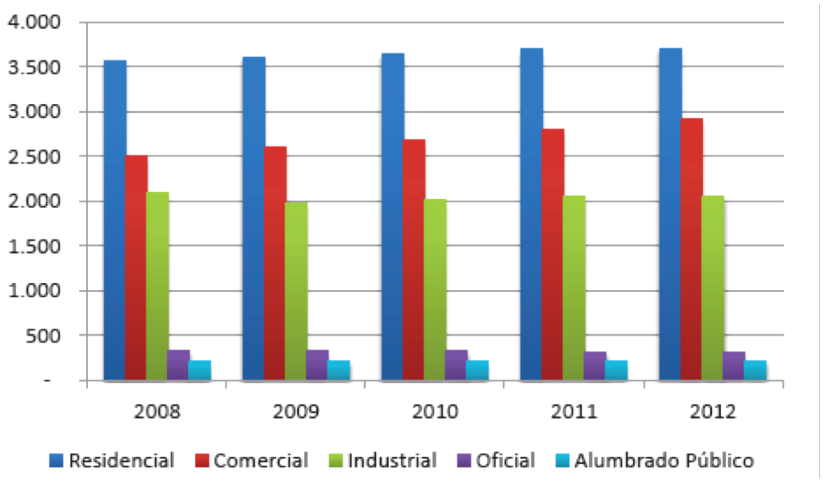
Gráfica 3-1. Consumo energético en el sector transporte en Colombia, resultados por región, 2010.



Fuente: Econometría Consultores-UPME, 2010.

Por otra parte, Fedesarrollo y la Empresa de Energía de Bogotá (2013) reportaron que el consumo de energía eléctrica en la capital se concentró en el sector residencial, registrando alrededor del 40% del consumo total, seguido por el sector comercial con el 32%, el sector industrial con el 23%; mientras que los sectores oficial y de sector público sumaron alrededor del 6% del total (Gráfica 3-2). El crecimiento en el consumo fue particularmente evidente en el sector comercial, creciendo un 16% entre los años 2008 y 2012; por su parte, el sector residencial también presentó un crecimiento del 4%, mientras que el sector industrial redujo su consumo en un 3% en el mismo periodo (Fedesarrollo-EEB. 2013, p. 65-66).

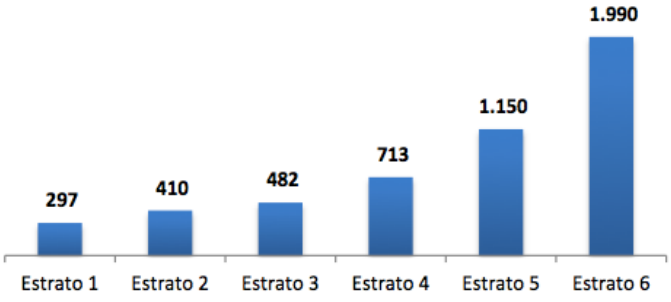
Gráfica 3-2. Consumo de energía eléctrica en Bogotá por tipo de usuario, 2008-2012 (Gwh).



Fuente: Fedesarrollo-EEB. 2013, p. 65.

De acuerdo a la proporción de consumo de energía por tipo de usuario para el año 2012, Fedesarrollo-EEB (2013, p. 49) encontró que hay una mayor participación del usuario no residencial el cual alcanza el 59%, seguido del residencial 41% y el alumbrado público con un 2%. De igual forma, el consumo per cápita de energía eléctrica en la Capital según estrato socioeconómico aumenta significativamente en los estratos 4, 5 y 6 (Gráfica 3-3).

Grafica 3-3. Consumo per cápita de energía eléctrica en Bogotá según estrato socioeconómico 2012 (Kwh por habitante)

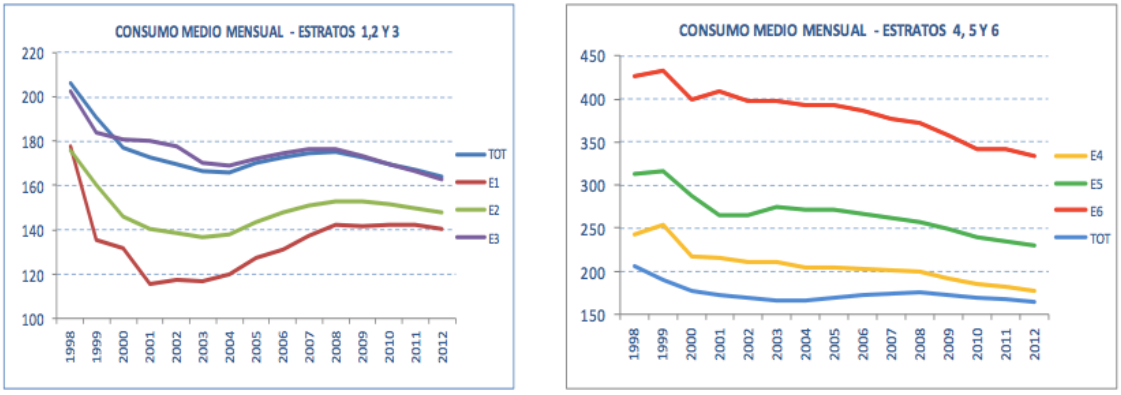


Fuente: Fedesarrollo-EEB. 2013, p. 67.

Al respecto, la UPME, en 2008, señaló la asimetría en el consumo de energía de acuerdo al estrato socioeconómico. En este sentido, manifestó que cuanto mayor es el estrato, mayor es el consumo per cápita de electricidad. En promedio, un ciudadano de la capital de estrato 6 consume alrededor de 7 veces más de lo que consume un ciudadano de estrato 1 (p. 38).

Si bien, los estratos más altos son los de mayor consumo de energía eléctrica, Fedesarrollo y la Empresa de Energía de Bogotá han encontrado que en los últimos años estos estratos (4, 5 y 6) han presentado una tendencia de disminución del consumo de energía, mientras que los estratos bajos (1, 2 y 3) han presentado un aumento. La principal razón detrás de esta tendencia es la generación de incentivos al consumo de electrodomésticos a través del crédito domestico: Programa de financiamiento de electrodomésticos Codensa Fácil, que inició en 2001 (Fedesarrollo-EEB. 2013. p. 66-68).

Gráfica 3-4. Evolución del consumo medio mensual de energía eléctrica del área Codensa por estrato socioeconómico 1998-2012.



Fuente. Fedesarrollo-EEB. 2013, p. 68.

A partir de 2008, todos los estratos mostraron un comportamiento similar de menor consumo medio debido a varias razones (Gráfica 3-4). En primer lugar, en los últimos años aumentó la preocupación por los impactos ambientales del crecimiento de la demanda energética y la sostenibilidad del sistema, lo que incentivó campañas y programas para hacer un uso más eficiente de la energía en los hogares. En segundo lugar, las tarifas de energía eléctrica han aumentado entre 2007 y 2012; estas crecieron un 13% en términos reales lo cual también contribuyó a desincentivar el consumo energético. En tercer lugar, se ha presentado un cambio tecnológico que ha hecho que los electrodomésticos tengan una mayor eficiencia energética que antes. En cuarto lugar y por último, se ha popularizado en los últimos años el uso del bombillo ahorrador de luz blanca, el cual desplazó a los bombillos de luz amarilla, que consumen más energía (Fedesarrollo-EEB. 2013. p. 68-69).

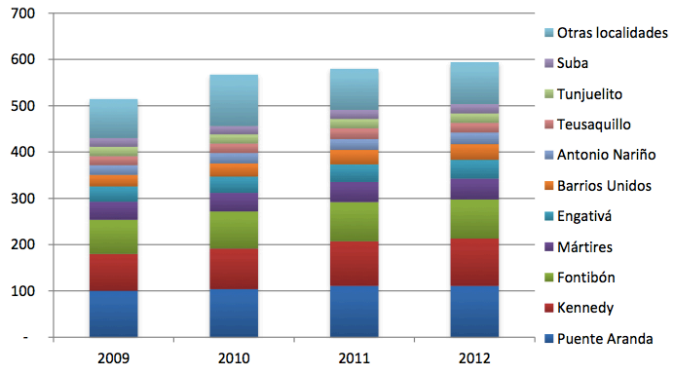
Por otro lado, la mayor concentración de la demanda de energía eléctrica se encuentra en las localidades: Suba, Kennedy y Engativá, las cuales concentran mayor densidad poblacional. Sin

embargo, se destaca también la alta participación del consumo en localidades que, comparativamente, tienen poca población, como Usaquén y Chapinero. Ambas localidades tienen en común una alta tasa de población de estratos altos, los cuales además se caracterizan por tener un mayor consumo de energía eléctrica. En Usaquén y Chapinero, la población de estratos 5 y 6 representan alrededor del 44% y 28%, respectivamente, del total de población de cada localidad. Suba con un 11%, es la siguiente localidad con mayor concentración de población de estratos altos. Ninguna de las otras localidades supera el 6% (Fedesarrollo-EEB. 2013, p. 65-66).

El consumo del sector industrial por localidades del Distrito representó, aproximadamente, un 30% del consumo total de la ciudad[13]. Al comparar su consumo per cápita con los demás municipios de Cundinamarca 2009-2012, se destacó el bajo nivel que tiene el consumo industrial en Bogotá, que en promedio registró 273 Kwh por persona respecto a los demás municipios de Cundinamarca que fueron objeto del estudio (EEB, 2013, p. 75-76).

Como se puede observar en la Gráfica 3-5, las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón concentran el 50% del consumo industrial de energía eléctrica de la ciudad. Se destaca igualmente el crecimiento del consumo en Kennedy, que entre 2009 y 2012 fue del 30%, acercándose al consumo de Puente Aranda. De acuerdo a la Encuesta Anual Manufacturera (EAM), en 2004, el 50% de los establecimientos industriales en Bogotá se encontraban ubicados en las tres localidades mencionadas, y sólo Puente Aranda concentraba el 25% del total (Fedesarrollo-EEB. 2013, p.73).

Grafica 3-5. Consumo Industrial de energía eléctrica por localidades. Clientes de Codensa S.A. ESP (Gwh).

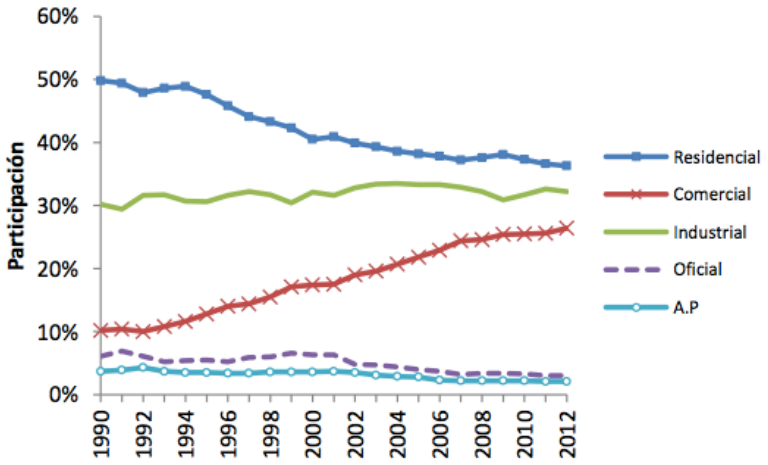


Fuente. Fedesarrollo-EEB. 2013, p. 74.

[13] Se cuenta solamente con la información del consumo de energía eléctrica de los clientes de Codensa que a través de la investigación de Fedesarrollo se pudo obtener. Como señaló dicho estudio, esta información es suficiente para identificar las localidades industriales de Bogotá (Fedesarrollo-EEB, 2013, 72-73).

La Gráfica 3-6 ilustra el cambio en el consumo del área de Codensa. Se destaca la pérdida de participación del sector residencial que pasa del 50% en 1990 al 36% en el 2012 mientras que el sector comercio pasó del 10% al 26%, en el mismo período. Como bien señala el estudio de Fedesarrollo y la EEB, la participación del consumo industrial es relativamente estable en los últimos veinte años. El sector oficial también muestra un cambio significativo al pasar del 3.9% al 2.1% (Fedesarrollo-EEB. 2013, p. 105).

Grafica 3-6. Evolución en la estructura de consumo por sectores en el área de Codensa[14].



Fuente. Fedesarrollo-EEB. 2013, p. 105.

De acuerdo a las proyecciones del estudio, para el año 2020, la demanda total de la capital estará en el orden entre 18500-19000 GWh. Las proyecciones de crecimiento anual que obtiene Codensa son: en un escenario de alto consumo de 3,51%, un escenario de consumo medio en 2,90% y escenario de bajo consumo de 2,28%.

Respecto al consumo de otras fuentes de energía, los sectores residencial y comercial constituyen el principal sector de consumo de gas natural en Bogotá, mientras que su uso industrial es mayor en los municipios de la Sabana. Otro tipo de fuentes son poco comunes o de uso recurrente por parte de habitantes de escasos recursos en la ciudad: el uso de carbón vegetal o leña es frecuente en las áreas rurales circundantes a la Capital y, en una proporción relativamente mayor (34% de los hogares rurales), el uso de gas combustible (Fedesarrollo-EEB, 2013, p. 79).

[14] "Codensa presenta como área CODENSA el ámbito propio de su operación como distribuidor que comprende Bogotá y más de 80 municipios de Cundinamarca los cuales incluyen todos los de la Sabana de Bogotá. La EEC atiende 24 municipios por sí misma aunque como ya se dijo EEB adquirió a EEC y hay un acuerdo de operación de Codensa" (Fedesarrollo-EEB. 2013, p. 104)

3.1.1 Eficiencia energética

La necesidad de desarrollar mejores fuentes de energía que reemplacen de manera gradual, las tradicionales formas para su obtención, transporte, transformación y uso que las sociedades han realizado desde las revoluciones industriales ha llevado a los gobiernos, tanto a nivel nacional como local, a desplegar iniciativas en esa dirección, teniendo en cuenta el papel que desempeñan en la gestión de recursos energéticos (Concejo de Bogotá, 2011).

Para ello, la legislación colombiana ha venido desarrollando una normatividad que regule adecuadamente la creación y puesta en marcha de tales iniciativas. En 2010, el Ministerio de Minas y Energía (MME) publicó el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes no Convencionales – PROURE – con el ánimo de establecer un plan de acción que priorice la creación y uso de estrategias y programas orientados a la disminución de la intensidad energética, el mejoramiento de la eficiencia energética de los sectores de consumo y promoción de las fuentes no convencionales de energía en función de la identificación de los potenciales y la definición de metas por ahorro energético y participación de las fuentes y tecnologías no convencionales en la canasta energética del país (Prias, 2010, p. 1).

Sin embargo, aunque el Concejo de Bogotá debatió un Proyecto de Acuerdo para establecer los lineamientos para la formulación del Plan Distrital de Eficiencia Energética en el Distrito Capital (Proyecto de acuerdo 117 y 195 de 2011); a la fecha, no se ha formalizado un Acuerdo distrital para tal fin.

En el ámbito internacional, desde el año 2011, se viene implementando la aplicación de la norma ISO 50001 referente a los Sistemas de Gestión de la Energía, cuyo objetivo principal es la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, los costos de la energía y otros impactos ambientales relacionados, a través de una gestión sistemática de la energía (MME, 2011).

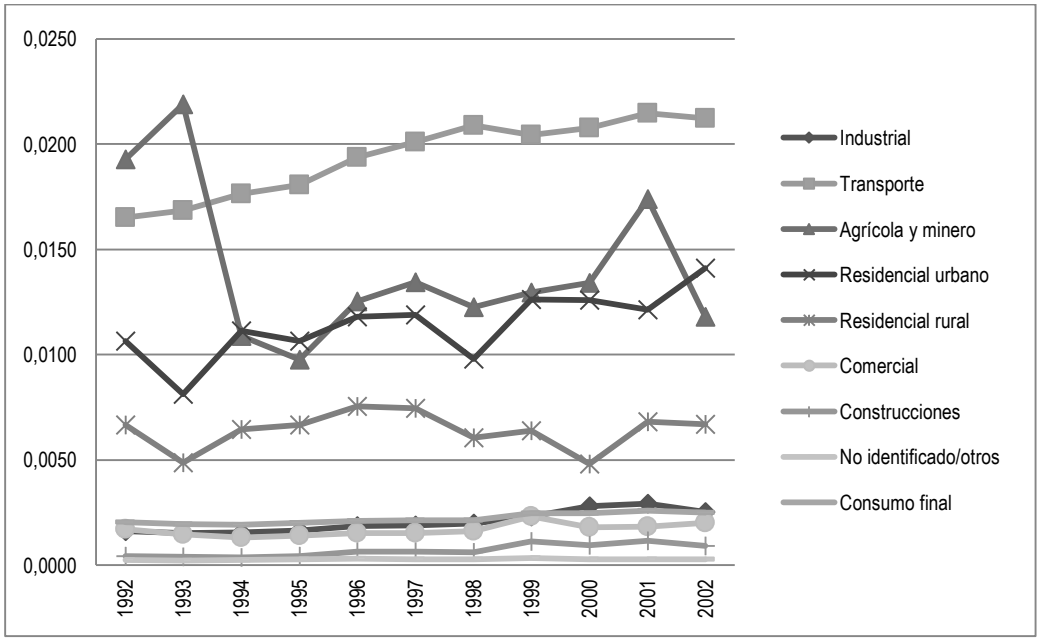
A continuación, se presenta un breve análisis utilizando una aproximación macro con base en los datos calculados por el DANE y la UPME para los años comprendidos entre 1992-2002. Específicamente, se usó la serie del PIB real departamental construida para Bogotá con base en los precios de 1994. Aunque existe una serie con una base más actualizada (2005), ésta no incluye datos para los años anteriores al 2000, por lo que no resultaba pertinente su uso. En cuanto a la información del consumo energético, se utilizó la información proporcionada por la UPME, específicamente la que se refiere a los agregados en el apartado de consumo final y por sectores (excluyendo los datos de consumo propio y los de consumo en centros de transformación).

Para poder utilizar la información completa proporcionada por la Unidad, fue necesario hacer algunos ajustes en el cruce de la información del PIB. Dado que no existen datos desagregados para los sectores "residencial urbano" y "residencial rural", se usó la misma serie del PIB en ambos sectores (servicios de electricidad y gas de la ciudad). Algo similar se hizo con el sector "agrícola y minero", en donde se usaron las cifras del PIB agropecuario (sin contar la silvicultura, la producción de madera, la pesca y demás relacionados) sumadas a las del PIB de minería. Finalmente, para el sector "no identificado/otros", se usaron los demás sectores de la serie que no guardaban relación con los sectores ya consolidados.

Debido a la incipiente implementación de los sistemas de manejo de información del consumo energético en Colombia, no se pudo construir la serie con los datos más recientes, puesto que los formatos en los que venía presentada la información para los últimos años no eran comparables o la información era insuficiente para su uso.

El indicador utilizado para este análisis es el cociente entre el consumo energético y el Producto Interno Bruto. Este indicador provee información sobre la eficiencia energética al estudiar su evolución en el tiempo de tal manera que, cuando la tendencia es decreciente se evidencia un incremento de la eficiencia energética y, cuando es creciente implica una disminución de la misma. Esto es gracias a que, si la producción crece en el tiempo más rápido que el consumo energético, significa que cada vez se necesitan menos teracalorias para producir una cantidad determinada de bienes y servicios (mayor eficiencia) y, si el consumo energético crece más rápido que la producción, significa que cada vez se necesitan más teracalorias para producir la misma cantidad de bienes y servicios (menor eficiencia). Ciertamente, este indicador es imperfecto debido a que, tanto la producción como el consumo energético pueden variar por múltiples causas, de tal manera que un incremento de la eficiencia medido a través de este indicador no necesariamente implica una implementación de tecnologías limpias o más eficientes.

Gráfica 3-7. Eficiencia energética con relación al PIB por sectores económicos para Bogotá, 1992-2002

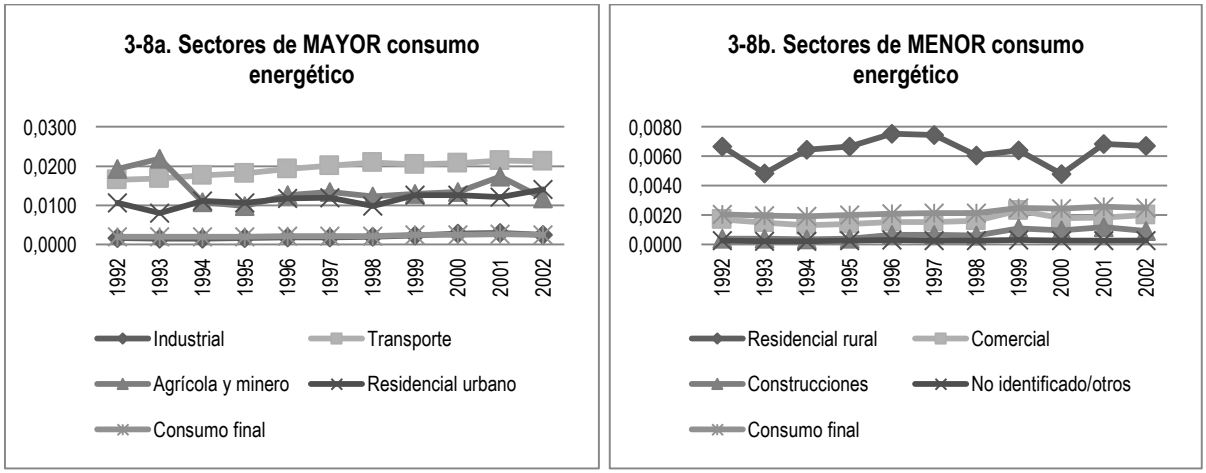


Fuente: Elaboración propia con base en DANE y UPME.

Como se observa en la Gráfica 3-7, la tendencia es variable, según el sector económico. Los sectores que aumentaron su eficiencia energética fueron: transporte, residencial urbano e industrial; por su parte, solo parece haber un sector que disminuyó su eficiencia, este fue el agrícola y minero. Los demás sectores se mantuvieron relativamente estables durante el periodo estudiado.

Para observar con mayor detalle las tendencias por sectores, se separaron en dos grupos, de acuerdo con su participación en los datos finales de consumo energético para la ciudad (Gráfica 3-8). En general se observa una tendencia estable o un ligero incremento en la mayoría de los sectores y el indicador general; sin embargo, dos sectores presentan variaciones considerables durante el periodo: agrícola y minero y, residencial rural.

Gráfica 3-8. Eficiencia energética con relación al PIB por sectores económicos para Bogotá por sectores de mayor y menor consumo energético, 1992-2002.



Fuente: Elaboración propia con base en DANE y UPME.

Este análisis permite observar la tendencia del sistema energético de la ciudad: hay un crecimiento poblacional, un crecimiento de la escala de la economía bogotana, un crecimiento del consumo energético y, en general, un aumento en la eficiencia energética. A pesar de que el indicador muestra un aumento en la eficiencia, el consumo total de energía de la ciudad no presenta disminución, lo que va en el mismo sentido que propone la paradoja de Jevons.

Al ser Bogotá un sistema complejo de transformación de energía, es importante establecer los impactos que genera su crecimiento energético en el entorno inmediato y si la sostenibilidad de éste sistema es posible en el largo plazo.

3.2 Problemática ambiental asociada al modelo energético de Bogotá

La ciudad se ve afectada por una cantidad considerable de problemas ambientales que surgen a causa de múltiples factores convergentes: 1) un modelo de ciudad de facto que no contempla a la naturaleza como fundamento vital del desarrollo humano; 2) una institucionalidad débil que depende significativamente de las políticas del gobierno en tránsito y una inversión pobre dirigida al sector ambiental (Ardila, 2011, p. 4); y 3) una escala poblacional y económica que impacta negativamente el ambiente como consecuencia de su metabolismo social.

Entre los problemas ambientales que aquejan a Bogotá se destacan, por la importancia y magnitud de sus impactos, la minería urbana y la contaminación del río Tunjuelo; el manejo de los residuos sólidos; la contaminación del río Bogotá; la protección de áreas incluidas en la estructura ecológica

principal; el manejo de los efectos del Cambio Climático sobre la ciudad y; la calidad del aire y la contaminación auditiva.

Dada la interrelación de los factores asociados a cada uno de los problemas ambientales, resulta difícil entender las dinámicas de trabajo y solución de forma aislada. La naturaleza no es una suma de partes desarticuladas como la concebimos para las políticas públicas; es un sistema integrado, de suerte que la alteración de uno de sus componentes tiene efectos en otros que no siempre se pueden predecir ni anticipar (Ardila, 2011, p. 5).

De los problemas mencionados anteriormente, aquellos con un vínculo con el modelo energético de la ciudad y que serán revisados en esta sección son: el Cambio Climático y los efectos que tiene sobre la ciudad y la contaminación atmosférica con sus efectos en la calidad del aire.

3.2.1 Cambio Climático Global y sus efectos sobre la ciudad

Según análisis de datos históricos de temperatura y precipitaciones de 1971-2010, la subdirección de Meteorología del IDEAM-Ruiz identificó un incremento en general en la temperatura del país; y para el caso de las precipitaciones, encontró disminución en unas regiones y aumento en otras, lo que se debe a la variedad topográfica y a las corrientes de humedad en el aire (UPME-Macías y Andrade, 2014).

Al respecto, Ardila comentó:

> "Los datos producidos por el IDEAM y por el equipo gubernamental que prepara los informes para el ICCP muestran que una de las áreas más vulnerables en Colombia a los efectos del cambio global es la Sabana de Bogotá, pues habría una disminución grave de la disponibilidad de agua de aproximadamente 30% y una disminución de los páramos de 80% para Chingaza, 15% para Guerrero y 5% para Sumapaz" (Ardila, 2011, p. 11).

En un estudio realizado en 2013 por la UPME para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al Cambio Climático, se realizó una modelación hidrológica y energética para establecer los retos y adaptaciones necesarias para afrontar los cambios que se vienen presentando como consecuencia de los fenómenos climáticos que afectan al país, estos son, los fenómenos de El Niño y de La Niña.

Dicho estudio analizó la vulnerabilidad de los embalses agregados del país teniendo en cuenta factores como la variabilidad climática, la importancia relativa para la producción energética nacional y la resiliencia del mismo, entre otros, encontrando que, para el caso del embalse agregado de Bogotá,

habrá una reducción en las afluencias, especialmente en los meses de Noviembre y Diciembre como consecuencia de los periodos de verano aunado a la posible presentación del fenómeno de El Niño. No obstante, la variabilidad climática y la capacidad de generación energética del embalse (respecto al total nacional) son relativamente bajas, por lo que presenta un índice de vulnerabilidad[15] bajo, lo que no lo exime de presentar problemas asociados al Cambio Climático en el largo plazo.

Los impactos que tienen estos cambios climáticos en los embalses utilizados para la generación de energía eléctrica en la ciudad, pueden llevar a generar consecuencias negativas para el consumo, como son el racionamiento de energía y el aumento de los precios, derivando en impactos ambientales igualmente perjudiciales, entre ellos, el aumento en el consumo de fuentes de energía térmica y, por ende, un mayor uso de combustibles fósiles para suplir la demanda que deja de ser atendida.

Las emisiones generadas a partir del consumo de combustibles fósiles son una de las principales fuentes de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). De este modo, para hacer un seguimiento a la variación en la producción de gases y la mitigación de su impacto, se crearon los inventarios de emisiones de GEI como una herramienta de control y evaluación de las políticas de cada país para adaptarse a los efectos causados por el Cambio Climático.

Un inventario de emisiones de GEI es un procedimiento metodológico para cuantificar la cantidad de GEI que es liberada a la atmósfera debido a actividades antropogénicas, en un periodo de tiempo y territorio determinado (EPA, 2012, citado en Pulido, 2012, p. 23). Para su construcción, se tienen en cuenta cuatro módulos: energía, procesos industriales, agricultura y tratamiento de residuos.

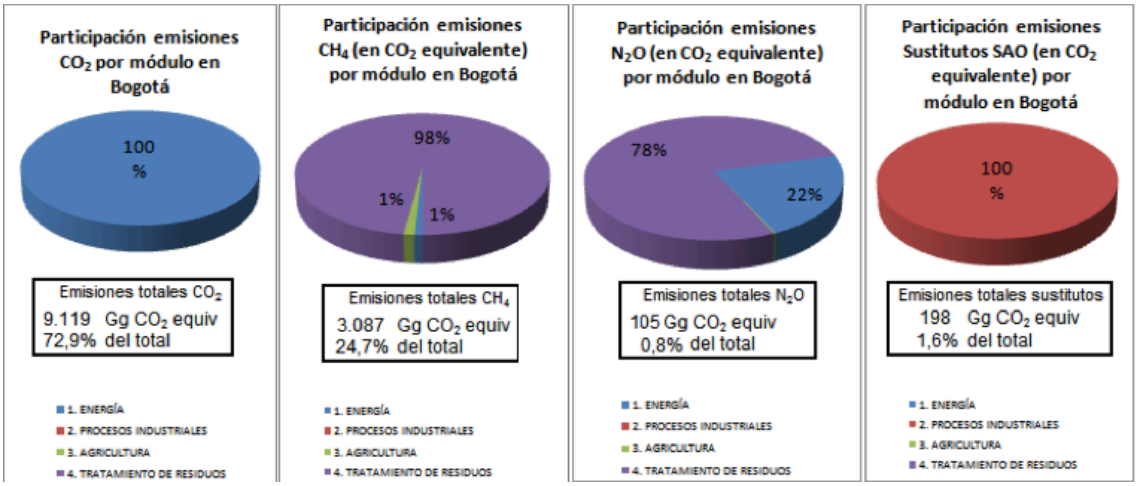
El módulo de energía usualmente tiene la mayor participación en las emisiones de los países, pero en el caso colombiano, se encuentra en el segundo lugar con una participación alrededor de un 37%; por ser un país principalmente agropecuario y por su alta generación de energía eléctrica por medio de hidroeléctricas. Sin embargo, dado que, para mantener la estabilidad y confiabilidad del sistema energético, es necesario cubrir parte de la demanda con plantas térmicas, esto conlleva a que este

[15] Este índice de vulnerabilidad fue construido a partir de 5 factores que dan cuenta de los factores a priorizar para la identificación de amenazas actuales y futuras en los embalses objeto de estudio, así como para la adopción de medidas que permitan hacer frente a estas vulnerabilidades. Estos son: 1) la magnitud del cambio en las afluencias del embalse, 2) la magnitud de los aumentos en la variabilidad climática, 3) el número de meses al año en los que la variabilidad climática aumenta como consecuencia del Cambio Climático, 4) la importancia relativa en términos de capacidad de generación de energía eléctrica que el embalse representa para el país y, 5) la resiliencia del embalse, dada por su capacidad para recuperarse de perturbaciones climáticas extremas. Para más información, consultar: UPME. (2013). Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético colombiano frente al Cambio Climático. Producto No. 3, informe final, unión temporal ACON-OPTIM.

sector contribuya en un 8.5% del total de las emisiones nacionales, por la quema de gas natural y carbón (UPME, 2014, p. 14-15).

En 2012, Pulido realizó un trabajo para crear el inventario de emisiones para la ciudad de Bogotá y la región de Cundinamarca, con el objetivo de desagregar las emisiones de GEI por sectores y de esta manera servir de guía para la orientación de los planes de mitigación a seguir. De acuerdo a Pulido (2012), para el caso de Bogotá, las emisiones generadas por el uso de combustibles fósiles representan el 73% de las emisiones totales, seguidas por el tratamiento de residuos con una participación del 25% (Pulido. 2012, p. 55). Las emisiones por combustible fósil responden a la fuerte dependencia de la ciudad a esta fuente energética. Por su parte, las actividades agrícola y por procesos industriales realizan un aporte no significativo, lo que va en contra de la tendencia nacional en el caso agrícola, pero es igual para el sector industrial. En la Grafica 3-9 se presenta la contribución por cada GEI en cada módulo para Bogotá.

Gráfica 3-9. Participación de emisiones de GEI por módulo para cada gas de efecto invernadero en Bogotá, año 2012.



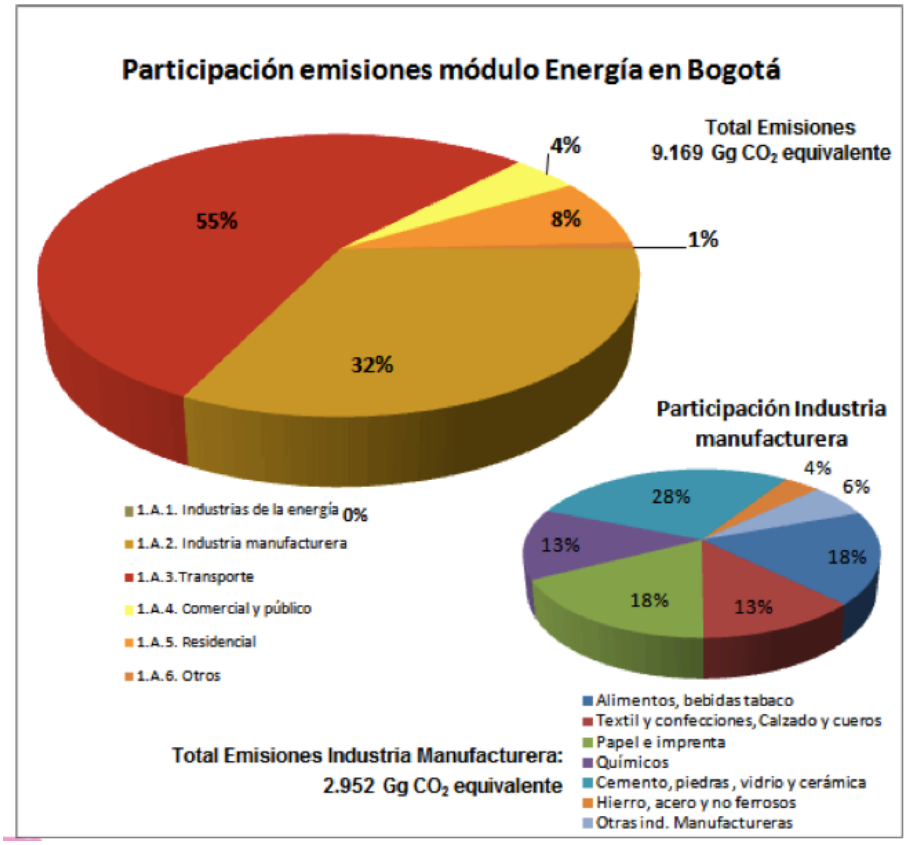
Fuente. Pulido. 2012, p. 56.

Como se observa en Gráfica 3-9, las emisiones de CO2 en la ciudad se generan por el módulo de energía, específicamente, mediante el proceso de oxidación de los combustibles fósiles: las de CH4 son dadas en su mayoría por la disposición de residuos sólidos (fermentación), las de N2O por aguas residuales domésticas y las de sustitutos SAO en su totalidad al uso contabilizado en el módulo de procesos industriales. La contribución de la combustión de combustibles a las emisiones globales de CH4 y N2O es baja; y se deben a la combustión incompleta (en el caso del CH4), los controles

postcombustión y la temperatura de combustión y en el equipo (Pulido, 2012, p. 55-56).

En la Gráfica 3-10 se observa que la principal fuente generadora de emisiones de GEI en Bogotá es el consumo de combustible fósil para el transporte, el porcentaje de emisiones de GEI producido por el sector alcanzó el 37%, incluyendo un 5% aportado por el transporte aéreo. En muchos países, este sector aporta la mayor cantidad de emisiones GEI, dado que es uno de los principales consumidores de combustibles a escala nacional. Esto es importante porque ubica al sector de transporte como estratégico y prioritario para la investigación y adopción de opciones de mitigación (Pulido, 2012, p. 57-58).

Gráfica 3-10. Participación de emisiones de GEI del módulo energía en Bogotá 2012.



Fuente. Pulido. 2012, p. 59.

Este comportamiento se explica porque la tasa de motorización frente al crecimiento de la población en Bogotá ha sido acelerada; la local se ha encontrado muy por encima de la nacional durante los últimos 20 años. La tasa de motorización nacional pasó de 41 a 116 vehículos/1000 habitantes, mientras que la de Bogotá pasó de 63 a 144/1000 habitantes (SDA. 2011, p. 43). Este aumento

desmesurado se refleja en los problemas de congestión vehicular durante el día, en especial en horas pico y el aumento en la emisión de GEI local.

"*Entre 1985-2000 entraron 274,000 nuevos vehículos a Bogotá, con un crecimiento del 81.7% para un periodo de 15 años. Entre 1999 y 2008 la situación fue más alarmante con un ingreso de 496,000 vehículos nuevos, (vehículos matriculados en la ciudad) un 93% de crecimiento para un periodo de tan solo nueve años*" (SDA. 2011, p. 43). Como señala el documento, dicha cifra no incluye los vehículos de la zona metropolitana ni vehículos de placas de otra ciudad que circulan en Bogotá, tampoco incluye el parque automotor de carga e intermunicipal que de otras ciudades del país ingresan diariamente a la ciudad. Se calcula que puede existir un aumento del parque automotor entre un 25 y 30%, es decir cerca de 1.3 millones de vehículos en la ciudad (SDA. 2011, p. 43).

Igualmente, el parque automotor de motocicletas, de acuerdo a los datos de la Secretaria de Movilidad, ha venido en aumento fortaleciendo la tendencia a la migración al transporte privado. Sólo entre 2004 y 2005, ingresaron en promedio cerca de 33.000 motocicletas por año (SDA. 2011, p. 43).

Por otra parte, en segundo lugar en la emisión de GEI en el módulo de energía, se encuentra la industria manufacturera, sector más representativo para la ciudad de Bogotá, pues ocupa el cuarto lugar como el sector que más aporta al PIB distrital (13%); luego de sectores no intensivos en uso de combustibles como lo son comercio, establecimientos financieros y actividades inmobiliarias, y actividades de servicios sociales. (Pulido. 2012, p. 59). Las emisiones son producidas como parte de la cadena de producción y distribución de cemento, piedras, vidrio y cerámica, seguida por alimentos, bebidas y tabaco que en total representan el 46%. Aunque la industria cementera es inexistente en Bogotá, sus emisiones se deben al consumo de combustibles con fines energéticos (Pulido. 2012, p. 62). Como Pulido señala, dentro de las emisiones reportadas se encuentra que hay un 5% de emisiones por transporte aéreo de acuerdo a los valores de la Secretaria de Ambiente de Bogotá del año 2008 (Pulido, 2012. p. 58).

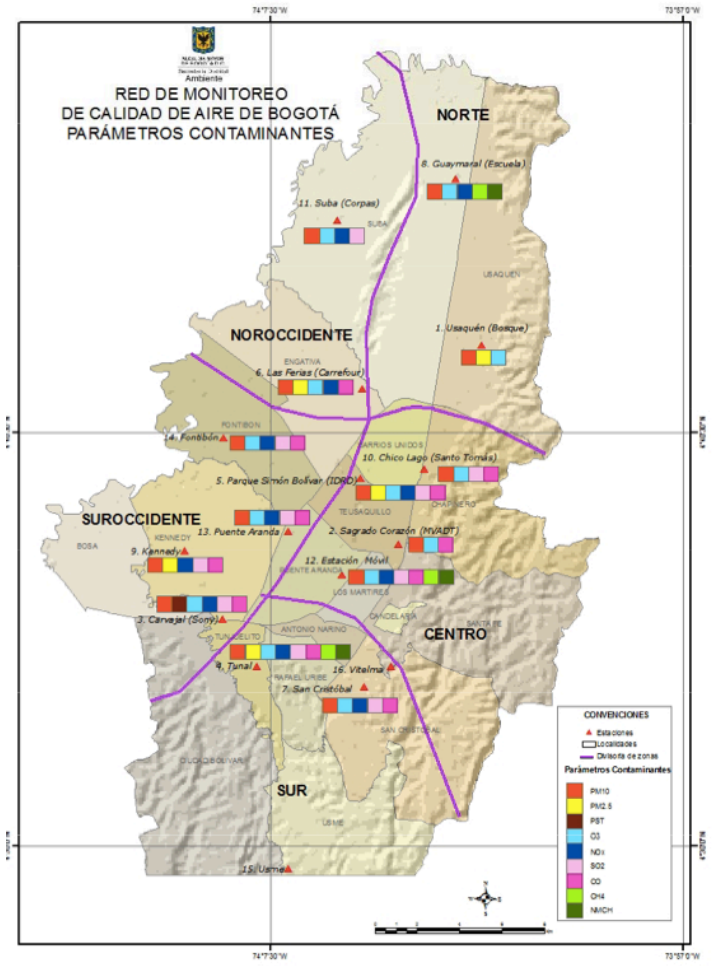
Los problemas que se derivan de las emisiones de GEI por parte del sector energético en la ciudad se relacionan con la presencia de material particulado en el aire y los efectos que estos tienen sobre la salud y el bienestar humano. A continuación, se aborda con más detalle este tema.

3.2.2 Contaminación atmosférica, calidad del aire y efectos sobre la salud pública

La calidad del aire es un factor que tiene un impacto importante en las medidas de bienestar percibidas por los individuos de los centros urbanos, siendo un componente importante al momento de escoger un lugar para vivir o en la atracción de inversiones para el desarrollo económico del

mismo. Dicha calidad suele medirse en términos de contaminación atmosférica presente localmente y globalmente. En el contexto global, se refiere a las emisiones de GEI que tienen efectos sobre el Cambio Climático y la capa de ozono; mientras que para el contexto local, se entiende como la presencia de material particulado, cuyo impacto es más fácil de observar en la salud humana y el ambiente.

Grafica 3-11. Ubicación de las estaciones para el monitoreo de la calidad del aire y parámetros contaminantes medidos.

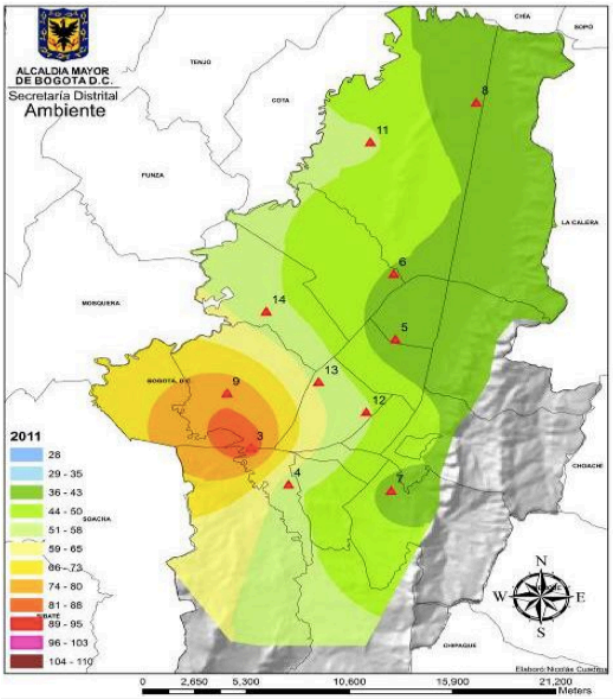


Fuente. SDA. 2011b, p. 10.

Para el caso de Bogotá, la Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá D.C. (RMCAB) viene evaluando el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de la ciudad señalados por la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 y la Resolución 610 del 24 de Marzo de 2010, expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo

Territorial (MAVDT). Dicha red de monitoreo cuenta con 16 estaciones (incluidas una estación móvil y dos meteorológicas), ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad que monitorean las concentraciones de material particulado (PM10, PM2.5, PST), de gases contaminantes (SO2, NO2, CO, O3) y los parámetros meteorológicos de precipitación, velocidad y dirección de viento, temperatura, radiación solar y humedad relativa (Gráfica 3-11) (SDA. 2011, p.11.).

Gráfica 3-12. Distribución de la Concentración de la PM10 durante 2012. Material Particulado PM10 (µg/m3) promedio 2011



Fuente. SDA. 2012, p.13.

Durante el 2011, las concentraciones del PM10 mostraron una disminución en comparación con las presentadas en el año anterior (Gráfica 3-12). Las estaciones que presentaron mayores niveles de este contaminante durante el año fueron: Carvajal y Kennedy, y las que presentaron los menores niveles Guaymaral y Parque Simón Bolívar (SDA. 2012, p.11.). El PM10 se monitoreó durante todo el año en las 13 estaciones de la RMCAB; los equipos de Sagrado Corazón y Usaquén no acumularon suficiente cantidad de datos, y no cuentan con representatividad. Las estaciones Zona Industrial - Estación Móvil (sector centro), Fontibón, Puente Aranda, Carvajal, Kennedy (sector suroccidental), Tunal y San Cristóbal (sector sur) arrojaron resultados de concentración por encima de la norma 24 horas, establecida en 100 µg/m3 (SDA. 2011, p.12.). El promedio anual de PM10, superó la norma

anual (50 µg/m3) en las estaciones Suba, Zona Industrial, Fontibón, Puente Aranda, Kennedy, Carvajal y Tunal. Es importante mencionar que la norma diaria de 100 µg/m3 empezó a regir a partir del 2011 (SDA. 2012, p.12.). Con respecto a estos resultados la SDA señala en el más reciente informe que "…*es importante tener en cuenta que todos los años no se tienen las mismas estaciones; ni un mismo contaminante en ocasiones es medido con la misma intensidad en todos los años*" (SDA. 2012, p. 17).

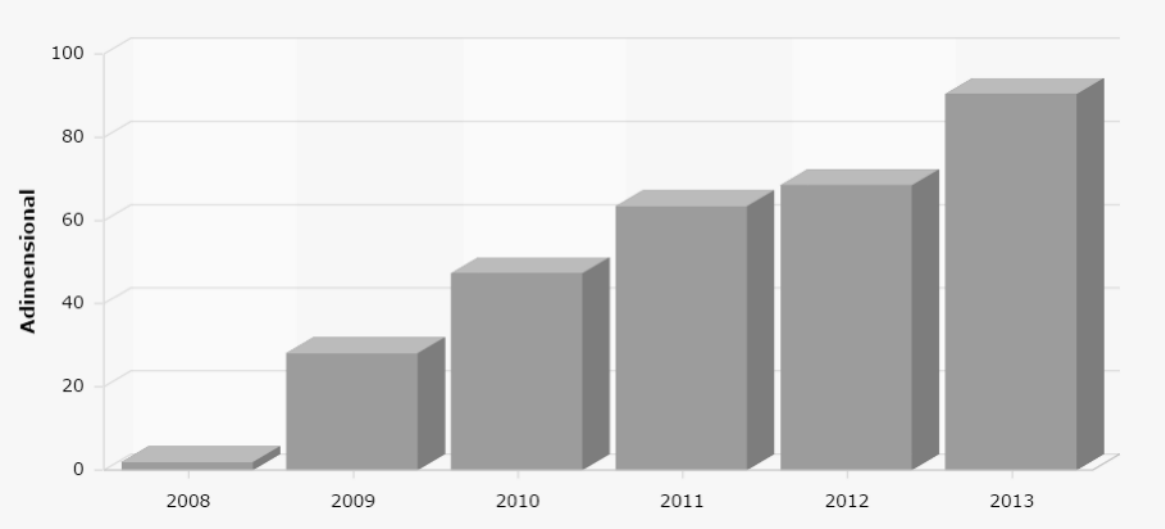
Los gases contaminantes: CO, NO2 y SO2, están presentes en concentraciones bajas y no representan riesgo para la salud humana en la capital. (SDA. 2012, p.11.). Por último, "*para O3 en el 2011 se registraron concentraciones que superaron los límites máximos establecidos en la norma horaria y octohoraria. Las excedencias se presentaron en todas las estaciones que monitorearon este contaminante, exceptuando la estación Móvil (Zona Industrial), Carvajal y San Cristóbal*" (SDA. 2012, p. 11). Es importante resaltar que los límites nacionales establecidos exceden los aceptados por agencias ambientales internacionales" (SDA. 2012).

Calidad del aire y efectos sobre la salud en la población bogotana

El Observatorio Ambiental de Bogotá mantiene información actualizada en su página web sobre muchos indicadores relacionados con el tema ambiental en la ciudad.

Uno de ellos es el Índice de Impacto de la Salud Ambiental (IISA) que mide, específicamente, los efectos que tiene sobre la salud humana la contaminación ambiental, reflejados en enfermedades asociadas a la calidad del agua y del aire. Este índice toma valores entre cero y cien; en donde cero se refiere al peor desempeño del índice y cien el mejor desempeño del mismo. Como se observa en la gráfica 3-13, el índice ha tendido a mejorar notablemente en los últimos años; sin embargo, al ser un indicador de construcción reciente, no es posible determinar qué tanta mejoría ha tenido respecto a los últimos diez o veinte años la ciudad.

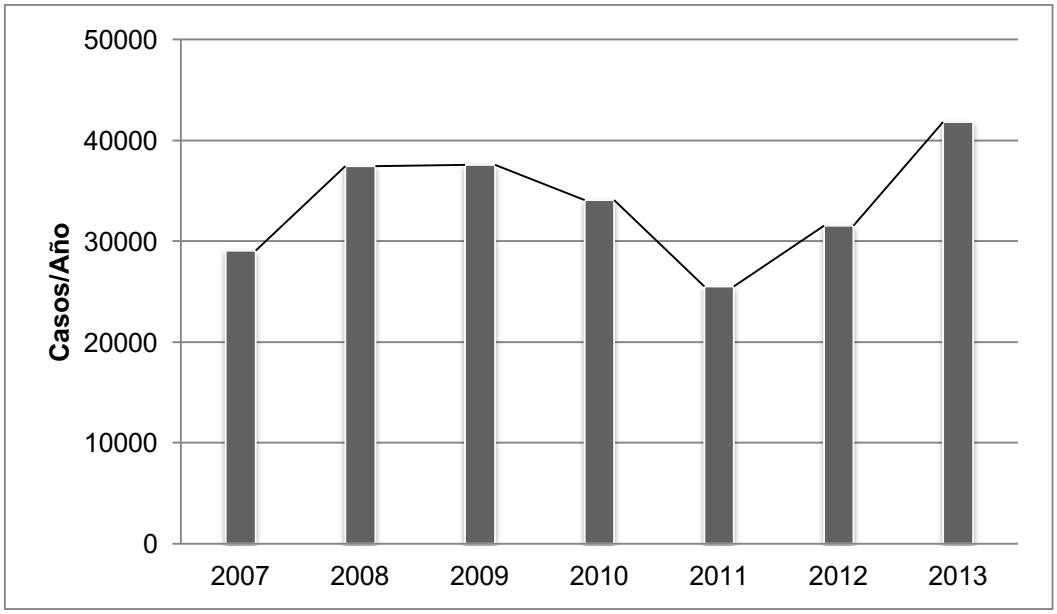
Gráfica 3-13. Índice de Impacto de la Salud Ambiental (IISA) 2008-2013.



Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá, 2014.

Otro indicador relacionado con el impacto que tiene el ambiente en la salud humana es la cantidad de casos de Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) atendidos en salas de la ciudad anualmente (Gráfico 3-14), cuyo comportamiento pareciera indicar una estacionalidad en la presentación de éstos.

Gráfico 3-14. Casos atendidos en salas de Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA), 2007-2013.



Fuente: Observatorio Ambiental de Bogotá, 2014.

Adicionalmente, el observatorio posee otros indicadores relacionados con la población infantil (p. e. mortalidad por neumonía y prevalencia de sibilancias debido al material particulado en menores de 5 años) que muestran una disminución importante en los casos atendidos en la ciudad, lo que podría interpretarse como una mejora en la calidad del ambiente en la ciudad o mejoras en el acceso a servicios de atención médica. No obstante, hay algunos indicadores que han tendido a aumentar como los casos por ERA en menores de 5 años, cuyo crecimiento se puede entender a través del mejoramiento en la prestación de servicios de salud de la ciudad y los programas de política pública para que la población acuda al médico en casos como estos.

3.3 Conclusiones

El modelo energético de Bogotá gira en torno a una lógica de desarrollo a partir del crecimiento económico. El aporte significativo que realiza a la producción nacional, así como el consumo que demanda para mantener y aumentar esa producción implican unos costos e impactos ambientales para el entorno que rodea a la urbe bogotana.

El sector transporte representa uno de los principales problemas ambientales en cuanto a consumo energético e impactos ambientales generados al área local se refiere. Además, aunque el consumo energético de las fuentes fijas de la ciudad puede considerarse como un consumo limpio o de bajas emisiones, pues es suministrado por la energía hidráulica de las grandes centrales hidroeléctrica; lo cierto es que ha creado una fuerte dependencia por parte de la ciudad a esta fuente de energía y, sus consecuentes vulnerabilidades por las variaciones recientes del clima, que se han vuelto inestables en los últimos años.

Todo esto conlleva a una serie de impactos sobre el bienestar humano de la población bogotana, que pueden observarse en el aumento de casos por ERA y otros no tan fácilmente perceptibles, como la presencia de material particulado en el aire de la ciudad.

Capítulo 4. Evaluación de las propuestas de modelos energéticos alternativos, una mirada local e internacional

Como se expuso en el capítulo anterior, la principal fuente de energía de la ciudad de Bogotá es de origen hidroeléctrico. Sin embargo, las variaciones causadas por fenómenos meteorológicos hacen que este sistema se vea sujeto a variaciones en los niveles de agua en los embalses de origen, por lo que la región se ve obligada a complementarlo con el uso de combustibles fósiles (gas natural y carbón) para mantener estable la oferta de energía y evitar racionamientos en el servicio.

Por su parte, el sector transporte es la fuente principal de emisiones de GEI en la ciudad como consecuencia de su fuerte dependencia de los combustibles fósiles, razón por la cual, surge la necesidad de encontrar fuentes de energía no convencionales renovables que permitan disminuir significativamente los impactos generados por estas emisiones en el bienestar de la población bogotana.

En este capítulo se realiza una evaluación de las propuestas para el uso de FNCE como modelos energéticos complementarios y alternativos que hayan sido implementados por la ciudad para disminuir su dependencia de los combustibles fósiles y contribuir así con la disminución de generación de GEI en el área local[16].

Para ello, se divide en cuatro secciones: 1) revisión de las propuestas locales para el uso e implementación de las FNCE, tanto a nivel nacional como a nivel distrital; 2) evaluación de las propuestas revisadas mediante la exposición de sus alcances y limitaciones; 3) presentación de una perspectiva internacional frente al uso de las FNCE y la revisión de algunas experiencias en la región latinoamericana con características similares a las de la ciudad de Bogotá y; 4) evaluación de estas experiencias internacionales en cuanto a los alcances y limitaciones que se presentan para poder adoptar estas estrategias en el caso bogotano.

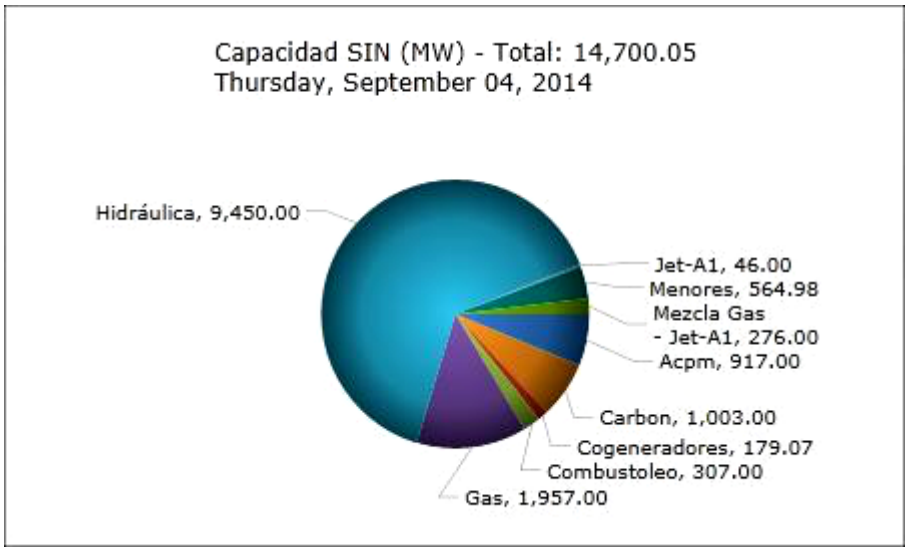
4.1 Propuestas locales

El IPCC (2011) considera como fuentes de energía renovables útiles para mitigar los impactos del cambio climático: la bioenergía, la energía solar directa, la energía geotérmica, la energía hidroeléctrica, la energía oceánica y la energía eólica.

[16] Analizamos las propuesta concretas de uso de FNCE y no los Planes de Desarrollo de las de las administraciones distritales, pues sus postulados son meros enunciados políticos, que en ultimas, deben ser materializados a través de los programas y/o proyecto distritales en el marco de los Planes y Políticas distritales vigentes.

En el SIN, la energía hidroeléctrica tiene una participación considerable del total de la capacidad del sistema (Gráfica 4-1), sin embargo, dadas las múltiples variaciones en la geografía del país, la implementación de este sistema no es posible en todas las regiones por la presencia de desiertos o zonas de llanura que impiden la construcción de embalses. Es por esto que, en algunas regiones, es más fácil hacer uso de otras fuentes de energía como los combustibles fósiles (principalmente, carbón, petróleo y gas) o se usa un sistema cogenerador.

Gráfica 4-1. Capacidad del Sistema Interconectado Nacional (MW) - 2014



Fuente: XM Compañía de Expertos en Mercados SA - ESP, 2014.

En esta sección se describen las principales experiencias del país y de la ciudad con el uso de fuentes de energía no convencional renovable y el impacto que han tenido en la prevención, corrección y mitigación de los impactos que surgen del uso de fuentes convencionales de energía.

4.1.1 Uso de fuentes no convencionales de energía como modelos energéticos alternativos en el país.

Colombia cuenta con un potencial considerable para el uso de fuentes no convencionales de energía (FNCE)[17]. Desde su posición estratégica en el ecuador para el uso de energía solar hasta la presencia de corrientes de viento para su aprovechamiento en zonas específicas; lo que se ha evidenciado en los

[17] De acuerdo a la Ley 1715 de 2014, articulo 5, literal 10, "*Las Fuentes No Convencionales de Energía –FNCE- son aquellas fuentes disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente*". Se consideran fuentes no convencionales de energía, entre otras, la energía solar, energía eólica, energía geotérmica, energía proveniente de fuentes de biomasa, pequeños centrales hidroeléctricas, energía proveniente de los océanos y energía nuclear.

esfuerzos de entidades estatales para la construcción de documentos como el Atlas de de Radiación Solar de Colombia y el Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia. En 2008, la participación de energéticos renovables en el consumo final de energía fue de 6,5% en biocombustibles, 10,4% en bagazo y 20,6% en la utilización de leña, con base en las estimaciones preliminares de inventarios y potenciales de los recursos energéticos renovables y su participación en el mix nacional (MME-UPME, 2010, p. 9)

Según datos del Ministerio de Minas y Energía, la participación de estas fuentes en la generación de energía eléctrica en el SIN es del 3.5%, que se compone por el 1.5% de capacidad actual instalada por generación eléctrica con residuos de biomasa, plantas hidroeléctricas menores de 10 MW y, el parque eólico de Jepirachi (Tabla 4-1). Por su parte, "*en las ZNI, la capacidad instalada para generación eléctrica de las FNCE es de 118 MW, lo que corresponde al 1% del total instalado en el país. El 92% (108,5 MW) corresponde a generación con plantas Diesel y el 8 % restante corresponde a generación con PCH y sistemas fotovoltaicos*" (MME-UPME, 2010, p. 10).

Tabla 4-1. Participación de las FCNE en el SIN, 2010

TECNOLOGÍA	CAPACIDAD INSTALADA MW	Participación
PCH	146.0	75.9%
Biomasa	26.9	14.0%
Eólica	19.5	10.1%
TOTAL	**192.4**	100.0%

Fuente: Corpoema, 2010, p. 2-30

Para entender las dinámicas de incorporación de las FNCE en el modelo energético de la ciudad y del país, a continuación, se revisan los avances y retrocesos realizados en la implementación de fuentes de energía solar, bioenergía, energía geotérmica, energía hidroeléctrica, energía eólica y otras experiencias relacionadas con las FNCE. Cabe resaltar que la política nacional para la implementación de proyectos basados en fuentes alternativas de energía está enfocada en el aumento del acceso a servicios públicos en zonas remotas o aisladas del territorio nacional que contribuya en la reducción de la pobreza.

Energía solar

Desde hace más de 40 años, el país ha utilizado energía solar como fuente no convencional de energía. Sin embargo, su uso no pudo expandirse por las características iniciales de implementación y

los costos que debían ser asumidos para su instalación por los usuarios domésticos. Rodríguez (2009) comentó al respecto que, a mediados de los años ochenta, surgieron en el país varias compañías que fabricaron e instalaron miles de calentadores solares de diversas capacidades en urbanizaciones en las ciudades de Manizales, Medellín y Bogotá. El costo aproximado de instalación de un sistema de estos era de US$1.000, lo que significaba una inversión relativamente alta para las familias de ese entonces que, no obstante, en comparación con los costos que implicaban usar electricidad para calentar agua eran mucho menores. Estos fueron incentivos suficientes para que el Banco Central Hipotecario obviara estos costos para los usuarios e incluyera estos equipos durante la construcción de varias urbanizaciones (Rodríguez, 2009, p. 85).

A pesar de esto, con la llegada del gas natural, un energético más barato, el auge en el uso de energía solar doméstica no duró mucho y desde entonces, se ha estancado. El uso de esta fuente de energía pasó a darse en las Zonas No Interconectadas (ZNI); esto se debe, principalmente, a que los costos de operación y mantenimiento de otras fuentes de energía son mucho mayores que la instalación de sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad en áreas rurales. Adicionalmente, el Estado ha apoyado el uso de estos sistemas mediante la financiación de su instalación por medio de instituciones como el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) y el Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE) (Rodríguez, 2009, p.86).

Bioenergía

De todas las energías renovables, la biomasa es la que mejor se aprovecha en el mundo, ya que representa el 14% del consumo energético mundial. Para su uso, es importante realizar una etapa de adecuación física para aumentar la eficiencia, seguida por la etapa del proceso y finalmente la disposición o uso de los residuos. Los procesos de conversión mediante los cuales se puede obtener energía de la biomasa son: la combustión, la pirolisis, la gasificación, el biogás y los biocombustibles (biodiesel y bioalcohol).

En Colombia, la biomasa con mayor potencial de utilización son los residuos de bosques madereros, los de agroindustria (como la caña de azúcar o bagazo, la palma africana, arroz, café, maíz, plátano y flores) así como los cultivos de rápido crecimiento ricos en celulosa para la producción de alcohol de segunda generación y otros combustibles (Corpoema, 2010, p. 209). Sin embargo, solamente se tienen estudios preliminares de los cuales existen datos sobre el uso del bagazo de caña (con 7.5 millones de toneladas anuales) y la cascarilla de arroz (475.00 toneladas al año), cuya utilización se destina, principalmente, para la producción de calor (usualmente, en sistemas de cogeneración)

(UPME, s.f., p. 23). Desafortunadamente, aún no existen estudios para establecer en qué regiones tiene un mayor potencial para su uso extendido, pero es evidente que los costos de tratamiento para la adecuación, almacenamiento y transporte de la biomasa, hacen que las condiciones óptimas para la generación de energía se den cerca a su lugar de origen.

En Bogotá, el uso de esta fuente de energía tiene un gran potencial como resultado de los residuos madereros de la poda y de la producción de muebles y aglomerados, especialmente en el sector industrial, en donde podrían ser utilizados en procesos de cogeneración (García-Ubaque, Vaca-Bohórquez & Talero, 2013, p. 120). Pese a esto, no existen datos actuales sobre el consumo de este energético en la ciudad y su participación en el consumo total de energía.

Energía hidroeléctrica

Esta es la principal fuente de energía usada en el país. Del total de capacidad instalada del SIN (14.4 GW), un 69.9% es generación hidráulica, que se obtiene de las grandes centrales hidroeléctricas o embalses agregados.

Según Corpoema (2010), Colombia es el cuarto país en el mundo con capacidad hidráulica, dada la gran cantidad de cuencas y ríos disponibles a lo largo del territorio nacional. Por esta razón, es de particular interés la instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) como FNCE, dada la eficiencia que tiene su uso en las zonas aisladas del país y los bajos impactos ambientales que conlleva su construcción y mantenimiento.

De acuerdo al Plan Energético Nacional, en PCH, se "*ha estimado un potencial global de 25.000 MW instalables, de los cuales según el inventario del Programa Nacional de Energías No Convencionales y de estudios adelantados por la Universidad Nacional de Colombia, se han construido 197 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas con una capacidad instalada aproximada de 220 MW*" (Corpoema, 2010, p. 185).

Para el año 2010, se encontraban registrados 15 proyectos de energía hidráulica como Mecanismos de Desarrollo Limpio ante la ONU que estaban por ser implementados en distintos puntos del país.

Para el caso de Bogotá, cabe resaltar la experiencia de la EAAB – E.S.P. a principios de la década del 2000 con la construcción de la PCH de Santa Ana, que aprovecha el salto disponible entre la Planta de Tratamiento Francisco Wiesner, ubicada en el municipio de la Calera sobre el Embalse de San Rafael, y el Tanque de Almacenamiento de Santa Ana, localizado al norte de Bogotá, en la localidad de Usaquén. Esta planta cuenta con una capacidad instalada de 13.43 MW, que le permite generar 90

GWh/año de energía eléctrica limpia que entrega a la Red del Sistema Interconectado Nacional (Corpoema, 2010, p. 188).

Energía eólica

Los molinos de viento para bombear agua o aerobombas se usan en el país desde comienzos del siglo XX. Para los años 50, durante el gobierno del General Rojas, se instalaron en la Guajira aproximadamente 700 de estos equipos y la Caja Agraria importó cerca de 3.000, los cuales fueron instalados a lo largo y ancho del país. *Este molino de viento es el típico molino granjero americano multipala, con bomba mecánica y con capacidad de extracción del orden de 4 m3/hr, con vientos de 9 m/s (32 km/h) y elevación total de bombeo de 40 m con rotor de 5 m de diámetro* (Corpoema, 2010, p. 178).

A pesar de que existe el Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, es muy poco lo que se ha obtenido de estos estudios en cuanto a la creación de fuentes de energía masivas relacionadas con este recurso. Los proyectos eólicos para la generación de energía eléctrica desarrollados en el país a la fecha son: el parque eólico de Jepirachi y la componente eólica del Sistema Híbrido de Nazaret, ambos en La Guajira (Corpoema, 2010, p. 165). Esto se debe principalmente a la baja confiabilidad de la información disponible, lo que dificulta establecer las regiones con mayor potencial para el aprovechamiento del viento.

Otras iniciativas relacionadas con el aprovechamiento de FNCE

Existen otras fuentes de energía alternativas que, por sus características de financiación, implementación y uso, no son viables actualmente en el nivel local ni en el nivel nacional. Entre estas se encuentran la energía oceánica, la energía geotérmica y la energía nuclear, respecto a las cuales se han hecho algunos estudios de prefactibilidad que han encontrado dificultades para su aprovechamiento en el territorio nacional.

- Energía oceánica:

  Los movimientos con potencial de generación de energía en los océanos son: por gradiente térmico, por las mareas, por las olas. En un estudio realizado en el 2003 se evaluó el potencial de estas tres fuentes para el país, tanto en la costa atlántica como en el pacífico, concluyendo que el potencial de energía a obtener de estas fuentes no es viable en ninguno de los dos casos (Corpoema, 2010, pp. 366-367).

- Energía geotérmica:

En Colombia no existe ningún proyecto geotérmico con propósitos de producción de energía eléctrica. En los años ochenta, se realizó un trabajo de Reconocimiento de los Recursos Geotérmicos de la República de Colombia, en donde se identificaron diversas áreas de interés geotérmico para el país con el objetivo de planificar y programar el desarrollo de plantas de generación de energía. En esta exploración, se definieron las siguientes áreas de interés: en la Cordillera Occidental, (1) Chiles-Cerro Negro, (2) Cumbal, (3) Azufral y (4) Galeras; en la Cordillera Central, (5) Doña Juana, (6) Sotará, (7) Puracé, (8) Huila, (9) Tolima y (10) Macizo del Ruiz; y en la Cordillera Oriental, (11) el área de Paipa (Corpoema, 2010, pp. 272-274).

Como resultado de esto, posteriormente se efectuaron estudios de prefactibilidad en el área del proyecto geotérmico binacional Chiles – Cerro Negro – Tufiño, en la frontera colombo-ecuatoriana y estudios a un nivel de prefactibilidad en el área del Macizo Volcánico del Ruiz, los cuales condujeron posteriormente a la ejecución de una perforación exploratoria profunda en la cual no se obtuvieron resultados favorables para la explotación de esta fuente de energía.

- Energía nuclear:

En el país, solo existe un generador de energía nuclear ubicado en Bogotá. Este generador, fue donado por los Estados Unidos en el marco del programa "Átomos para la Paz" y cuyo funcionamiento inició en el año 1965. Desafortunadamente, el reactor no ha tenido un funcionamiento constante y las iniciativas para su modernización y repotenciación se vieron truncadas por la liquidación del INEA (Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas). Actualmente, INGEOMINAS está a cargo del funcionamiento del reactor.

Como se acaba de exponer, Colombia ha explorado y estudiado el uso de estas fuentes de energía y, dentro de las políticas de desarrollo nacional, ha optado por la implementación de aquellas con mayor potencial de explotación teniendo en cuenta las diversas condiciones ambientales, sociales y económicas del país. Esto se evidencia en el funcionamiento del SIN y los proyectos de impulso de tecnologías alternativas con base en FNCE en las ZNI, que se ha venido acoplando a las demandas energéticas de un país en crecimiento económico y estructural. No obstante, este modelo energético se enfrenta a una serie de retos cuyo origen viene dado por las dinámicas mismas de consumo creciente y desarrollo desmedido, dejando entrever las vulnerabilidades a las que deberá hacer frente

la política pública de los próximos años y las oportunidades que surgen para la creación e impulso de nuevas tecnologías.

La alta dependencia del país de la energía hidráulica representa una de las principales vulnerabilidades del modelo energético nacional, especialmente en lo que respecta a los efectos generados por fenómenos asociados al cambio climático. En este sentido, el país ha buscado respaldar el sistema con energía térmica, que es usada en alternación con el sistema hidráulico durante las épocas de sequía, teniendo en cuenta la experiencia adquirida en el pasado frente a eventos extremos y que ha permitido hacer frente a esta situación en los últimos años.

De acuerdo con la UPME (2013):

> "Dentro de las medidas de adaptación al Cambio Climático en el sector eléctrico que se encuentran actualmente en marcha se encuentran las políticas, normas y acuerdos desarrollados durante los últimos 20 años que han contribuido a disminuir la vulnerabilidad del sector eléctrico al Cambio Climático. Por otro lado se han desarrollado políticas sectoriales específicas como las leyes 142 y 143 de 1994 que promueven la diversificación y uso racional y eficiente de la energía, la ley 697 de 2001 que declaró el uso eficiente de la energía de interés social, público y de conveniencia nacional. De igual forma, se han establecido beneficios tributarios para el desarrollo de planes de ahorro y uso eficiente de energía así como para la migración hacia tecnologías más limpias de generación" (2013, p.30).

En este sentido, destacan la promoción de las FNCE y la diversificación de fuentes energéticas en general, específicamente en lo que se refiere a la facilitación del acceso a estas fuentes en las ZNI, la creación de tarifas diferenciales y el diseño de un cargo por confiabilidad que reconozca la temporalidad de los recursos. Igualmente, la implementación de estos proyectos está bajo constante revisión, teniendo en cuenta que aún no se conocen los efectos a largo plazo de la implementación de estas tecnologías y los costos asociados.

En este sentido, las estrategias de adaptación buscan la optimización del consumo de electricidad, de tal manera que genere los mayores beneficios sociales a los menores costos en el mediano y largo plazo. Para esto, "*se ha propuesto la implementación de programas e inversiones en el sector residencial que permitan reducir la demanda o aumentar la eficiencia en el uso de la energía, estudios para determinar las condiciones necesarias para micro-generar energía eléctrica en el sector residencial y la revisión de los subsidios a la energía eléctrica en los estratos 1, 2 y 3*" (UPME, 2013, p. 32).

En el sector industrial, como parte del programa OPEN (Promoción de Oportunidades de Mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética) de la Cámara de Comercio de Bogotá en conjunto con la ONU, se plantea la capacitación en investigación para la optimización de procesos como las

cadenas de frio, iluminación y eficiencia de los equipos. Además, se busca la renovación de tecnologías y la implementación de programas de gestión integral de energía en las empresas (UPME, 2013, p. 32).

Por otra parte, las políticas ambientales desarrolladas para la reducción de la vulnerabilidad ante el Cambio Climático se encuentran: la Política Nacional para la Gestión del Recurso Hídrico; el establecimiento del caudal ambiental por medio de la regulación 865 de año 2004, la Política de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, las Comunicaciones Nacionales de Cambio Climático ante Naciones Unidas y el Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático como medidas ambientales de adaptación al cambio y vulnerabilidad climática (UPME, 2013, p. 31).

4.1.2 Avances en iniciativas distritales para mitigar los impactos ambientales del modelo energético actual

Los sectores doméstico e industrial de Bogotá obtienen una parte importante de su energía de las hidroeléctricas en la región, mientras que el transporte hace uso extensivo de combustibles fósiles para su funcionamiento. Esto hace que se creen dos dinámicas muy distintas para cada sector: por un lado, considerar la fuerte dependencia que tiene la ciudad de la energía hidroeléctrica y, por otra parte, el impacto que tiene en el área local del uso de combustibles fósiles para movilizarse.

En el primero caso, el principal problema de la ciudad es que este energético debe complementarse con el uso de carbón y gas natural para mantener estable la oferta de energía en la región, lo que traduce en una dependencia en la alternación de estos dos sistemas y la necesidad de utilizar otras fuentes de energía renovable adicionales para revertir esta situación.

Por su parte, el sector de transporte tiene un uso predominante de combustibles fósiles para su funcionamiento óptimo, haciendo que las políticas públicas para el uso de fuentes de energías alternativas en la ciudad se vean enfocadas en este sector. Desafortunadamente, las medidas que se han tomado en la ciudad al respecto no han buscado alternativas viables para mitigar los efectos del uso de combustibles, sino que han buscado cambiar el comportamiento de circulación de los usuarios (por ejemplo, la medida de pico y placa ambiental), tratando de solucionar un problema adicional relacionado con la movilidad de la ciudad (la escasez de vías y el mal estado en que se encuentran las que están construidas), que en últimas, ha generado malestar en los ciudadanos por las dificultades que estas medidas han representado para su movilidad diaria y no ha contribuido a la solución de fondo sobre el uso de combustibles en el sector.

Es por ello que surge la necesidad de desarrollar políticas públicas orientadas a la planeación en el uso de las fuentes energéticas disponibles y la búsqueda de alternativas renovables que permitan que la ciudad reduzca los impactos generados a partir de estas dinámicas de consumo. De esta manera, la exploración de fuentes no convencionales de energía se vuelve una necesidad para la ciudad así como el estudio de su viabilidad económica y ambiental para la implementación y mantenimiento de estos modelos alternativos.

Es por esto que, en los últimos años, ha sido un imperativo para la política pública incorporar soluciones a los impactos ambientales que ha generado el crecimiento acelerado de la ciudad. A continuación, se presentan las iniciativas más recientes vinculadas con el modelo energético de Bogotá; incluyen las iniciativas planteadas en el Plan maestro de Movilidad, el Plan Distrital de Adaptación y Mitigación a la Variabilidad y el Cambio Climático y el proyecto de biogás en el relleno sanitario Doña Juana.

Plan Maestro de Movilidad

En el Plan Maestro de Movilidad (PMM), adoptado en el año 2006 por la ciudad, se proponen un grupo de estrategias para hacer frente a los impactos ambientales del consumo energético en el sector de transporte. Uno de los principales avances en materia de regulación propuestos en este documento, es la subordinación del desarrollo vial de la ciudad a la estructura ecológica principal; esto, con el fin de considerar las restricciones naturales y salvaguardar el funcionamiento hidrológico local y regional (C&M-Alcaldía, 2006, p. 15-41).

Es así como se incluyen mecanismos de regulación y control institucionales que permitan evaluar el alcance de los proyectos de infraestructura vial mediante la elaboración de Evaluación de Impacto Ambiental, así como la inclusión de los estudios ambientales a que haya lugar para establecer la afectación generada por las obras relacionadas con este aspecto.

Las estrategias propuestas en el PMM contemplan varios aspectos: regulación normativa, diseño y conformación de distritos verdes, gestión para la promoción y sustitución de combustibles fósiles así como el uso de catalizadores, fomento de proyectos relacionados con el mercado de reducción de emisiones entre los países industrializados y los países en vías de desarrollo, diseño e implementación de un Sistema de Gestión Integral para el transporte de materias peligrosas para el medio ambiente y la salud de las personas, con énfasis en el manejo de contingencias, diseño y montaje por etapas de un Sistema de Gestión Ambiental en el interior de la Secretaría de Tránsito y Transporte y, Manejo de la Demanda de Transporte para optimizar la Movilidad en Bogotá (Tabla 4-2).

Tabla 4-2. Iniciativas propuestas en el Plan Maestro de Movilidad, 2006.

Aspectos incluidos en el PMM	Iniciativas propuestas
Regulación normativa	Ajustes para realizar castigos más severos a los agentes contaminantes que no cumplan con los parámetros ambientales establecidos para la ciudad, entre otros, control a las emisiones de gases y ruidos emitidos por los vehículos, especialmente en el sector público. Renovación del parque automotor, desde la promoción de incentivos para la adquisición de vehículos ligeros (con menor consumo energético) hasta estudios sobre la representación cultural en materia de buenas prácticas ambientales en los propietarios de la vehículos en la ciudad. Uso de mecanismos legales para la implementación de proyectos asociados con el PMM, es decir, exigir el uso de licencias ambientales, así como la realización de Evaluación de Impacto Ambiental que establezcan las medidas de prevención, control y mitigación de los proyectos sobre los impactos generados como consecuencia de su implementación y mantenimiento. Modificación de la normatividad existente respecto a los límites de contaminación permisibles por emisión de gases en la ciudad, especialmente, en el caso de las fuentes móviles. Desarrollo normativo que propenda por la elaboración de pronósticos que permitan establecer episodios de prevención, alerta y emergencia sobre la calidad del aire, de tal manera que permita determinar planes de manejo estas contingencias.
Diseño y conformación de Distritos Verdes	Construcción de zonas delimitadas donde el acceso solo se permite a los automotores cuyas especificaciones garanticen mínima contaminación y a los modos de transporte no motorizado. Adopción de restricciones sobre el tipo de vehículos aceptables para transitar en cada corredor, es decir, establecer corredores viales ecológicos y dotación de infraestructura mitigadora de impactos sobre el medio urbano.
Gestión integral que promueva y facilite la sustitución de combustibles y el uso de catalizadores	Promoción del uso de tecnologías más limpias y aseguramiento de la inclusión de procesos tendientes a la producción limpia dentro del concepto del ciclo de vida de los productos. Gestión de incentivos a la producción y uso de etanol, así como la promoción de la incorporación en los sistemas de transporte locales, comenzando con los buses del sistema masivo, de electricidad, gas natural, diesel de bajo contenido de sulfuros o cualquier otra alternativa conveniente que el desarrollo tecnológico vaya haciendo disponible dentro del horizonte del Plan Maestro de Movilidad. Participación de la administración distrital sobre producción y comercialización

	de combustibles limpios.
Fomento de proyectos relacionados con el mercado de reducción de emisiones entre los países industrializados y los países en vía de desarrollo	Promoción y desarrollo de proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio, MDL, el cual permite la ejecución de proyectos de reducción de emisiones en el territorio de países que no tienen compromisos de esta índole. Desarrollo de instrumentos de modelación que mejoren la gestión correspondiente al involucrar diversos escenarios surgidos de la movilidad.
Manejo de la Demanda de Transporte para optimizar la Movilidad en Bogotá	Iniciativas positivas: Horarios de trabajo alternativos, jornadas flexibles y trabajo por turnos; integración de la bicicleta como medio de transporte alternativo, alquiler de automóviles para uso compartido, incentivos financieros por el uso y transbordo del transporte público. Iniciativas negativas: Impuestos diferenciales a la compra y tenencia de vehículos, impuestos al combustible, altas tarifas de parqueo en áreas determinadas, peajes urbanos, restricción al uso de vehículos. Iniciativas mixtas: planificación de espacios libres de automóviles (días sin carro, distritos peatonales periódicos o permanentes), prioridad a carriles de alta ocupación, gestión integral de estacionamientos, crecimiento urbano inteligente (densificación del suelo), entre otras.

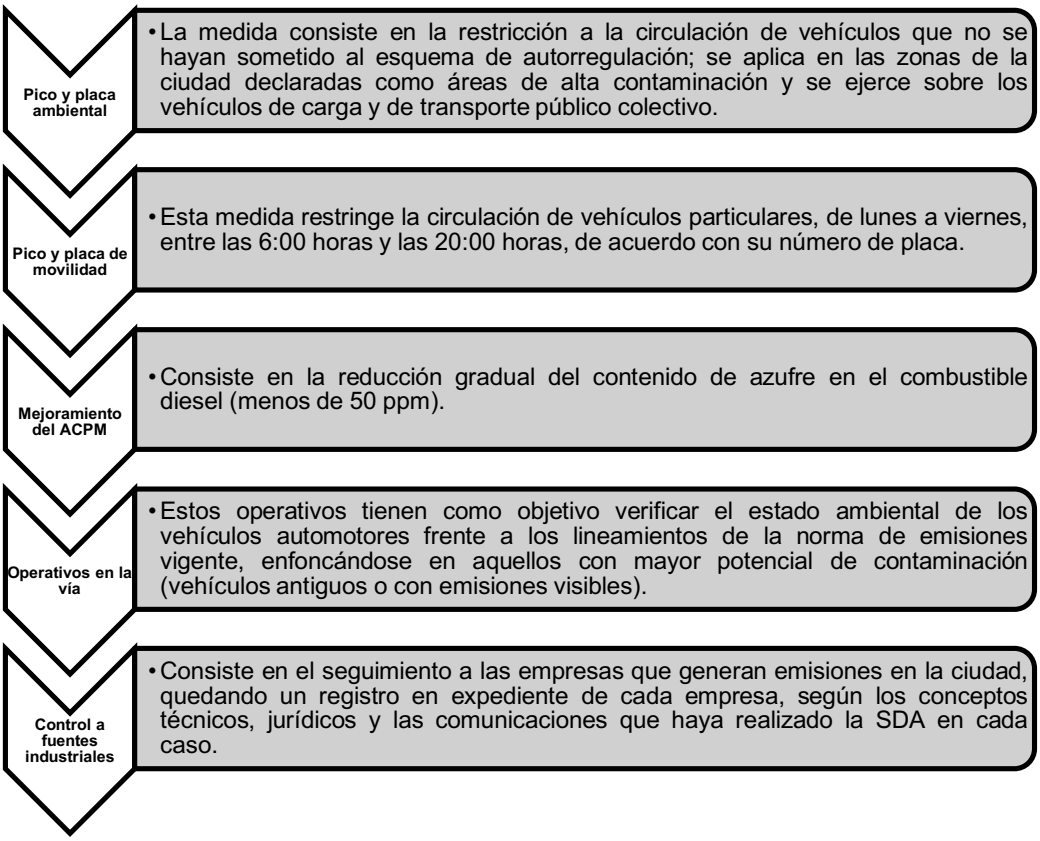
Fuente: Elaboración propia, con base en C&M-Alcaldía Mayor de Bogotá, 2006.

De estas iniciativas, muchas fueron implementadas en los años subsiguientes a la publicación del PMM, tanto desde la política pública como en ámbitos de decisión privada. Entre estas se encuentran; el aumento en el uso de la bicicleta como medio de transporte y la correspondiente adecuación de la infraestructura vial; los días sin carro; el pico y placa ambiental; la incorporación de buses y vehículos híbridos o eléctricos al sistema masivo de transporte Transmilenio, la peatonalización de sectores críticos de la ciudad, entre otras.

En el Plan Decenal de Descontaminación realizado por la SDA (2010), se mencionan cinco programas que ha implementado la ciudad para mejorar la calidad del aire (Figura 4-1). El éxito de cada uno de ellos es relativo, puesto que las cifras oficiales reportan avances en la reducción del material particulado pero, por otra parte, la percepción subjetiva de la ciudadanía es que algunos de estos programas han resultado en un detrimento del bienestar social, particularmente, en el tema de movilidad.

Desafortunadamente, el documento no presenta cifras exactas del impacto que ha tenido cada uno de los programas, pues su enfoque está en la presentación de estrategias a adoptar para el decenio 2010-2020.

Figura 4-1. Programas implementados por la ciudad para mejorar la calidad del aire, 2010.



Fuente: Elaboración propia con base en SDA, 2010.

En este sentido, la SDA plantea dos frentes de acción: el sector industrial y el sector de transporte. Para el primero, las iniciativas están abocadas al cambio del uso del carbón como combustible por el gas natural, uso de sistemas de control de emisiones en las industrias del sector ladrillero y reubicación de fuentes.

Para el sector de transporte, las medidas consisten en: el reemplazo de convertidores catalíticos en vehículos particulares; la renovación de la flota de vehículos particulares; la aplicación de una medida combinada (teniendo en cuenta la edad del vehículo y la vida útil de los catalizadores); el uso de sistemas de control de emisiones en motocicletas, en vehículos de transporte de carga; la implementación del Sistema Integrado de Transporte Público (SITP); la instalación de filtros de partículas en aquellos buses y busetas que entrarán a formar parte del SITP.

La SDA, a partir del uso de modelos de optimización, seleccionó las medidas óptimas para ejecutar el plan al menor costo posible mientras se obtiene la mayor efectividad.

Tabla 4-3. Portafolio óptimo de medidas del plan decenal de descontaminación para Bogotá, 2010.

Medida	Sector	Proyecto	Modo	Descripción
1	Industrial	Uso de sistemas de control de emisiones	2	Instalación de sistemas de control de emisiones de la forma más costo-efectiva posible sin ponderar por tipo de categoría industrial (ver Sección 8.2.1.3)
2	Industrial	Conversión de carbón a gas natural y formalización	5	Transformación tecnológica para el 100% de las fuentes que actualmente usan carbón para que éstas utilicen gas natural. Esto en combinación con la formalización del 50% de las industrias que se encuentran fuera del sector formal (ver Sección 8.2.1.2)
3	Transporte	Uso de sistemas de control de emisiones en vehículos de transporte de carga	1	Instalar catalizadores oxidativos en todos los vehículos de transporte de carga que circulen en Bogotá. Este requerimiento aplicará también para nuevos vehículos que entren al parque (ver Sección 8.2.2.5)
4	Transporte	Uso de sistemas de control de emisiones en motocicletas	4	Instalar catalizadores oxidativos y sistemas secundarios de inyección de aire en motocicletas de menos de 250 c.c. Éste requerimiento aplicará también para nuevos vehículos que entren al parque (ver Sección 8.2.2.4)
5A	Transporte (SITP)	Implementación del sistema integrado de transporte público		Implementar el SITP con su programa de renovación continua de flota y chatarrización (ver Sección 8.2.2.6)
5B	Transporte (SITP)	Uso de sistemas de control de emisiones en alimentadores que ingresan al SITP	3	Instalación de filtros de partículas en aquellos buses y busetas que entrarán a formar parte de la flota del SITP (ver Sección 8.2.2.7)

Fuente: SDA, 2010.

Adicionalmente, el plan contempla medidas complementarias como: la educación de la ciudadanía sobre temas relacionados con la calidad, del aire; el seguimiento a la emisiones provenientes de incendios forestales; el fortalecimiento del programa de seguimiento a industrias; la renovación de sistemas de combustión en la industria; la certificación para operarios de equipos de combustión; el fomento de las buenas prácticas de conducción; la optimización operacional de la flota de taxis, entre otras.

Como parte de los avances que se han venido realizando en la ciudad, en el año 2013 se adoptó el Plan de Ascenso Tecnológico para el Sistema Integrado de Transporte Público, que "*tiene como objetivo mejorar la calidad del aire y reducir los impactos en la salud pública debidos a la contaminación atmosférica, en la ciudad de Bogotá D.C., a través de la implementación de tecnologías de cero o bajas emisiones en ruta en el Sistema Integrado de Transporte Público -SITP-*

mediante la reconversión futura de la flota, la definición de los procedimientos operacionales y las medidas de monitoreo y seguimiento (Transmilenio S.A., 2014).

Dentro de las líneas de trabajo del plan, se destaca la puesta en funcionamiento de los buses híbridos en la línea de Transmilenio que circula por el corredor de la carrera séptima. A la fecha, operan más de 140 buses con un 30% menos de emisiones de material particulado, en comparación con los vehículos de motor diesel (SDA, 2014). Asimismo, se ha venido implementando en la ciudad la promoción de la motorización eléctrica en el transporte de Bogotá. En el año 2013, se puso en operación el proyecto piloto de taxis eléctricos, contando actualmente con 40 vehículos en funcionamiento dentro del servicio público.

En cuanto al uso de bicicletas, Bogotá se ha destacado por la promoción de este medio de transporte como alternativa de movilización en la ciudad. Actualmente, cuenta con una red de 376 kilómetros de ciclorrutas, además de otros programas vinculados con el uso de la misma como la jornada del día sin carro, la ciclovía dominical y la ciclovía Nocturna (que se hace en diciembre).

Según la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM), "*entre 2005 y 2011 aumentó el número de viajes que diariamente se hacen en bicicleta, pasando de 285 mil a 450 mil. Aunque los estratos 2 y 3 son los que más utilizan la bicicleta, cada día más personas de los estratos 4, 5 y 6 deciden bajarse del carro y aportarle a la movilidad y al medio ambiente de la ciudad, utilizando la bicicleta para transportarse a sus destinos* (página web SDM, 2014).

Actualmente, la SDM está en la implementación (a través de un operador privado) del Sistema de Bicicletas Públicas de Bogotá, cuyo objetivo es incentivar la movilización de la población mediante el uso de bicicletas que pueden ser adquiridas en calidad de préstamo en varios puntos de la ciudad. Desafortunadamente, aún no es posible hacer uso masivo del sistema porque se encuentra en proceso de licitación y pruebas piloto en tres corredores estratégicos de la ciudad.

Proyecto de extracción de biogás en el relleno sanitario Doña Juana

Otra iniciativa relacionada con la oferta energética y el aprovechamiento de biomasa es el proyecto de biogás de Doña Juana, ubicado en el relleno con el mismo nombre, que captura y trata el metano producido allí (EIU, 2010, p. 37). Este proyecto surge de la necesidad de reducir las emisiones de GEI que genera el relleno la generación de recursos de inversión destinados al desarrollo social de las poblaciones cercanas al relleno, el acceso a MDL para participar en la emisión de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE), entre otras consideraciones.

Este proyecto de tratamiento y aprovechamiento de Biogás se ubicó en el cuarto lugar a nivel mundial en relación con la cantidad de reducción de Toneladas CO2 estimadas anualmente para el sector de residuos sólidos, además de ser uno de los proyectos MDL aprobados por la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de mayor importancia en el Distrito Capital (Contraloría de Bogotá, 2011).

De acuerdo con el informe de auditoría realizado por la Contraloría de Bogotá, en 2011, el concesionario solicitó los CRE a las Naciones Unidas correspondientes a la gestión realizada en el periodo 2009-2010 (Tabla 4-4). Los recursos obtenidos para el segundo año por el proyecto fueron, aproximadamente, de $2.38510 millones que fueron consignados a la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, constituyendo una fuente importante de ingresos para la entidad.

Tabla 4-4. Certificados de Reducción de Emisiones solicitados por el concesionario, 2011.

NO.	PERIODO DE CERTIFICACIÓN	AUDITORÍA DE VALIDACIÓN	CER SOLICITADOS (TON CO2E)
1	22-Sep-09 a 15-Dic-09	12 a 14 de Enero de 2010*	76.048
2	16-Dic-09 a 25-May-10	1 a 2 de Julio de 2010*	226.152
3	26-May-10 a 30-Sep-10	20 a 22 de Octubre de 2010**	201.470
TOTAL			**503.670**

*Visita de la empresa □alidadota DNV al RSDJ
**Visita de la empresa ICONTEC
Fuente: Informe mensual de interventoria HMV-CONCOL periodo: del 1 al 31 de enero de 2011, Capitulo 5 pagina 4

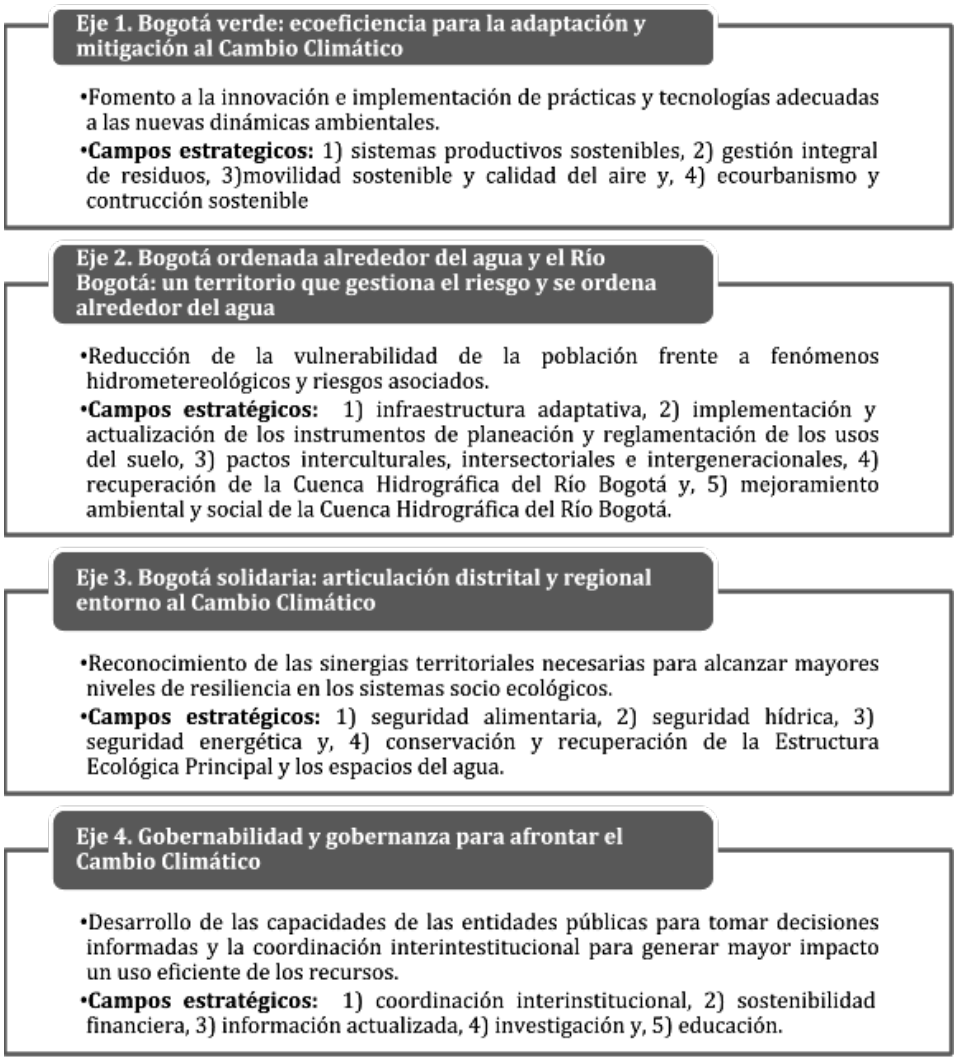
Fuente: Contraloría de Bogotá, 2011.

Según reportes de la UAESP (2014), la planta de tratamiento de biogás debe pasar al aprovechamiento del combustible para su uso en el autoabastecimiento de la planta o la comercialización, por lo que el operador adquirió un motor de 1.1 MW para iniciar el proceso de generación de energía.

Plan Distrital de Adaptación y Mitigación a la Variabilidad del Cambio Climático

Actualmente, se encuentra en construcción el Plan distrital de Adaptación y Mitigación a la Variabilidad del Cambio Climático por parte de la SDA. Sin embargo, la Alcaldía Mayor ha publicado en su página web el esquema general y los ejes en torno a los cuales se está enfocando el documento. La Figura 4-2 muestra el esquema de trabajo del plan en 4 ejes de acción: Bogotá verde; Bogotá segura; Bogotá solidaria y Gobernabilidad y gobernanza para afrontar el Cambio Climático.

Figura 4-2: Ejes de acción frente al Cambio Climático en Bogotá.



Fuente: Elaboración propia con base en SDA, 2014.

Este plan hace reconocimiento de las sinergias territoriales existentes entre los múltiples factores ambientales, por lo que representa un avance importante en cuanto al manejo de flujos energéticos se refiere. En este sentido, todos los ejes implican el desarrollo de estrategias integrales que tendrán impacto sobre el modelo energético de la ciudad.

Otras iniciativas y programas

Además de los programas mencionados anteriormente, hay otras iniciativas que, desde las instituciones del Distrito se están llevando a cabo para aumentar la eficiencia energética y disminuir

los impactos negativos que tiene su consumo energético sobre el medio ambiente. Entre estas se destacan el cambio de las bombillas tradicionales en el alumbrado público por bombillas ahorradoras así como el uso de motores con fuentes fotovoltaicas para la operación de algunos sistemas de alumbrado (específicamente, en los cementerios) y el cambio en la flota de vehículos recolectores y compactadores de basuras con la integración de motores híbridos.

4.2 Alcances y limitaciones de las propuestas locales

El uso de FNCE en el país se ha enfocado en las ZNI del país, muchos de los proyectos basados en el uso de estas fuentes implican asumir altos costos en su implementación y mantenimiento. A continuación se presentan las principales ventajas y desventajas de cada una de las fuentes de energía no convencional.

Tabla 4-5. Ventajas y desventajas de las FCNE.

FNCE	Ventajas	Desventajas
Energía solar	▪ Emplea un recurso inagotable: la radiación solar. ▪ Su impacto sobre el medio ambiente es mínimo. Los posibles impactos ambientales en la fase de instalación no tienen un carácter permanente, y desaparecen en la fase de explotación. ▪ No emite gases contaminantes a la atmósfera, ni gases de efecto invernadero. ▪ Su aplicación suele tener lugar en el entorno urbano, en donde la concentración de contaminantes atmosféricos es más elevada. ▪ No afecta a la calidad de las aguas ni al suelo. No produce ruidos molestos.	▪ El principal impacto de los sistemas solares térmicos sobre el medio físico es el efecto visual sobre el paisaje, por lo que se ha de poner especial atención en su integración cuidadosa en el entorno, así como en su adaptación a los edificios. ▪ No existen efectos negativos sobre flora y fauna, aunque sí se ha de prestar especial atención en aquellas instalaciones que ocupen una gran extensión de terreno.
Bioenergía	▪ Sirve como alternativa para disponer de los residuos biodegradables. ▪ No requiere de tecnologías complejas para su utilización.	▪ No hay un acuerdo sobre el balance de emisiones de CO2, desde el punto de vista teórico el ciclo cerrado arrojaría un saldo nulo de emisiones de CO2 de carbono, al quedar las emisiones fruto de la combustión reabsorbidas y fijadas en la nueva biomasa y desde el punto de vista práctico se plantea que se emplea energía contaminante en la siembra, en la

		recolección y la transformación, por lo que el balance es negativo. ▪ Existen dudas sobre la capacidad de la agricultura para proporcionar las cantidades de masa vegetal necesaria si esta fuente se popularizara, lo que se está demostrando con el aumento de los precios de los cereales debido a su aprovechamiento para la producción de biocombustibles disminuyendo la cantidad de tierras cultivables disponibles para el consumo humano y para la ganadería.
Energía hidroeléctrica por PCH	▪ A diferencia de las grandes presas que afectan los microclimas locales por la gran cantidad de agua acumulada, el impacto de las PCH es mucho menor. ▪ El impacto generado durante la construcción del proyecto es mínimo y relativamente fácil de compensar. ▪ Los costos de operación son bajos. ▪ No hay producción directa de desperdicios o emisiones de CO2.	▪ La modificación de los ecosistemas naturales debido a cambios en los parámetros fisicoquímicos en el agua embalsada puede afectar seriamente las especies presentes al modificar la cadena trófica aguas arriba. ▪ Aguas abajo puede alterar el equilibrio ecológico de los ecosistemas por el arrastre de sedimentos que quedan estancados en las presas llevándolas a su desaparición. ▪ Por otro lado, la anegación de los terrenos de ribera puede afectar a especies, principalmente vegetales, presentes en los márgenes del curso fluvial. ▪ El tamaño del embalse a construir afecta en mayor o menor extensión las tierras fértiles, lo cual debe ser tenido en cuenta y valorado ya que los suelos cercanos a cursos fluviales son normalmente aptos para la agricultura o pueden tener un valor natural.
Energía eólica	▪ Es una tecnología simple, de fácil instalación y desmantelado. ▪ No implica costos por consumo de combustible o generación de desechos. ▪ Es muy útil en áreas remotas o aisladas.	▪ Los tamaños de los molinos y aspas no han dejado de aumentar lo que incrementa la visibilidad de los parques a grandes distancias, teniendo un impacto negativo sobre la calidad del paisaje. ▪ Se produce un mayor impacto en las aves y murciélagos por la mortalidad de estas al chocar contra las aspas y con las líneas

		eléctricas. ▪ El giro de las aspas genera ruido que puede afectar a poblaciones cercanas debido a que estas estructuras son altas y normalmente están ubicadas en zonas abiertas.
Energía geotérmica		▪ La calidad del paisaje se puede ver afectada durante la etapa de construcción de la infraestructura asociada. ▪ Puede tener impactos negativos si el lugar en donde se lleva a cabo el proyecto se presentan especies endémicas o protegidas en el área de influencia de la planta. ▪ En algunos casos, puede afectar la calidad del aire por la emisión de gases de efecto invernadero.
Energía oceánica	▪ Es una fuente de energía renovable. ▪ La transformación energética para su explotación no genera subproductos contaminantes. ▪	▪ La implementación de sistemas de energía mareomotriz implican costos económicos altos. ▪ El rendimiento de esta fuente de energía es muy bajo en comparación con otras alternativas.
Energía nuclear	▪ Es la fuente de energía de mayor poder. ▪ Es altamente eficiente ▪ Las emisiones de CO2 durante la producción son nulas	▪ No es la fuente más viable económicamente. ▪ Generación de desechos radioactivos de larga vida. ▪ Alto potencial para generar cambios significativos en el entorno, en caso de accidente.

Fuente: elaboración propia con base en Corpoema-UPME, 2010; World Energy Council, 2013.

Teniendo en cuenta la Tabla 4-5, es evidente que los impactos del uso de FNCE son múltiples y contempla otros componentes más allá de lo ecológico. Es por esto que, con el ánimo de tener una perspectiva integral, se evaluarán las iniciativas planteadas de acuerdo a los siguientes criterios:

- Componente sociocultural: entendido como el bienestar social generado por el uso de una FCNE.

- Componente ecológico: referido como el impacto ambiental que surge de la implementación de la iniciativa sobre la vida y los ecosistemas que la sustentan.

- Componente económico: implicando el análisis costo-eficiencia de su implementación y mantenimiento.

- Componente político-normativo: que es entiende como el soporte institucional y regulatorio.

4.2.1 Evaluación y perspectiva nacional

Es notorio el esfuerzo nacional por la búsqueda e incorporación de FNCE en el modelo energético del país. Algunas fuentes resultan más útiles y eficientes en determinadas áreas del territorio nacional, por lo que los esfuerzos han estado dirigidos al aumento de la cobertura del servicio en las áreas aisladas de la ZNI.

No obstante, no hay una estrategia clara enfocada a disminuir la dependencia energética y, aunque se han hecho algunos estudios para determinar la vulnerabilidad del sistema nacional, aún no se ha establecido un plan de contingencias que permita hacer frente a la fragilidad que supone el actual modelo energético.

Revisando cada uno de los criterios propuestos para la evaluación, el panorama de las FNCE en la política pública nacional se presenta de la siguiente manera:

Tabla 4-6. Panorama de las FNCE en Colombia.

Componente	Alcances	Limitaciones
Sociocultural	Se busca otorgar el acceso en todo el territorio nacional, incluyendo las zonas remotas y las comunidades más pobres.	No hay una incorporación de las comunidades en el desarrollo de proyectos relacionados con FNCE, generalmente se siguen criterios técnicos sobre impactos no relacionados con el bienestar social.
Económico		Uno de los criterios principales para la implementación de FNCE es del costo-eficiencia, por lo que muchas de las iniciativas están en función de la maximización de las inversiones públicas y no de las necesidades

		(cualesquiera que sean) de la población.
Ecológico	Las iniciativas buscan la protección de la Estructura Ecológica Principal y que el desarrollo de tecnologías limpias tenga impacto mínimos en ésta.	Algunas tecnologías para el uso de FNCE tienen impactos negativos locales que no pueden ser evitados: cambios en el paisaje, aumento del ruido, entre otros.
Político-normativo	En los últimos años, se ha venido desarrollando un marco regulatorio que sustente la protección ambiental e impulse el desarrollo de tecnologías asociadas con el uso de FNCE.	Es una respuesta a las demandas realizadas por organismos internacionales que de alguna manera tienen vínculos comerciales con el país, por lo que, si fuera por cuestiones de voluntad política, probablemente no tendría tantos avances como los que se han logrado en los últimos años.

Fuente: elaboración propia.

En los últimos años, el gobierno nacional ha buscado el fortalecimiento institucional y normativo para consolidar un marco de apoyo que permita la adecuación, implementación y mantenimiento de FNCE en el país. Esto ha sido reconocido por organizaciones internacionales como el World Energy Council en su índice de sostenibilidad energética, ubicando al país en el decimo sexto lugar a nivel mundial (subiendo 10 posiciones con respecto al 2012) y, cuya calificación es obtenida a partir de tres dimensiones: seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental. Para estas tres dimensiones, Colombia se destaca en sostenibilidad ambiental (cuarto lugar) y seguridad energética (quinto lugar), que se explica por el fortalecimiento de la red eléctrica nacional para la provisión del servicio en gran parte del territorio en la actualidad y el futuro cercano; y por el uso de energías renovables con bajas emisiones de GEI (página web World Energy Council, 2013).

4.2.2 Evaluación distrital

La política pública distrital ha realizado avances importantes en la incorporación de aspectos ambientales dentro de los planes de desarrollo urbano. No obstante, dadas las dinámicas desestructuradas que posee la ciudad, los resultados de la implementación de los distintos programas relacionados con el modelo energético han sido mixtos, al punto de que generan posiciones encontradas frente al balance que presentan las cifras oficiales y la percepción de la ciudadanía.

Con base en los cuatro componentes planteados, se establecen los alcances y limitaciones de las iniciativas verdes que se han llevado a cabo en la ciudad de Bogotá (Tabla 4-7).

Tabla 4-7. Balance general de las iniciativas para el uso de FNCE en la ciudad de Bogotá.

Componente	Alcances	Limitaciones
Sociocultural	Diversos indicadores que inciden sobre el bienestar humano muestran que la calidad de vida en la ciudad, aunque no ha mejorado sustancialmente, tampoco ha empeorado.	No ha habido la adecuada socialización de los programas, por lo que existe la percepción subjetiva de que la calidad de la gestión distrital ha disminuido significativamente, repercutiendo en el bienestar de la población.
Económico	El Distrito ha buscado la consecución de otros recursos disponibles para la financiación mediante la integración a diversas estrategias nacionales o a los MDL.	El modelo bajo el que se sigue trabajando es el de desarrollo económico, lo que hace dudar que haya cambios significativos en pro de la sostenibilidad.
Ecológico	Hay una integración de múltiples factores para el afrontamiento de los impactos negativos del Cambio Climático y aquellos generados por el modelo energético actual de la ciudad.	No parece estar clara la forma en que algunas de las políticas serán llevadas a cabo en la práctica, especialmente, aquellas que tienen que ver con los impactos del Cambio Climático.
Político-normativo	El PMM y la normatividad reciente han buscado la promoción en el uso de FNCE en los sectores críticos para la ciudad frente a los impactos negativos generados por el consumo de combustibles fósiles. Asimismo, se ha venido desarrollando una estructura integral que le permita afrontar a la ciudad diversas contingencias de manera efectiva.	Desafortunadamente, muchos proyectos nacen y se truncan con el cambio de gobierno distrital. La normatividad colombiana no sirve a los intereses de largo plazo de la población, lo que se traduce en una vulnerabilidad institucional que no me permite obtener resultados contundentes puesto que siempre están sujetos a la voluntad política del gobierno de turno.

Fuente: Elaboración propia.

La ciudad ha venido acoplándose a los esfuerzos de la política nacional para hacer las adecuaciones necesarias que permitan hacer frente a los múltiples impactos generados por el modelo energético. No obstante, los avances que se han obtenido hasta el momento son escasos debido al poco tiempo que ha transcurrido desde su implementación.

4.3 Propuestas internacionales

En esta sección se presenta una perspectiva mundial en el uso de energías renovables y aquellos países que se encuentran a la vanguardia del uso de estas fuentes; asimismo, se resumen y describen algunas propuestas implementadas en otras ciudades con características similares a Bogotá, las cuales resulten pertinentes debido a su eficacia y a su calidad técnica y científica.

4.3.1 Perspectiva mundial en el uso de FNCE

Es notable la preocupación de las principales potencias del mundo frente al manejo de las tecnologías verdes. Países de Europa y Estados Unidos han manifestado su preocupación frente a los desarrollos que los países asiáticos vienen haciendo en esta materia, pues su desarrollo frente a las tecnologías de energía renovable viene en ascenso siendo un sector de potencial crecimiento en mediano y largo plazo (para 2012, aproximadamente el 50% de los proyectos en Mecanismos de Desarrollo Limpio registrados ante la ONU fueron realizados por China (2363); mientras que la India registra 908 proyectos, es decir, 19% del total) (Fundación Torcuato Di Tella, 2012, p. 4).

Estos Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) surgen en el marco del Protocolo de Kyoto como estrategias flexibles que permiten que países industrializados, con compromisos de reducción y mitigación de los impactos ambientales generados por sus territorios, financien iniciativas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los países en vías de desarrollo.

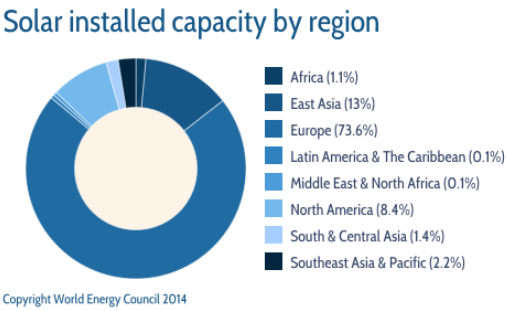
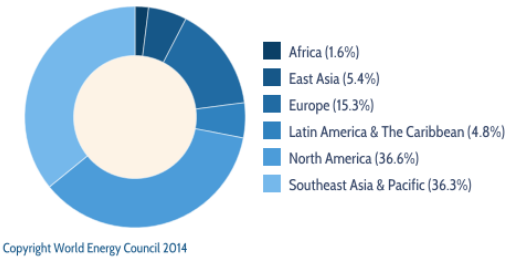
De esta manera, el desarrollo de proyectos basado en uso de FNCE y su implementación no solamente va dirigida a dar solución a los problemas de dependencia energética de los países más desarrollados, sino que además incluye estrategias de integración con los países en desarrollo, creando dinámicas de interrelación visibles respecto al problema de las emisiones de GEI mundiales y los efectos del cambio climático.

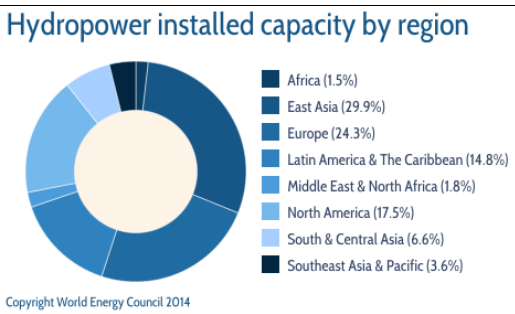
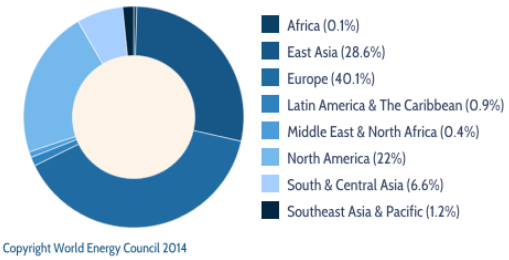
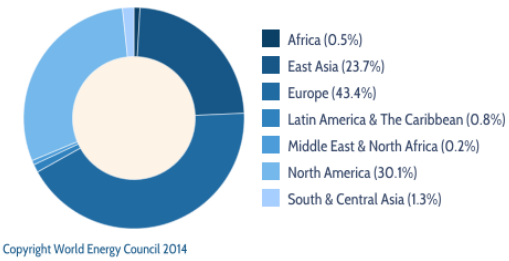
Inicialmente, se puede señalar que la fuerte dependencia al petróleo por parte de las potencias más industrializadas y la actual escasez de este recurso han provocado esta situación, lo cual ha conllevado a la toma de diversas decisiones políticas que han puesto en revisión los acuerdos internacionales frente a las medidas que debe adoptar cada nación para hacer frente a este problema. En este sentido, cabe resaltar que los intereses geopolíticos siempre han jugado un papel preponderante en el desarrollo de políticas de estado frente al tema y, asimismo, en el origen de conflictos armados que, actualmente, son más agudos debido a las necesidades energéticas mundiales.

Esta situación demuestra la importancia que tiene para las potencias mundiales su aseguramiento

energético lo cual se plantea como: aseguramiento del abastecimiento energético y desarrollo de tecnologías ambientales que les permitan salir de su dependencia frente a las fuentes convencionales. Como se observa en la Tabla 4-8, muchos de los esfuerzos realizados a nivel mundial en el desarrollo e implementación de tecnologías asociadas a FNCE se han dado en los países con mayor consumo de combustibles fósiles: Estados Unidos, China, Francia, Alemania, Japón, entre otros.

Tabla 4-8. Países líderes en el uso de fuentes no convencionales de energía y capacidad instalada.

Fuentes No Convencionales de Energía	Países líderes	Capacidad instalada y potencial de generación
Energía solar 	Europa destaca como la región con mayor capacidad instalada del mundo con el 73% del total mundial. Entre los países que se destacan están Alemania, España, Japón, Estados Unidos, Italia y Corea del Sur.	Capacidad mundial instalada de celdas fotovoltaicas: 26 GW (2009). Capacidad mundial instalada de calentadores de agua: 149 GW (2008).
Bioenergía	Suiza, Austria, Alemania, Japón y China son los principales consumidores. Brasil, Estados Unidos, Canadá son los principales productores.	No hay información disponible.
Energía geotérmica 	Dos regiones destacan en el uso de esta fuente: Norte América y el Sudeste Asiático y Pacífico Entre los países con mayor uso de energía geotérmica se encuentran: Estados Unidos, Filipinas, Indonesia, México, Italia, Nueva Zelanda e Islandia.	Capacidad mundial instalada: 15.5 GW (2011).
Energía hidroeléctrica	China, Brasil, la Unión Europea, Canadá y Estados	Capacidad mundial instalada: 1.31 TW

	Unidos.	(2011).
Energía eólica 	Estados Unidos, China, Alemania, España e India.	Capacidad mundial instalada de potencia eólica: 158 GW (2009).
Energía nuclear 	Las regiones con mayor capacidad instalada en el mundo son Norte América, Europa y el Este de Asia. Entre los países que se destacan por su producción, sobresalen Estados Unidos, Francia, Japón, Rusia y Alemania.	Capacidad mundial instalada: 373038 GW, distribuida en 439 reactores (2010).

Fuente: Elaboración propia con base en Corpoema-upme, 2010; World Energy Council, 2011.

Pero, además de esto, hay que tener en cuenta que el desarrollo de algunas de estas fuentes, no solo responde a la disponibilidad de recursos en cada país, sino que también hace parte importante la población que habita estos territorios y la demanda energética que implica sostenerla.

Hay una particularidad frente al uso de la energía nuclear y es que, por las características en las que se dio su desarrollo tecnológico y las implicaciones que puede conllevar su mal uso, es de difícil (si no imposible) acceso para los países de escasos recursos.

4.3.2 Experiencias en la implementación de FNCE y otras iniciativas verdes en Latinoamérica y el Caribe

Según la Fundación Torcuato Di Tella (2012), la región de América Latina y el Caribe registró 629 proyectos (13% del total) en MDL para el año 2012 (Tabla 4-9). Brasil y México lideraron la presentación y registro de proyectos para la región, mientras que Argentina presentó menor cantidad de propuestas y expectativa frente a la reducción de emisiones (p. 20).

Tabla 4-9. Total de proyectos presentados, proyectos registrados, y kCERs 2012 por país para la región.

País	Total de proyectos		Registrados	kCER2012	kCER2020
Brasil	429	35%	213	157.084	614.626
México	219	18%	144	60.385	218.045
Chile	121	10%	56	32.518	142.364
Colombia	94	8%	43	22.170	92.988
Perú	65	5%	31	13.668	105.790
Argentina	56	5%	29	30.078	87.623
Ecuador	44	4%	18	8.420	74.611
Honduras	37	3%	23	3.273	17.737
Panamá	32	3%	9	3.957	31.386
Uruguay	32	3%	9	2.152	21.210
Guatemala	28	2%	13	6.502	26.164
República Dominicana	19	2%	5	1.522	47.916

Fuente: Fundación Torcuato Di Tella, 2012, p. 19.

Una parte importante de estos proyectos corresponde a planes relacionados con el uso de energías renovables (56%) y otro tanto con la reducción de emisiones (28%). En este sentido, sobresalen los valores relativos correspondientes a proyectos hidroeléctricos (27% sobre total de proyectos y 14% sobre total de emisiones), de energía eólica (16%/5%) y de biomasa (12%/9%) (Fundación Torcuato Di Tella, 2012, p. 22).

Uso de FNCE en la región

Las principales FNCE utilizadas en Latinoamérica y el Caribe corresponden al uso de energía solar, energía hidroeléctrica y energía eólica. De acuerdo con información del World Energy Council (2011;

2013), la región tiene una capacidad total instalada de 101 MW producidos por energía solar, que representan el 0.1% del total mundial; siendo liderada por países de las Antillas Francesas como Guadalupe y Martinica y otros como Argentina, Perú y Brasil.

La energía hidroeléctrica tiene un gran impulso en la región, con 139 GW en capacidad instalada que suponen el 14,8% en el mundo. Los países líderes tanto en producción de energía a partir de esta fuente como en capacidad instalada son Brasil, Venezuela, Colombia y Argentina.

Finalmente, la energía eólica, constituye solamente el 0,9% de la capacidad instalada mundial (2.24 GW) siendo Brasil, Chile y Costa Rica los países con mayores esfuerzos en la instalación de paneles solares. Cabe anotar que en cuanto a producción de energía, Brasil, Argentina y Colombia ocupan los primeros puestos en la región. (World Energy Council, 2011).

En cuanto a otras fuentes de energía, la región tiende a concentrar su producción en algunos puntos estratégicos por las condiciones específicas requeridas para su explotación. Este es el caso de la energía geotérmica, cuya capacidad instalada (526 MW) y de producción en la región se concentran en la región de centro América, siendo El Salvador, Costa Rica, Guatemala y Nicaragua los países dedicados a su explotación.

En el caso de la energía nuclear, solo dos países en la región tienen actualmente plantas de generación, estos son Argentina y Brasil, cuya participación en el mundo es de apenas el 0,8%.

Iniciativas verdes en la región

En un estudio de la Economist Intelligence Unit (EIU) patrocinado por Siemens, se midió y evaluó el desempeño ambiental de 17 ciudades latinoamericanas de acuerdo al manejo que desde la política pública y la iniciativa privada se ha venido a dando a temas como uso de energía y emisiones de CO2, transporte, agua, gobernanza medioambiental, calidad del aire, uso de la tierra y los edificios, manejo de desechos y saneamiento. A partir de esta valoración, se construyó el Índice de Ciudades Verdes de América Latina que clasifica a las ciudades en 5 categorías (que van desde “muy por debajo del promedio” hasta “muy por encima del promedio”) de acuerdo al desempeño obtenido en cada uno de los 8 criterios individuales revisados, más uno de resultados generales que fueron valorados por un panel de expertos.

Los resultados generales muestran que la ciudad líder en Latinoamérica es Curitiba (Brasil), que se destaca en los temas de desechos, calidad del aire, gobernanza medioambiental, agua, saneamiento,

transporte y uso de energía y CO2. Mientras que, las ciudades con peor desempeño fueron Guadalajara y Lima (Tabla 4-10).

Tabla 4-10. Resumen de la evaluación del EIU de las principales ciudades de Latinoamérica, 2010.

Ciudad	Resultados generales	Energía y CO2	Transporte	Agua	Calidad del aire	Uso de la tierra y edificios	Desechos	Saneamiento	Gobernanza ambiental
Belo Horizonte	**4**	3	3	4	4	4	2	3	2
Bogotá	**4**	4	4	4	2	4	4	2	4
Brasilia	**4**	3	1	4	4	3	1	4	4
Buenos Aires	**2**	3	3	1	2	3	2	2	3
Ciudad de México	**3**	4	4	3	2	4	3	2	5
Curitiba	**5**	4	4	4	5	3	5	4	4
Guadalajara	**1**	2	2	1	3	3	3	2	1
Lima	**1**	3	3	2	2	1	2	2	2
Medellín	**3**	2	3	3	4	2	2	5	3
Monterrey	**3**	3	2	4	2	3	4	4	2
Montevideo	**2**	2	3	2	2	1	2	2	4
Porto Alegre	**3**	2	2	3	3	3	4	3	2
Puebla	**3**	2	2	3	3	3	4	3	3
Quito	**3**	3	4	3	4	2	4	2	3
Rio de Janeiro	**4**	4	3	2	3	4	3	3	5
Santiago de Chile	**3**	1	5	4	3	3	4	4	3
Sao Paulo	**4**	5	4	4	3	4	4	4	3

Fuente: Elaboración propia[18] con base en EIU, 2010.

En materia de uso de fuentes de energía alternativas, se destacó Brasil y las ciudades de Sao Paulo, Belo Horizonte y Curitiba. La primera de estas, mediante iniciativa privada, ha aprovechado el cierre

[18] Los puntajes fueron asignados de acuerdo a las cinco categorías propuestas en el texto, en donde 1 es igual a "muy por debajo del promedio" y 5 es igual a "muy por encima del promedio".

de dos rellenos sanitarios para la captura de gas metano y, a partir de su combustión, generar electricidad. Estos rellenos tienen una capacidad conjunta de 46 Megavatios, lo que la convierte en una de las iniciativas más grandes de recolección de metano actualmente. Entre los beneficios proyectados, se espera que los dos proyectos reduzcan las emisiones de carbono en aproximadamente 11 millones de toneladas hasta el 2012 (EIU, 2010, p. 20).

En el caso de Belo Horizonte, fue considerada líder nacional en la producción de energía solar, con un volumen de más de 12 colectores solares por persona que todo Brasil en conjunto. Además, en la construcción del estadio de fútbol para el mundial se incorporó esta tecnología que le permite a la estructura autoabastecerse y, cuando no se encuentra en funcionamiento, el excedente de su producción es vendido a la compañía local de energía.

En el tema de transporte, se destacaron Curitiba nuevamente, Bogotá (en donde se ha implementado el modelo de la ciudad brasileña de los Buses de Tránsito Rápido (BTR)) y Buenos Aires (además del uso de BTR, la ciudad ha hecho esfuerzos para ampliar la red de ciclovías y bicisendas). Estas iniciativas sobresalen por el impacto que tienen en la reducción de las emisiones de CO2 (con el reemplazo de la flota de buses antiguos, cuyos índices de contaminación son mucho mayores; y la incorporación de nuevas fuentes de energía sustentables en la red de buses), así como las mejoras que han representado en el bienestar de la ciudadanía (reducción en los tiempos de recorrido, acceso masivo al transporte público, y beneficios en la salud de los habitantes).

Respecto a calidad de aire, aunque la mayoría de las iniciativas han estado enfocadas en el manejo de tráfico vehicular y la eficiencia en el consumo de combustibles fósiles, cabe mencionar la política implementada en Santiago de Chile que, en vez de apuntarle al control y búsqueda de alternativas para los combustibles fósiles, ha implementado una estrategia de plantación de árboles en los corredores viales y parques de la ciudad que ayuden al control y disminución de material particulado emitido. Un estudio publicado en 2008 estableció que esta estrategia resulta ser mucho menos costosa que la conversión a combustibles fósiles más limpios (EIU, 2010, p. 27).

4.4 Alcances y limitaciones de las propuestas internacionales

En esta sección se presentan algunas consideraciones importantes para el panorama internacional y se evalúa la capacidad y las limitaciones existentes para implementar en Bogotá las propuestas presentadas en la tercera sección, específicamente, aquellas que se revisaron en la región de Latinoamérica y el Caribe. Acá, más que evaluar las propuestas como tal en cuanto a efectividad, se evalúa la viabilidad de la aplicación de estas propuestas en Bogotá.

4.4.1 Consideraciones en el ámbito internacional

En los últimos años, ha resultado imperativo para la comunidad internacional realizar una búsqueda de FNCE que suplan las necesidades actualmente cubiertas por el consumo de fuentes convencionales de energía (especialmente, las fuentes no renovables como los combustibles fósiles). Los esfuerzos realizados incluyen la firma del Protocolo de Kyoto y el cumplimiento de los compromisos adquiridos en este, así como la integración de los países en vías de desarrollo mediante la introducción de los MDL.

Pero, como todas las acciones antrópicas tienen impactos (a corto y largo plazo) en el ambiente y el desarrollo de las actividades humanas, es pertinente realizar un balance general de la situación internacional sobre las medidas de respuesta que se han adoptado frente al Cambio Climático y otros problemas vinculados con el consumo energético y la incorporación de FNCE en los modelos de cada país. A continuación, se revisan algunos aspectos positivos y negativos del uso de fuentes alternativas de energía, teniendo en cuenta la perspectiva integral de los cuatro componentes (Tabla 4-11).

Tabla 4-11. Balance general del ámbito internacional

Componente	Alcances	Limitaciones
Sociocultural	Incorporación de los países en vías de desarrollo en la búsqueda e implementación de FNCE para disminuir las emisiones de GEI mediante los MDL.	Crea una falsa percepción de optimismo tecnológico, en donde los individuos asumen que, eventualmente, se desarrollarán fuentes alternativas de energía más eficientes, lo que actúa en contra de la implementación de programas educativos o en donde se requiera participación activa del público general.
Económico	Impulsan el desarrollo de la industria y la tecnología, creando fuentes potenciales de empleo y desarrollo económico.	El desarrollo de tecnologías para la implementación de FNCE implica costos elevados en el corto plazo, lo que puede desincentivar el uso y mantenimiento, especialmente, en los países más pobres.
Ecológico	Las medidas tomadas para la reducción de emisiones de GEI han permitido disminuir los efectos negativos en los niveles locales del material particulado en el aire.	Algunas alternativas tienen impactos negativos importantes sobre el ambiente que no han sido contemplados por la incertidumbre que se deriva de su uso relativamente

		reciente.
Político-normativo	La firma de acuerdos internacionales para la promoción y cooperación en el desarrollo de tecnologías asociadas al uso de FNCE permite crear una consciencia global de los impactos generados por las actividades humanas.	La falta de compromiso de algunos países, limita los avances en la implementación de un marco normativo común para todas las naciones.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Consideraciones para la región de Latinoamérica y el Caribe

Las iniciativas implementadas en la región han buscado desarrollar tecnologías que tengan en cuenta las particularidades de cada ciudad, aprovechando las experiencias de otras ciudades con características similares. Este es el caso, por ejemplo, de los sistemas de transporte de Curitiba, Bogotá y Buenos Aires; el aprovechamiento de los residuos para la producción de biogás en Sao Paulo y Bogotá; las campañas para la reducción del consumo de agua en Buenos Aires y la ampliación de la cobertura del servicio (incluyendo la legalización de algunos sectores marginales) en Porto Alegre, Sao Paulo y Monterrey.

Al igual que en la subsección anterior, en la Tabla 4-12 se presenta un balance general del uso de las FNCE y la implementación de estrategias verdes en la región, de acuerdo a los componentes sociocultural, económico, ecológico y político-normativo.

Tabla 4-12. Balance general de la región Latinoamérica y el Caribe

Componente	Alcances	Limitaciones
Sociocultural	Se busca la inclusión de la población más vulnerable en el acceso a servicios públicos, lo que impacta significativamente en la reducción de las brechas de desigualdad social, muy características de algunos países de la región.	En muchos proyectos no se plantea un cambio en las representaciones socioculturales sobre los impactos ambientales generados a partir del consumo energético (en particular el uso del vehículo privado), disminuyendo los alcances de su implementación.
Económico	En general, se procura maximizar el gasto público, procurando obtener los mejores resultados posibles con los menores costos.	La incorporación de municipios aledaños dificulta la consecución de recursos para los programas, puesto que dificulta la aplicación efectiva en un territorio específico.

Ecológico	En la mayoría de los casos, se promueve el desarrollo de tecnologías renovables, procurando que los impactos en el ambiente sean mínimos y se propenda por mecanismos sostenibles en el largo plazo.	Dado que muchas ciudades de la región hacen uso de energía hidroeléctrica, el desarrollo de políticas públicas está enfocado hacia el sector transporte, ignorando otros impactos no contemplados por el uso de esta fuente de energía convencional sobre el ambiente: inundación de tierras para la agricultura, destrucción de áreas protegidas, cambio en los ecosistemas hídricos, entre otros.
Político-normativo	Se plantea la implementación de los proyectos desde una perspectiva integral, que tiene en cuenta las sinergias de los diferentes factores involucrados. Se ha procurado incorporar los estándares internacionales en el desarrollo de las regulaciones internas, de tal manera que se han creado sistemas de monitoreo y de calidad cuasi universales.	El crecimiento no planificado de las ciudades de la región dificulta la implementación efectiva de los programas, generando impactos no contemplados o empeorando las condiciones para la ejecución efectiva de las iniciativas.

Fuente: Elaboración propia con base en EIU, 2010.

Muchas de las iniciativas planteadas en otras ciudades, han servido de modelo para el desarrollo de políticas públicas en la ciudad de Bogotá que están orientadas a la reducción de los impactos ambientales generados por las actividades humanas. Entre estas, se encuentran el SITP y el uso de BTR, los controles por emisiones a vehículos, la ampliación de la red de ciclorrutas y la introducción de vehículos híbridos o eléctricos en el parque automotor.

Por otro lado, están otras estrategias que, por la especificidad y los costos de aplicación, no pueden ser implementadas en Bogotá, como son el caso de la plantación de árboles: la ciudad tiene problemas para manejar el espacio público, en particular con la disponibilidad de andenes para la circulación peatonal y la presencia masiva de vendedores ambulantes que, aunado con la falta de educación por el respeto a las áreas verdes, impide pensar que esta medida tendría un impacto positivo en el corto plazo.

4.5 Conclusiones generales

Con base en el análisis realizado a lo largo de este capítulo, a continuación se plantean unas conclusiones que delimitan los temas en torno a los cuales resulta pertinente centrar la discusión del uso de FNCE para el desarrollo de un modelo energético alternativo en la ciudad de Bogotá. Es de particular interés establecer las sinergias entre el agua y la producción de energía, la eficiencia económica y los impactos ambientales de la implementación de iniciativas verdes.

4.5.1 Sinergia entre la producción y consumo de energía y el agua

En el consumo energético urbano, es evidente la sinergia que se desarrolla a partir de la consecución de recursos, su utilización en diversos sectores con múltiples fines, y la disposición de los residuos generados. Es por esto que resulta crucial entender la forma en que se da esta interacción y, de esta manera, crear procesos que permitan aprovechar al máximo los recursos disponibles con el mínimo gasto posible.

Es de particular relevancia sinergias como las que se dan entre el consumo de alimentos y su respectiva generación de residuos (aprovechables de muchas formas: fertilización o producción de bioenergía, por ejemplo) así como entre el agua y la energía. En el caso de las ciudades con alta densidad poblacional y flujos de energía altos, este se ha convertido en un punto neurálgico para sostener las demandas de energía que requiere mantenerla en funcionamiento. Desafortunadamente, la relación entre agua y energía, cada vez más, se torna en una competencia por cuál es el sector que tiene prioridad en el consumo del recurso.

Según el informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo (2014), cada vez es mayor la presión generada sobre los recursos naturales y los ecosistemas, que viene dada por el aumento en la demanda de agua potable (ya sea por un mayor acceso a los servicios básicos o por la creciente población humana), al tiempo que ha aumentado el consumo energético (que sirve en muchos procesos de producción de energéticos o es directamente la fuente generadora). Al respecto, este informe dice:

> Hay situaciones en las que puede producirse una competencia por los recursos o puede existir un verdadero conflicto entre los objetivos de agua y energía, por lo que será necesario admitir ciertas concesiones. El proceso de concesiones puede requerir negociaciones y beneficiarse de las mismas, especialmente tratándose de cuestiones internacionales. En situaciones donde es probable que aumente la competencia entre los diferentes sectores de recursos, surge la necesidad de alcanzar concesiones deliberadas, que deberán ser gestionadas y controladas, preferiblemente mediante la colaboración y coordinación. Para ello, se necesitan mejores datos (y, a veces, nuevos) (UN, 2014, p. 11).

En este orden de ideas, las dinámicas de las sociedades, actualmente, giran en torno al desarrollo económico y social que conllevan formas específicas de consumo y disposición de los recursos. Es así

como, históricamente, la energía ha tenido una mayor atención por parte de los gobiernos, pues se vincula con indicadores de bienestar y salud pública.

Sin embargo, este no es el único criterio que tienen en cuenta los tomadores de decisiones al momento de establecer cuáles modelos energéticos adoptar y cómo mantenerlo. Dado que los recursos por definición son escasos y limitados, especialmente, en los países en vías de desarrollo; un criterio muy importante es el de la eficiencia económica que, muchas veces, no guarda relación con el bienestar o perjuicio que se obtiene de la implementación de una determinada política.

4.5.2 Eficiencia económica en el uso de FNCE

Una de las principales motivaciones para el uso de las FNCE es el costo de implementación y mantenimiento de los sistemas de generación eléctrica en zonas remotas. Por ello, los esfuerzos internacionales se han visto abocados a la proporción de tecnologías que tengan utilidad en ubicaciones rurales o aisladas de los sistemas principales de generación eléctrica. En el caso de la política nacional, este esfuerzo se ha enfocado en las ZNI y al uso y preferencia de unas fuentes sobre otras, atendiendo a las posibilidades que existen en estos territorios.

Aunque se ha tratado de hacer frente a la necesidad de cobertura, se ha dejado de lado otros componentes muy importantes para el desarrollo de las regiones remotas como pueden ser los posibles efectos negativos que tienen algunas FNCE en el área local de influencia de los proyectos. Así mismo, no se ha dado primacía a las opiniones de las comunidades locales sino que, el criterio principal de implementación de las fuentes de energía renovables tiene que ver con la costo-eficiencia económica de los proyectos.

Este criterio es particularmente perjudicial porque, en muchos casos, se ha llegado a comparar los beneficios privados obtenidos de la ejecución de un proyecto con los costos externos asumidos por una población. De ninguna manera es aceptable que actividades como la generación de empleo, el cobro de impuestos, y otros, sean tomados como beneficios sociales que pueden compensar la pérdida de bienestar generada a una comunidad local por la implementación de una actividad, obra o proyecto que busque la eficiencia económica en la implementación de FNCE en el país (Díaz, 2014).

En el sentido contrario, no se puede privar a una comunidad del acceso a un servicio básico para la subsistencia como es la energía por el hecho de que no es viable económicamente, pues se estarían vulnerando los derechos fundamentales consagrados en la Constitución para todos los ciudadanos de La República.

Además, aunque el consumo de las fuentes de energía consideradas como renovables aparentan no tener límite, lo cierto es que, los flujos de energía tienen un límite natural que viene dado por la energía solar que recibe el planeta y, como este flujo es constante, no es posible aumentar indefinidamente el consumo energético ni tampoco la producción de bienes y servicios de consumo humano (Daly, 2007).

Es por estas razones que el criterio de eficiencia económica para la implementación de FNCE, aunque importante, no debe ser el único o el más relevante para tomar decisiones en torno a la implementación de proyectos de oferta energética en el país.

En el mismo informe sobre Agua Y Energía, se hace referencia a este criterio:

> "Los enfoques innovadores para mejorar la eficiencia, tales como la cooperación intersectorial para aprovechar posibles sinergias, la planificación integrada de agua y energía para minimizar los costos y asegurar la sostenibilidad, la evaluación de las ventajas e inconvenientes a nivel nacional, las intervenciones por el lado de la demanda y la descentralización de los servicios, pueden ayudar a superar la financiación deficitaria en infraestructuras que, si bien es significativa en el sector energético, es muy superior en el sector hídrico." (UN, 2014, p. 7).

En este comentario queda explícita la necesidad de integrar los componentes asociados a la sinergia que se genera en el consumo de energía y cabe añadir, de todos los actores de la sociedad y las consideraciones pertinentes para intervenir sobre el ambiente, de tal manera que se pueda lograr obtener la mayor cantidad de bienestar social posible sin sacrificar la sostenibilidad ambiental.

4.5.3 Impactos ambientales no contemplados como consecuencia de la implementación de iniciativas verdes

Las iniciativas verdes representan un avance importante en consumo responsable de recursos naturales y en el mantenimiento de una sinergia más armoniosa con el entorno natural que rodea a las grandes urbanizaciones; no obstante, es necesario recordar que no es posible la sustitución de las fuentes de energía convencionales sin generar algún tipo de impacto ambiental; es decir, el uso de FNCE no garantiza que no se siga teniendo algún tipo de incidencia sobre los cambios que se dan en el entorno local. Los sistemas funcionan como un organismo vivo y es por esto que surge la necesidad de pensar en las sinergias mediante las cuales se puede aprovechar ese comportamiento sistémico. Al respecto, las Naciones Unidas comentó:

> "Existe una gran variedad de oportunidades para producir conjuntamente servicios energéticos e hídricos y explotar los beneficios de una sinergia, tales como plantas combinadas de energía y desalinización, plantas de cogeneración, la utilización de fuentes de agua alternativas para el enfriamiento de plantas térmicas, e incluso la recuperación de energía de aguas residuales. Además de la búsqueda de nuevas soluciones técnicas, se necesitan nuevos marcos políticos y económicos para promover la cooperación y la planificación integrada entre los sectores. (UN, 2014, p. 7).

El desarrollo tecnológico puede suplir algunas carencias (ya sea en eficiencia, cobertura, calidad) en el sistema pero, si no hay un compromiso social desde lo político, lo económico y lo cultural para complementar este avance, difícilmente se logrará optimizar el inmenso consumo energético de los grandes asentamientos urbanos y se pone en riesgo el bienestar de las sociedades del presente y del futuro.

Capítulo 5: Recomendaciones generales

A partir de la revisión de algunas de las experiencias más relevantes frente al uso de FNCE en Bogotá, y en los ámbitos nacional e internacional, se plantean unas recomendaciones generales para los tomadores de decisiones que deben tenerse en cuenta; especialmente, en torno a las sinergias que se generan respecto a la producción y el consumo de energía.

Adicionalmente, se exponen unas recomendaciones generales para la ciudad de Bogotá, relacionadas con las experiencias revisadas en la implementación de iniciativas verdes en el contexto bogotano, y la necesidad de desarrollar políticas públicas orientadas a la sostenibilidad del sistema energético de la ciudad.

El capítulo se divide en dos secciones: 1) recomendaciones generales en torno al modelo energético actual que se deriva de las dinámicas económicas actuales, y; 2) recomendaciones para la construcción de un modelo energético sostenible que tenga en cuenta la visión sistémica de la urbe bogotana.

5.1 Recomendaciones generales en torno al modelo energético

El modelo energético actual es insostenible en el largo plazo. Dada su relación con el crecimiento económico como modelo de desarrollo y los presupuestos que fundamentan su implementación, es evidente que no se está aumentando el bienestar humano en general sino que, por el contrario, se está aumentando el riesgo inminente de una catástrofe ecológica. Es imperativo un cambio en el modelo de desarrollo de las sociedades occidentales, y en particular, de la ciudad de Bogotá; cuyo crecimiento desordenado y sin contención están poniendo en peligro la sostenibilidad del asentamiento urbano y del ecosistema que lo soporta.

Desafortunadamente, es necesario reconocer que la política no está encaminada a realizar ese cambio; en especial porque las políticas de apoyo de las entidades de carácter nacional así como organismos internacionales y multilaterales promueven el actual modelo de desarrollo (por ejemplo, a partir de los MDL) y, en el corto y mediano plazo, no hay visos de que la política económica del país vaya a girar en torno a la sostenibilidad ambiental y no solamente económica.

5.1.1 Contexto nacional

Aunque el modelo energético del país gira en torno al uso de energía hidráulica y térmica para los usuarios fijos, se debe incentivar el uso de fuentes no convencionales de energía para este tipo de usuarios, de tal manera que permita disminuir la dependencia del SIN a este tipo de fuente (y por

consiguiente a las vulnerabilidades que conlleva su uso) y aumente la eficiencia en el consumo energético y la autonomía de estos.

Para ello, los avances en el desarrollo tecnológico han permitido la generación de energía para autoconsumo mediante diversos mecanismos de implementación (especialmente, en el área residencial). Un ejemplo de estos mecanismos es la instalación de paneles solares y turbinas de eje vertical para la generación de energía eléctrica en fuentes fijas y su autoconsumo. Sin embargo, estos mecanismos pueden tener una desventaja y es que, sin la regulación adecuada por parte de los organismos de control, el usuario podría terminar pagando por la energía adicional que genera y, en últimas, desincentivando el uso de este tipo de equipos.

Por otra parte, se han venido haciendo progresos en la definición de un marco legal que permita el avance en la cobertura y la implementación de tecnologías eficientes; sin embargo, debe prestarse especial atención a los comportamientos culturales en cuanto al consumo de energía y el uso de FNCE. Es indudable que deben hacerse esfuerzos por parte del Gobierno para crear y mantener una cultura ciudadana de consumo responsable de los recursos energéticos (y naturales, en general) y del impacto que generan sobre el metabolismo de los asentamientos urbanos. Por ello, no basta con ejercer medidas de control básicas, puesto que no le apunta a crear un cambio en la representación social sobre el consumo energético que puede tener efectos duraderos en el largo plazo, sino que solo aplica soluciones superficiales al problema de fondo: cambio en la utilización de las fuentes convencionales de energía por fuentes más limpias y más eficientes.

Sin embargo, es importante aclarar que campañas de educación ciudadanas como las que se vienen realizando desde hace algunos años (tanto en el nivel nacional como en el local) resultan insuficientes y hasta contraproducentes para el gasto público, especialmente, porque se le está haciendo énfasis a un modelo educativo pasivo, en donde la transmisión de la información no pasa a formas prácticas de apropiación del conocimiento, solo pasa por folletos que nadie lee y espacios de educación que no conllevan a proponer cambios en nada.

5.2 Recomendaciones en torno al modelo energético actual de Bogotá

Para el caso bogotano, el esfuerzo sobre la implementación de FNCE se ha visto abocado a la búsqueda de alternativas energéticas en el sector transporte, cuyos impactos ambientales son considerables y requieren de atención inmediata. No obstante, existen otras áreas de potencial desarrollo para el uso de FNCE que permitan mantener y mejorar la calidad del servicio, así como disminuir la dependencia al uso de fuentes masivas de generación de energía (especialmente la hidroeléctrica).

El uso de energía eléctrica en el sector transporte debe tener en cuenta las complejas interacciones que tiene con el agua y la energía generada a partir de esta fuente. Los tomadores de decisiones deben establecer los riesgos que se presentarán si se implementase masivamente el uso de automóviles eléctricos y los retos que debe asumir el SIN en cuanto a capacidad instalada y oferta del servicio de energía en una ciudad con un crecimiento difícil de controlar como Bogotá.

5.2.1 El caso del uso de fuentes alternativas de energía en el sector transporte

El uso de energía eléctrica en el sector de transporte en la ciudad de Bogotá puede mejorar significativamente la calidad del aire de la ciudad. Desafortunadamente, hay patrones culturales que actualmente impiden que la implementación de esta tecnología se haga a gran escala, especialmente por las representaciones asociadas al uso de este tipo de vehículos (son más lentos, pueden quedarse varados en cualquier parte, su vida útil es menor, requieren de mayor mantenimiento, no hay suficientes estaciones de recarga disponibles).

En el caso hipotético de que se diera una masificación del uso de esta FNCE en el sector transporte, esto conllevaría una serie de impactos socioeconómicos a considerar. Uno de ellos tiene que ver con la capacidad del SIN para asumir esa demanda energética y la competencia que se crearía con el consumo de fuentes fijas (residencial, industrial, etc.), lo que potencialmente podría generar una caos en la prestación del servicio, si no se prevén este tipo de situaciones.

En cuanto al uso de buses híbridos en el SITP, aunque es un proyecto que apenas se está implementando, representa un avance importante en la ciudad, especialmente en lo que a emisiones de GEI se refiere. Aún no es posible hacer el cambio total de la flota de vehículos por la situación en la que se encuentra el Sistema (específicamente, porque no se ha terminado de integrar todo el servicio de transporte tradicional), por lo que se hace necesario fortalecer otros frentes estratégicos mientras este cambio tecnológico y cultural sucede.

El uso de las bicicletas como alternativa de transporte ha respondido más a una política de cambio en las prácticas de salud y recreación de la ciudad que a un problema de movilidad y contaminación ambiental. En este sentido, la administración distrital debe prestar especial atención a los cambios que se han venido dando respecto al uso de la bicicleta por parte de la población.

No basta con ampliar las zonas de circulación para bicicletas si éstas no son integradas con la red de circulación de vehículos pues, como se pudo observar en el último año, con la implementación de carriles exclusivos para los usuarios de este medio de transporte, hubo descontentos entre los

bogotanos por la falta de previsión respecto a la circulación de automóviles y buses de transporte público sobre estos nuevos carriles[19].

Además, se hace necesario el cambio en las representaciones culturales que se tienen sobre la forma de circulación en la ciudad. Aunque, normativamente, se le da prelación a los peatones; en la práctica, esto está muy lejos de la realidad: los usuarios de vehículos no respetan a los peatones, ni la señalización usada para facilitar su movimiento y, en el mismo sentido, los peatones no son conscientes de la importancia de hacer uso de estos espacios ni de su lugar en la "jerarquía de circulación pública".

Otra alternativa más drástica tiene que ver con la organización de la ciudad y el modelo de desarrollo. Los problemas de movilidad y el uso intensivo de transporte público tienen que ver con la distribución económica, social y cultural que presenta la ciudad. Más allá de plantear una segregación social, la realidad de la capital del país es la de un asentamiento urbano con un crecimiento y desarrollo de las áreas metropolitanas que no tiene una correspondencia con el acceso creciente y equitativo a los medios de producción: las personas que viven en la periferia deben trasladarse hasta el centro para poder acceder a puestos de trabajo. Es por ello que muchas personas tienen que hacer uso del servicio público de transporte, pues es como trasladarse a otra urbanización completamente distinta para poder trabajar.

5.2.2 El caso del proyecto de extracción de biogás en el Relleno Sanitario Doña Juana

Aunque los alcances en cuanto a generación y consumo de energía a partir de la extracción de biogás en el Relleno Sanitario de Doña Juana son limitados al área de influencia del proyecto, esta es una oportunidad para la ciudad para aumentar la eficiencia energética mediante el aprovechamiento de materia orgánica y la reutilización de materiales reutilizables en diversos campos de producción.

Por esta razón, se debe tener en cuenta que proyectos como los del relleno sanitario solo tienen sentido cuando las políticas de disposición de desechos se articulan sobre la premisa de un consumo responsable. En este sentido, la integración con otro tipo de proyectos implica la consideración de otros modelos para la disposición final de residuos no aprovechables, más allá de volverlos un problema para las generaciones futuras.

Esto implica que la integración de proyectos que tomen en cuenta la sinergia de la cadena de producción y consumo ha empezado en la ciudad y deben seguir apoyándose este tipo de iniciativas

[19] En prensa: http://www.caracol.com.co/noticias/bogota/este-ano-comenzarian-carriles-exclusivos-para-sitp-y-bicicletas/20140206/nota/2073470.aspx; http://www.caracol.com.co/noticias/bogota/8203listo-completamente-el-bicicarril-de-la-carrera-50/20140610/nota/2267283.aspx

en conjunto con otro tipo de proyectos relacionados como son las campañas de disposición adecuada de los residuos generados (como el programa Basura Cero de la actual administración) así como un consumo más responsable de los recursos energéticos o la puesta en funcionamiento de las plantas de reciclaje, entre otros. Cabe aclarar que el Programa Basura Cero en el marco de Plan de Desarrollo 2012-2016: Bogotá Humana, de la administración distrital fue creado con este objetivo; no obstante, los problemas asociados con algunas de las decisiones tomadas en torno al mismo, opacan el impulso de la iniciativa, desdibujando los alcances y limitaciones que haya logrado hasta el momento.

5.2.3 El caso del plan de mitigación y prevención de los efectos del cambio climático

Si bien, el plan aún se encuentra en construcción, vale la pena considerar las oportunidades y retos que representa en política pública. Además de establecer que el Cambio Climático es una realidad a la que las sociedades humanas deben hacer frente en la actualidad, es un paso adelante en la integración de muchos componentes asociados con la sinergia de la producción y consumo de energía.

Esto es notorio con el eje central respecto al cual se está redactando el documento: el agua. No solo tiene en cuenta aspectos como el consumo, el tratamiento de las fuentes hídricas y la disposición de desechos; además, señala la importancia de articular todos los actores de la sociedad en torno al cuidado y defensa de los recursos naturales.

5.2.4. Recomendaciones para una Política Distrital

Como hemos señalado hasta aquí, el modelo energético desarrollado en Bogotá plantea serios desafíos en materia energética y más aún, cuando las acciones de política pública y de gobierno han sido fragmentadas y desarticuladas; desaprovechando las múltiples sinergias de las FNCE. La respuesta distrital ha estado encaminada a responder a otros propósitos que a una verdadera apuesta para cambiar y/o reorientar el modelo energético actual.

Definir una política pública distrital específica en materia energética y ambiental, podría entregar un horizonte de sentido a los desafíos venideros de mediano y largo plazo, ubicando y posicionando la temática tratada como prioridad en la agenda pública ante el absurdo crecimiento de la escala económica y la limitada disponibilidad de energía. Adicionalmente fomentaría una nueva arquitectura institucional con responsables concretos que permitan aprovechar las sinergias, no sólo de las *FNCE,* sino de las políticas sectoriales de la ciudad. A continuación se presentan algunos elementos para dicha política:

- Establecer un responsable institucional con funciones y competencia para la gestión, desarrollo e implementación de la política energética distrital.

- Creación de una instancia distrital que permita la articulación, armonización y generación de sinergias de las políticas ambientales, energéticas y sectoriales de la ciudad para la consolidación del Plan Indicativo de Política y el Plan de Acción distrital.
- Establecer en la nueva política energética de la ciudad, el *autoconsumo* residencial a través de las FNCE, como *mínimo vital* de acceso universal para el fomento y uso de nuevos dispositivos que mitiguen el uso e impacto de las FCE, fortalezcan la seguridad energética de los hogares capitalinos y hagan frente a los desafios venideros (variabilidad climática y estrés hídrico).
- Establecer metas e indicadores energeticos consistentes para el seguimiento de la nueva política, los cuales brinden información actualizada sobre los desarrollos institucionales y así conocer de manera oportuna los avances en la materia.
- Crear el *Sistema Distrital de Monitoreo Energético* en asocio con la UPME y Observatorios energeticos para el seguimiento y monitoreo de los consumos e impactos en la ciudad, para la generación de reportes en tiempo real, que brinden elementos de análisis a los tomadores de decisiones.
- Generar nuevas campañas ciudadanas de educación ambiental y fomento de FNCE (enfoque activo) que permitan la apropiación ciudadana de prácticas ambientales sustentables a través del reconocimiento de la *energía* como fuente limitada para el desarrollo.
- Crear espacios de articulación con el sector privado y universitario para el fomento a la innovación e implementación de FNCE.

Bibliografía

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). Plan Distrital de Adaptación y Mitigación a la Variabilidad y el Cambio Climático. Documento en construcción. Recuperado de http://oab.ambientebogota.gov.co/apc-aa-files/57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a/Documento_de_trabajo_Plan_Distrital_Adaptacion_cambio_climatico.pdf

Ardila, G. (2011). ¿Existe una problemática ambiental en Bogotá? Principales problemas ambientales. *Foro Nacional Ambiental –FNA-*, documento de análisis 2.

Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente –AIDA-. (2009). Grandes represas en América, ¿peor el remedio que la enfermedad? Principales consecuencias ambientales y en los derechos humanos y posibles alternativas. Recuperado de http://www.aida-americas.org/sites/default/files/InformeAIDA_GrandesRepreseas_BajaRes_1.pdf

Ayres, R.U., & Kneese, A.V. (1969). Production, consumption, and externalities. *The American Economic Review*, 59, 282–297.

Baumgärtner, S. (2004). Thermodynamic models. In: J. Proops and P. Safonov (Eds), Modelling in Ecological Economics, Chel-tenham, UK, and Northampton, MA, USA: Edward Elgar, 2004, 102-129.

Benavides, J.A. (2011). Revisión de Resultados Caso Colombiano. [Presentación] Observatorio de Energías Renovables para Latinoamérica y el Caribe, Asunción, Paraguay. Recuperado de http://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/presentation_jairo_benavides_02.pdf

Blanco, J. (2013). Panorama del cambio climático en Colombia. *Serie Medio Ambiente y Desarrollo No. 146*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Chile: Santiago.

Boulding, K.E. (1966). The economics of the coming spaceship earth. In: Jarrett, H. (Ed.), Environmental quality in a growing economy. John Hopkins University Press, Baltimore, USA.

Burness, S., Cummings, R., Morris, G., & Paik, I. (1980). Thermodynamic and economic concepts as related to resource-use policies. *Land Economics*, 6 (1), 1-9.

Cal y Mayor Asociados –C&M-. (2006). Formulación del Plan Maestro de Movilidad para Bogotá D.C., que incluye ordenamiento de estacionamientos. Alcaldía Mayor de Bogotá.

Ceddia, M.G., Sedlacek, S., Bardsley, N.O., & Gomez-y-Paloma, S. (2013). Sustainable agricultural intensification or Jevons paradox? The role of public governance in tropical South America. *Global Environmental Change*, 23, 1052-1063.

Centro de Estudios para el Desarrollo Sostenible –CEID-. (2009). Congreso Internacional de Medio Ambiente: "Cambio Climático: retos y oportunidades para Colombia". Memorias del Segundo Congreso Anual de Medio Ambiente.

Comisión Mundial de Represas -CMR-. (2000). Represas y desarrollo: un nuevo marco para la toma de decisiones. Una síntesis.

Conde-Álvarez, C. y Saldaña-Zorrilla, S. O. (2007). Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación. Revista Ambiente y Desarrollo. 23 (2): 23 – 30.

Concejo de Bogotá. (2011). Proyecto de Acuerdo "por medio del cual se ordena a la Administración Distrital la formulación del Plan Distrital de Eficiencia Energética para Bogotá D.C.".

Consorcio Energético Corpoema. (2010). Formulación de una plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). Informes de avance 1 y 2 presentados a Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-.

Contraloría de Bogotá. (2011). Informe final de la auditoría abreviada transversal con el sector hábitat del proyecto de tratamiento y aprovechamiento del biogás proveniente del Relleno Sanitario Doña Juana. Auditoría abreviada transversal a la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos –UAESP-. Bogotá, D.C.

Costa, C. (2008). La adaptación al cambio climático en Colombia. Revista Virtual Redesma, 2 (3). Recuperado de http://revistavirtual.redesma.org/vol5/articulo8.php?id=c1

Craig, P.P. (2001). Energy limits to recycling. *Ecological Economics*, 36, 373-384.

Daly, H.E. (1968). On Economics as a Life Science. *Journal of Political Economy*, 76, 392-406.

Daly, H.E. (1986) Thermodynamic and economic concepts as related to resource-use policies: Comment. *Land Economics*, 62 (3), 319-322.

Daly, H.E. (1992). Is the entropy law relevant to the economics of natural resources? Yes, of course it is! *Journal of Environmental Economics and Management*, 23, 91-95.

Daly, H.E. (2007). Ecological Economics and Sustainable Development, Selected Essays of Herman Daly. *Advances in Ecological Economics.* Edward Elgar Publishig Limited. United Kingdom: Cheltenham.

Departamento Nacional de Planeación –DNP-. (2012). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. ABC: Adaptación bases conceptuales. Marco conceptual y lineamientos.

Díaz, C.E. (2014). Enfoques teóricos y metodológicos de las compensaciones ambientales en el contexto de la Evaluación de Impacto Ambiental en Colombia [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia.

Econometría Consultores. (2010). Caracterización energética del sector transporte carretero de carga y pasajeros, urbano e interurbano de Colombia. Informe de resultados de la consultoría para la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-.

Economist Intelligence Unit –EIU-. (2010). Índice de ciudades verdes de América Latina. Siemens AG, Comunicaciones Corporativas y Asuntos Gubernamentales, Alemania: Munich.

Empresa de Energía de Bogotá -EEB-. (2014). Informe de actividades solicitadas por derecho de petición.

Fedesarrollo & Empresa de Energía de Bogotá –EEB-. (2013). Análisis De La Situación Energética De Bogotá y Cundinamarca. Colombia: Cuadernos Fedesarrollo, 45.

Fundación Torcuato Di Tella. (2012). Análisis del flujo de proyectos del Mecanismo para un Desarrollo Limpio en América Latina y el Caribe. Documento de trabajo No. 1.11.2012, elaborado para REGATA y PNUMA.

García-Ubaqué, C.A., Vaca-Bohorquez, M.L., & Talero, G.F. (2013). Aprovechamiento de biomasa peletizada en el sector ladrillero en Bogotá-Colombia: análisis energético y ambiental. *Información Tecnológica*. 24 (3), 115-120.

Georgescu-Roegen, N. (1971). The Entropy Law and the Economic Process. Harvard University Press, Cambridge, MA.

IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguavio, Instituto Alexander von Humboldt, Parques Nacionales Naturales de Colombia, MADS, DNP. (2012). Algunas señales de la vulnerabilidad al clima cambiante en la Región Bogotá – Cundinamarca. Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá Cundinamarca (PRICC).

IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguavio, Instituto Alexander von Humboldt, Parques Nacionales Naturales de Colombia, MADS, DNP. (2014). Gestión del Cambio Climático con Enfoque Territorial en la Región Capital: Apoyo al fortalecimiento institucional y a los tomadores de decisiones. Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá Cundinamarca (PRICC).

International Energy Agency –IEA-. (2012a). Key World Energy Statistics. Paris, France.

International Energy Agency –IEA-. (2012b). Co2 Emissions From Fuel Combustion Highlights. Paris, France.

International Energy Agency –IEA-. (2012c). World Energy Outlook. Paris, France.

International Energy Agency –IEA-. (2012d). Energy Technology Perspectives: Pathways to a clean Energy System. France.

Intergovernmental Panel on Clinate Change –IPCC-. (2000). Special Report: Emissions scenarios. Summary for policymakers.

Intergovernmental Panel on Clinate Change –IPCC-. (2007). Special Report: Emissions scenarios. Summary for policymakers. Recuperado de http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change –IPCC-. (2011). Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático. Resumen para responsables de políticas y resumen técnico.

Intergovernmental Panel on Clinate Change –IPCC-. (2013). Summary for policymakers. Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf

Kaarhus, R. (2000). Økologisk antropologi. Natur, kultur og subsistensformer. In: Nielsen, F.S., Smedal, O.H. (Eds.), Mellom himmel og jord. Tradisjoner, teorier og tendenser I sosialantropologien. Fakbokforlaget, Bergen, Norway.

Kåberger, T., & Månsson, B. (2001). Entropy and economic processes — physics perspectives. Ecological Economics, 36, 165-179.

Khalil, E.L. (1990). Entropy law and exhaustion of natural resources: Is Nicholas Georgescu-Roegen's paradigm defensible? *Ecological Economics*, 2, 163-178.

Koven, C.D., Ringeval, B., Friedlingstein, P., Ciais, P., Cadule, P., Khvorovstyanov, D., Krinner, G., & Tarnocai, C. (2007). "Permafrost carbon-climate feedbacks accelerate global warming". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* Recuperado de http//www.pnas.org/content/108/36/14769.full.pdf+html

Lozada, G.A. (1991) A defense of Nicholas Georgescu-Roegens's paradigm. *Ecological Economics*, 3, 157-160.

Lozada, G.A. (1995). Georgescu-Roegens's defence of classical thermodynamics revisited. *Ecological Economics*, 14, 31-44.

Macías A.M., & Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-. (2014). Estudio de generación eléctrica bajo escenario de cambio climático. Con el apoyo de United States Agency – International Development –USAID-.

Martinez-Alier, J. (2009). Social Metabolism, Ecological Distribution Conflicts, and Languages of Valuation. *Capitalism Nature Socialism*, 20(1), 58-87. M

Medina S.M., & Torres, E. (2008). Proyecto de reducción de emisiones por generación de energía renovable con el uso del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), Caso Pequeña Central Hidroeléctrica Santa Ana, EAAB-ESP. *Avances, Investigación en Ingeniería*, 9, 6-19.

Ministerio de Minas y Energía –MME-. (2007). Balances Energéticos 1975 – 2006. Unidad de Planeación Minero Energético –UPME-.

Ministerio de Minas y Energía –MME-. (2010). Informe Final: Programa de uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales – PROURE. Colombia, Recuperado en http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/ENERGIA/URE/Informe_Final_Consultoria_Plan_de_accion_Proure.pdf

Ministerio de Minas y Energía –MME-. (2011). Aplicación de la Norma ISO 50001, sistemas de gestión de la energía [presentación]. Ciclo de videoconferencias, SENA.

Ministerio de Minas y Energía –MME-. (2011). "Sector Eléctrico". Recuperado en http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Memorias/Memorias_2011/05-ENERGIA.pdf

Ministerio de Minas y Energía –MME-. (2013). "Energía Eléctrica" en: Memorias del Congreso de la República. Recuperado en http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/Memorias/Memorias_2013/4-Energia.pdf

Naredo, J.M., & Valero, A. (1999). Desarrollo Económico y Deterioro Ecológico. Fundación Argentaria.

National Oceanic and Atmospheric Administration -NOAA-. (2013). Carbon Dioxide at NOAA's Mauna Loa Observatory reaches new milestone: Tops 400 ppm. Recuperado en: http://www.esrl.noaa.gov/news/2013/CO2400.html

Norwegian Refuge Council –NRC-. (2012). "14.9 million uprooted by natural disasters" [en prensa]. Recuperado de http://www.nrc.no/?did=9140157

Norgaard, R.B. (1986). Thermodynamic and economic concepts as related to resource-use policies: Synthesis. *Land Economics*, 62 (3), 325-328.Townsend, 1992;

Observatorio Ambiental de Bogotá -OAB-. (2014). Indicadores ambientales. Información consultada en la página web http://oab.ambientebogota.gov.co/

Odum, E. (1953). Fundamentals of ecology. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 383 p.

Odum, H.T. (1971). Environment, power and society. New York: Wiley.

Organización Mundial de la Salud –OMS-. (1994). Epidemiología Ambiental: Un proyecto para América Latina y el Caribe. Recuperado en http://www.bvsde.paho.org/bvsea/e/fulltext/epidemio/epidemio.pdf

Organization of the Petroleum Exporting Countries –OPEC-. (2012). World Oil Outlook. Vienna, Austria.

Pareto, V. (1906). Manual of political economy. Trad. Schwier A. (1971). New York: Kelley A.M. 372 p.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo –PNUD-. (2010). El Cambio Climático en Colombia y en el Sistema de Naciones Unidas. Bogotá, Colombia.

Prias, O.F. (2010). Programa de uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes no convencionales –PROURE-. Plan de Acción 2010-2015. Informe final de consultoría para Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.

Pulido, A.D. (2012). Inventario de Emisiones de Gases Efecto Invernadero para la Región Cundinamarca – Bogotá. Tesis de Maestría no publicada, Universidad Nacional. Colombia, Bogotá D.C.

Red de Monitoreo de Calidad del Aire en Bogotá – RMCAB-. (2011). Informe anual: calidad del aire de Bogotá. Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá.

Rodríguez, H. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingenieria*, Universidad de los Andes, 28, 83-89.

Rodríguez, R. (2010). Eficiencia energética como medida de mitigación del cambio climático [presentación]. Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-.

Rojas, N. (2007). Aire y problemas ambientales de Bogotá. *Foro Nacional Ambiental*. Documento de políticas públicas No. 18.

Røpke, I. (2004). The early history of modern ecological economics. *Ecological Economics,* 50, 293–314.

SCS Engenieers. (2007). Informe de evaluación: Relleno Sanitario Doña Juana, Bogotá, Colombia. Landfill Methane Outreach Programme from United States Environmental Protection Agency.

Secretaría Distrital de Ambiente –SDA-. (2009). Plan de Gestión Ambiental del Distrito Capital (PGA), 2008-2038. Documento Técnico de Soporte, Alcaldía Mayor de Bogotá.

Secretaria Distrital de Ambiente –SDA-. (2011a). Informe Anual de Calidad de Aire de Bogotá. Bogotá D.C., Colombia.

Secretaría Distrital de Ambiente (2011b). Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB subdirección de calidad del aire, auditiva y visual. Bogotà D.C., 15 de septiembre. Recuperado: file:///Users/augustoforero/Downloads/11.%20SDA%20-%20RED%20DE%20MONITOREO%20DE%20CALIDAD%20DEL%20AIRE%20DE%20BOGOTA.pdf

Secretaría Distrital de Ambiente (2011c). Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá. Secretaria Distrital de Ambiente. Colombia, Bogotá D.C.

Secretaría Distrital de Ambiente –SDA-. (2014). Informe de actividades solicitadas por derecho de petición.

Secretaria Distrital de Movilidad –SDM-. (2014). Sección Movilicese en Bogotá, en bicicleta. Información consultada en la página web http://www.movilidadbogota.gov.co/?sec=8

Transmilenio S.A. (2014). Environmental Management System. Información consultada en la página web http://www.transmilenio.gov.co/es/articulos/environmental-management-system

Toledo, V. (2013). El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 34(136), 41-71.

UNESCO. (2014). Agua y Energía: Resumen ejecutivo. Informe de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. UN Water Report. Italia.

United Nations Environment Programme –UNEP-. (2007). adaptation to climate change key challenge for arctic peoples and arctic economy: thawing permafrost, melting sea ice and significant changes in natural resources demands comprehensive sustainable development plan. Recuperado de http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=504&ArticleID=5554&l=en

United Nations Environment Programme –UNEP-. (2011). Keeping Track of Our Changing Environment: From Rio to Rio+20 (1992-2012). Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. En: http://www.unep.org/GEO/pdfs/Keeping_track.pdf

United Nations Environment Programme –UNEP-. (2011). Renewable energy: investing in energy and resource efficiency. Netherlands.

United Nations Environment Programme –UNEP-. (2012). GEO5. Perspectivas del medio ambiente mundial. Resumen para responsables de políticas. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Malta.

United Nations Environment Programme –UNEP-. (2013). 2012 Anual Report. Recuperado de: http://www.unep.org/annualreport/2012/

Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos –UAESP-. (2014). Informe de actividades solicitadas por derecho de petición.

Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-. (s.f.). Plan Indicativo de Expansión de Cobertura de Servicios de Energía Eléctrica. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.

Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-. (2008). Proyección de demanda de energía eléctrica y potencia. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.

Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-. (2013). Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector minero energético colombiano frente al cambio climático. Producto No. 3, informe final, unión temporal ACON-OPTIM. Bogotá D.C., Colombia.

Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-. (2013). Proyección de demanda de energía eléctrica en Colombia. Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia.

Unidad de Planeación Minero Energética –UPME-. (2014). Resumen Ejecutivo. Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia.

United Nations Senttlement Programe –UN HABITAT-. (s.f.). Por un mejor futuro urbano.

Articulando las agendas verde y marrón en un contexto de cambio climático: Guía para la formulación de agendas ambientales locales en Colombia. *Serie: Estrategia de Apoyo a la Gestión Urbano Ambiental*. Naciones Unidas: Colombia.

United Nations Senttlement Programe –UN HABITAT-. (2013). Estate of urban youth report 2012-2013, youth in the prosperity cities. United Nations. Nairobi GPO, Kenia.

Organización Mundial de la Salud -OMS-, & Organización Panamericana de la Salud –OPS-. (1994). Epidemiología Ambiental: un proyecto para América Latina y el Caribe.

Organization of the Petroleum Exporting Countries –OPEC-. (2012). World Oil Outlook. Austria: Vienna.

Van Hoof, B. & Herrera, C.M. (2007). La evolución y el futuro de una energía más limpia en Colombia. *Revista de Ingenieria*, Universidad de los Andes, 26, 101-120.

Victor, P.A. (1972). Pollution: Economy and Environment. George Allen and Unwin, London.

Williamson, A.G. (1993). The second law of thermodynamics and the economic process. *Ecological Economics*, 7, 69-71.

World Energy Council. (2011). World Energy Resources: 2011 Survey. England.

World Energy Council. (2013). World Energy Resources: 2013 Survey. England.

XM Compañía de Expertos en Mercados SA – ESP. (2014). Capacidad del Sistema Interconectado Nacional. Pagina web: http://www.xm.com.co/Pages/Home.aspx

Young, J.T. (1991). Is the entropy law relevant to the economics of natural resource scarcity? *Journal of Environmental Economics and Management*, 21, 169-179.

Young, J.T. (1994). Entropy and natural resource scarcity: a reply to the critics. *Journal of Environmental Economics and Management*, 26, 210-213.

Anexos

1. Datos usados para la construcción del indicador de eficiencia energética

Consumo energético por sectores económicos [Tcal]									
	Industrial	Transporte	Agrícola y minero	Residencial urbano	Residencial rural	Comercial	Construcciones	No identificado /otros	Consumo final
1992	4.630,10	13.638,80	825,70	2.727,60	1.709,90	1.905,40	641,70	2.294,70	28.373,90
1993	4.402,80	14.518,30	823,70	3.072,60	1.838,70	1.963,10	574,30	2.029,60	29.222,80
1994	4.480,80	15.596,70	914,20	3.387,40	1.963,10	2.149,60	675,20	2.414,20	31.581,00
1995	4.743,80	16.299,80	952,60	3.521,80	2.196,60	2.326,80	763,20	2.776,50	33.581,20
1996	5.187,20	16.538,60	976,40	3.704,80	2.371,00	2.602,80	783,40	2.840,80	35.004,90
1997	5.414,30	17.715,70	1.018,60	3.892,80	2.442,10	2.658,50	700,80	2.508,40	36.351,30
1998	5.469,60	18.254,80	994,40	3.845,00	2.369,60	2.754,30	743,50	2.680,20	37.111,40
1999	5.708,20	18.143,50	922,70	4.621,70	2.340,60	3.170,80	760,20	2.753,40	38.420,90
2000	7.264,50	18.679,60	1.025,50	4.589,60	1.755,10	2.816,30	730,20	2.617,60	39.478,40
2001	7.977,20	19.151,80	1.087,60	4.765,90	2.682,90	2.913,40	771,80	2.769,30	42.119,90
2002	7.249,90	19.328,80	1.139,50	5.303,40	2.519,40	3.514,00	755,90	2.706,20	42.517,20

PIB real por sectores económicos (base precios 1004)								
	Industrial	Transporte	Agrícola y minero	Residencial urbano	Residencial rural	Comercial	Construcciones	No identificado /otros
1992	2.857.953,00	826.473,00	42.859,00	256.143,00	256.143,00	1.125.238,00	1.530.943,00	8.948.259,00
1993	2.908.448,00	861.978,00	37.614,00	378.735,00	378.735,00	1.331.705,00	1.394.843,00	9.293.332,00
1994	2.864.862,00	884.231,00	84.051,00	304.608,00	304.608,00	1.626.205,00	1.783.583,00	10.230.214,00
1995	2.883.061,00	901.746,00	97.466,00	330.446,00	330.446,00	1.670.440,00	1.816.151,00	9.812.343,00
1996	2.799.746,00	854.080,00	77.844,00	314.143,00	314.143,00	1.692.678,00	1.195.969,00	8.882.672,00
1997	2.883.672,00	881.704,00	75.799,00	327.552,00	327.552,00	1.749.201,00	1.082.771,00	9.168.881,00
1998	2.773.893,00	874.235,00	81.160,00	392.123,00	392.123,00	1.692.668,00	1.214.032,00	9.544.999,00
1999	2.451.968,00	887.632,00	71.193,00	366.488,00	366.488,00	1.378.670,00	681.675,00	8.351.761,00
2000	2.599.988,00	900.057,00	76.526,00	364.997,00	364.997,00	1.554.637,00	767.805,00	9.188.477,00
2001	2.728.447,00	891.995,00	62.569,00	393.046,00	393.046,00	1.598.756,00	658.650,00	9.481.253,00
2002	2.873.780,00	911.158,00	96.523,00	375.867,00	375.867,00	1.746.900,00	818.315,00	10.145.740,00

Tcal/PIB									
	Industrial	Transporte	Agrícola y minero	Residencial urbano	Residencial rural	Comercial	Construcciones	No identificado /otros	Consumo final
1992	0,0016	0,0165	0,0193	0,0106	0,0067	0,0017	0,0004	0,0003	0,0020
1993	0,0015	0,0168	0,0219	0,0081	0,0049	0,0015	0,0004	0,0002	0,0020
1994	0,0016	0,0176	0,0109	0,0111	0,0064	0,0013	0,0004	0,0002	0,0019
1995	0,0016	0,0181	0,0098	0,0107	0,0066	0,0014	0,0004	0,0003	0,0020
1996	0,0019	0,0194	0,0125	0,0118	0,0075	0,0015	0,0007	0,0003	0,0021
1997	0,0019	0,0201	0,0134	0,0119	0,0075	0,0015	0,0006	0,0003	0,0021
1998	0,0020	0,0209	0,0123	0,0098	0,0060	0,0016	0,0006	0,0003	0,0021
1999	0,0023	0,0204	0,0130	0,0126	0,0064	0,0023	0,0011	0,0003	0,0025
2000	0,0028	0,0208	0,0134	0,0126	0,0048	0,0018	0,0010	0,0003	0,0025
2001	0,0029	0,0215	0,0174	0,0121	0,0068	0,0018	0,0012	0,0003	0,0026
2002	0,0025	0,0212	0,0118	0,0141	0,0067	0,0020	0,0009	0,0003	0,0025