

Diagnóstico del sistema energético y esbozo metodológico de la proyección de fuentes renovables de energía en el caso de Colombia*

Gabriel Cruz Cerón¹

RESUMEN

El presente trabajo se establece como preámbulo a procesos de investigación sobre el potencial de uso y manejo de fuentes de energías renovables con énfasis al caso colombiano. El mismo provee la información preliminar (datos, registros, coeficientes técnicos, indicadores financieros y ambientales, etc.) que facilitarán procesos ulteriores de desarrollo de investigaciones de alto nivel sobre los potenciales de oferta y demanda de energía y los procesos de reestructuración de la canasta energética dándole paso a la intensificación del uso de energía renovables. El trabajo se aborda con un enfoque sistémico con referencia al caso colombiano, con la expectativa de contribuir como modelo de trabajo para otras realidades a nivel latinoamericano, sobre la base de aplicar su proceso y resultados en el desarrollo de futuras investigaciones sobre el sector energético, apoyadas en procesos metodológicos innovadores e idóneos, de alto valor técnico y científico.

Los contenidos se integran mediante capítulos o módulos ordenados con criterio lógico que incluyen en primer lugar los contenidos de caracterización y diagnóstico del sistema de generación y oferta de electricidad en Colombia, y terminan reseñando las fuentes de información y los procesos metodológicos de manejo en una línea de investigación vinculada a los contenidos y propósitos del presente documento.

Palabras claves: Servicio Energético, Oferta Hídrica en Colombia, Fuentes Renovables de Energía.

ABSTRACT

This paper establishes processes preamble to research on the potential use and management of renewable energy sources with emphasis to the Colombian case. It provides preliminary information (data, records, technical factors, financial and environmental indicators, etc.) Processes that will facilitate further development of high-level research on the potential of energy supply and demand and the restructuring of the basket energy giving way to the increased use of renewable energy. The work is a systemic approach with reference to the Colombian case, expecting to contribute as a working model for other realities in Latin America, on the basis of applying the process and results in the development of future research on the energy sector, supported innovative methodological processes and suitable, high technical and scientific value.

* Fecha de Recepción: Julio 4 de 2012 y fecha de aceptación: Agosto 1 de 2012.

1. Ingeniero Agrónomo, Especialista en Sistemas, Magister en Administración Industrial. Doctor en Ciencias económicas. Profesor asesor de Programas de Postgrado en Desarrollo Sostenible y Recursos naturales de la Universidad de Manizales (Manizales – Colombia)

The contents are integrated through chapters or modules arranged in logical criterion including the contents first characterization and diagnosis of system generation and supply of electricity in Colombia, and finish reviewing the information sources and the methodological processes in a line management research related to the content and purposes of this document.

Keywords: Energy Service, water supply in Colombia, Renewable Energy.

1. Caracterización y diagnóstico del sistema de generación y oferta de electricidad en Colombia

1.1 Antecedentes del caso sobre el servicio energético y las fuentes de energía

El objetivo final de los servicios de energía es asegurar el suministro a todos los usuarios, en todas sus formas, de manera confiable y almas bajo costo. Para aumentar la confiabilidad del suministro se han desarrollado redes a través de las cuales el usuario final recibe la energía a partir de una diversidad de fuentes de energía primaria (diversificación de la canasta energética) y de sus respectivos centros de transformación. Esta diversidad de fuentes, sistemas de transformación, junto a la redundancia de los sistemas de transporte, operados y mantenidos apropiadamente, aseguran la confiabilidad del suministro de energía al usuario final.

Colombia² dispone de un complejo sistema de suministro de energía en diferentes formas, para diferentes aplicaciones y usos finales, para los diferentes sectores de la Economía, relacionando entre ellos: el residencial, el comercial, el industrial y el de transportista. Los usos finales de la energía son: Iluminación, climatización, fuerza motriz, acondicionamiento de espacios, transporte, calor de proceso, informática, comunicaciones, entre otros.

Las fuentes de energía primaria se pueden clasificar de acuerdo a diferentes criterios; al considerar la dimensión de largo plazo con relación a la disponibilidad de los recursos se consideran dos tipos de recursos: los no renovables porque se agotarán en algún momento futuro (petróleo, gas, carbón, nuclear) y los renovables porque como su nombre lo indica, se renuevan en los ciclos de re-generación, naturales e inducidos: hidro-energía, solar, eólica, biomasa, geotermia, mares, etc. La realidad apunta a que la mayoría de los países desarrollados del mundo están apostando por las fuentes de energías renovables. Este hecho se debe a tres razones principales: el aumento del consumo, el

2 <http://www.corpoema.com/>

conocimiento de que las fuentes fósiles son limitadas en el tiempo y en el espacio, y la posibilidad de un cambio climático de fuertes impactos.

Desde el punto de vista tecnológico, *las fuentes de energía renovables son aquellas que transforman los flujos de energía que se presentan en la naturaleza; tal definición permite relacionar de manera directa a las energías renovables con el clima porque son estos flujos de energía los que se presentan y modifican el clima*. Es claro entonces que las energías renovables están íntimamente ligadas al clima y que la variabilidad y el cambio climático tiene necesariamente que impactarlas, es decir, que la *utilización de las energías renovables es afectada por la variabilidad de los ciclos y el propio cambio climático*; de éstas energías renovables mencionadas, la única que no se afecta de manera directa por el clima y el cambio climático es la geotermia.

Para facilitar el análisis las diversas fuentes de energía se agrupan de acuerdo a su uso en Convencionales (FC) y No Convencionales (FNCE) y de acuerdo a la disponibilidad de sus reservas en Renovables y No Renovables, tal y como se muestra en la figura 1:³

HIDRICA						COMBUSTIBLES FÓSILES	FC
SOLAR	EOLICA	PCHs	BIOMASA	GEOTERMICA	MAREO MOTRIZ	NUCLEAR	FNCE
RENOVABLES						NO RENOVABLES	

Fuente: Desarrollo propio

Figura 1: Clasificación de las fuentes de energía (UPME – Avance 01, 2010)

Una característica fundamental de los combustibles petróleo, gas natural, carbón y biomasa, es que la energía producida se debe a la combustión del carbono presente en ellos, por lo que su utilización consume carbono, oxígeno de la atmósfera y libera dióxido de carbono y energía (reacción exotérmica). Cuando se trata de combustibles hidrogenados (petróleo y gas natural), se consume además hidrógeno presente en el combustible, oxígeno de la atmósfera y se libera vapor de agua a la atmósfera y energía (reacción exotérmica).

Debido a que el carbono de estos combustibles, a excepción del caso de la biomasa, se encuentra secuestrado en los yacimientos de los combustibles, el CO₂ liberado aumenta su concentración en la atmósfera, gas causante del efecto invernadero antropogénico, que se

3 Fuente: http://www.upme.gov.co/Sigic/Informes/Informe_Avance_01.pdf

considera causa principal del cambio climático; ante la gravedad de las consecuencias de los impactos del cambio climático los países en forma masiva se plantean realizar la transición hacia sistemas socioeconómicos e industriales de bajas emisiones de carbono.

1.2 Políticas, estrategias y planteamientos sobre el sistema energético colombiano

La priorización y enfoque de las estrategias, subprogramas y líneas de acción del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía -PROURE⁴ se orientan fundamentalmente a la disminución de la intensidad energética, al mejoramiento de la eficiencia energética de los sectores de consumo y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, en función de la identificación de las fuentes potenciales y la definición de metas por ahorro energético y participación de las fuentes y tecnologías no convencionales en la canasta energética del país.

Adicionalmente la disponibilidad de los recursos energéticos y el comportamiento de la demanda y su relación con la productividad de los sectores estratégicos, la intensidad energética, la calidad de vida de la población y la disminución de los gases de efecto invernadero, se constituyen en elementos de política como propósito fundamental del PROURE.

Colombia lleva tres décadas (a partir de los 80's) de acciones relacionadas con las Fuentes no Convencionales de Energía -FNCE; se considera que tales acciones se han dirigido principalmente hacia la identificación de proyectos individuales para las Zonas No Interconectadas -ZNI, pero sin un plan estructurado alrededor de líneas claras de investigación y desarrollo⁵.

A diferencia de los países en desarrollo en los cuales la fijación de políticas y metas en materia de FNCE está directamente ligada a metas de reducción de emisiones y la dependencia del suministro externo, en el caso colombiano, salvo para los biocombustibles, no se han identificado objetivos claros en el campo ambiental, ni en otros campos, que justifiquen con claridad una política de FNCE para el sector energético. Se diría que tampoco se han trazado políticas claras orientadas a la adquisición de conocimiento clave sobre FNCE bajo las perspectivas de desarrollo en el país.

La falencia principal del proceso de formulación de políticas orientadas a las FNCE en Colombia ha sido la ausencia de un diagnóstico objetivo que permita identificar la dotación efectiva de recursos no convencionales y a partir de ello, elaborar una formulación de objetivos en función de los

4 Prias Caicedo, Omar F. Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales – PROURE. Plan de Acción 2010-2015. Informe Final. 2010

5 www.corpoema.com/pdf/Vol%201%20Plan%20Desarrollo.pdf

factores determinantes que deben orientar la toma de decisiones y diseñar y evaluar las estrategias, mecanismos e incentivos adecuados para alcanzar dichos objetivos, incluyendo los elementos de regulación necesarios, consistentes con el planteamiento de metas concretas a ser alcanzadas.

Se reseña la existencia actual de diferentes iniciativas, políticas y normas tributarias orientadas o aplicables a beneficios e incentivos a las FNCE renovables que involucran exclusión del impuesto a las ventas, rentas exentas y deducción del impuesto a la renta, siendo la entidad responsable de su aplicación el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial y la DIAN; actualmente el mencionado ministerio conjuntamente con el Ministerio de Minas y Energía laboran para ayudar a viabilizar estas iniciativas. Igualmente relacionado se encuentra el documento del Consejo Nacional de Política Social y Económica - CONPES 3242: "Estrategia Institucional para la Venta de Servicios Ambientales", enfocado a la mitigación del cambio climático.

1.3 Sobre el marco legal del sistema energético colombiano

A pesar de que a partir de la Ley 697 de 2001 referida al Uso Racional de Energía -URE- incluidas las FNCE, se le dio al tema el carácter de interés general y de conveniencia nacional, aún no se cuenta con un plan que se fundamente en una racionalidad consistente con el contexto colombiano de la cual parte la definición de los objetivos, estrategias, actividades y metas (Corpoema, 2010).

No obstante la anterior aseveración, se resalta que la entronización del nuevo milenio (2000's) ha traído un mayor énfasis e interés del Estado colombiano en las FNCE, que se evidencia en la Ley mencionada (Ley 697, su decreto reglamentario con la creación de la Comisión Intersectorial de Uso Racional de Energía - CIURE, la creación de algunos incentivos tributarios y la adopción reciente por parte del Ministerio de Minas y Energía -MME del Plan de Acción vinculado al Uso Racional de Energía -URE. No obstante tal resurgir, no se escapa la consideración sobre la eficacia de los planes planteados, los cuales se quedan generalmente a nivel de enunciados que no trascienden a acciones concretas por parte de los actores que deberían estar involucrados.

Una reforma sectorial se introdujo con la promulgación de nuevas disposiciones, como la Ley sobre la Organización de los Servicios Públicos (Ley N°. 142, de fecha 11 de Julio de 1994, el Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios y la Ley de Electricidad (Ley N° 143, de fecha 11 de julio de 1994). La generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica se separaron como conjunto, y el monopolio regional tradicional de empresas de servicios públicos se rompió. La libre competencia se introdujo en las zonas donde existía un monopolio natural, es decir, un manejo integrado en la generación

y comercialización de la energía eléctrica, mientras que las otras zonas de regímenes diferentes permanecen todavía regulados y supervisados por el Estado.

Lo anterior determina que los operadores del sistema de red interconectada, las empresas de transmisión regional (Sistema de Transmisión Regional - STR) y las empresas de distribución local, (Sistema de Distribución Local - SDL), tienen que abrir por lo tanto sus redes a todos los usuarios y al generador, determinando la no discriminación en el acceso. Al introducir la ampliación del potencial de privatización del sector energético, proceso no concluido aún, se han afectado todas las áreas de la industria de la energía eléctrica, estableciendo que cualquier agente económico es libre de construir capacidad adicional de generación de energía, siempre y cuando acoja y se someta al marco de las disposiciones legales.

La generación de parte de empresas cuyas plantas suministren energía a la red de interconexión nacional y tengan una capacidad de al menos 20 MW están obligados a participar en el mercado mayorista (Mercado de Energía Mayorista - MEM) que se estableció en 1995 mediante la Resolución de la Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG-054 de 1994; operadores con rangos entre 10 y 20 MW pueden participar voluntariamente en el MEN, mientras que aquellos con menos de 10 MW están excluidos del mismo; los grupos electrógenos deben abordar las ofertas por hora al Centro Nacional de despacho para el día siguiente en la ciudad de Medellín, donde se encuentran inscritos en la lista de distribución de la carga de acuerdo con las citas establecidas.

Las condiciones de acceso de parte de empresas de generación de energía se rigen por la Resolución CREG – 030 de 1996; la información general sobre requerimientos legales para las empresas de transmisión de energía regional y distribuidores locales están regidos mediante la resolución CREG-003 de 1994 y CREG-099 de 1997.

1.4 Las Fuentes no convencionales de energía en Colombia y consideraciones sobre las fuentes de energía renovables

En Colombia las FNCE, que incluye a las Energías Renovables - ER, están definidas por ley, como aquellas fuentes de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles; se considera que en el país son utilizadas de manera marginal y no se comercializan o no son empleadas de manera intensiva. Entre las FNCE se consideran la energía solar, eólica, de pequeños aprovechamientos hidráulicos -PCH, la biomasa, la geotermia, la energía de los océanos y la nuclear, destacando la sostenibilidad ambiental relativa que implica el uso y manejo de las mismas, en comparación con fuentes de energía no renovables de corte tradicional basadas en derivados del petróleo.

La tabla 1 muestra la reducción de emisiones que se logra “decarbonizando” los combustibles (la decarbonización se logra “hidrogenando”)⁶; las emisiones de carbono disminuyen para la misma cantidad de energía liberada a medida que se pasa de leña, a carbón, petróleo, gas natural, energía renovable y en último, la energía nuclear. Se considera que las energías renovables y la energía nuclear representan una alternativa importante hacia una economía cifrada en una política de bajas emisiones de carbono, no obstante los riesgos relacionados con los residuos altamente contaminantes de la segunda mencionada.

Tabla 1. Emisión de CO₂/Mj para diferentes fuentes de energía

Fuentes	Gr. CO ₂ /Mj
Leña	110
Carbón	95
Petróleo	73
Gas natural	56
Renovables / Nuclear	0.

Fuente: Nakicenovic, N. (op-cit)

1.5 Energía fotovoltaica⁷

En la actualidad una de las alternativas de energía renovable es la solar fotovoltaica, donde la radiación solar es capturada en células fotovoltaicas para generar electricidad; tal tipo de energía se considera energía de alta calidad, de bajo impacto ecológico, y por ende, de bajas consecuencias a escala humana; las desventajas también son de consideración, y se relacionan con la eficiencia de los módulos, de sólo alrededor del 15%, lo que significa que solo un pequeño porcentaje de la radiación solar llega a convertirse en electricidad, y por tanto, se requieren grandes superficies para obtener instalaciones de potencia razonable si se compara con otras fuentes de energía; incluso teniendo la potencia nominal ésta sólo se obtiene durante las horas de mayor radiación de los días soleados.

Las nuevas tecnologías de concentración pueden ofrecer módulos con mayor eficiencia alcanzando un 40% de rendimiento, pero tales paneles actualmente son costosos debido a la tecnología óptica utilizada en su fabricación. Otra desventaja se relaciona con la materia prima utilizada en la fabricación de células fotovoltaicas, hechas de cristal de silicio, necesitándose un gran aporte energético para su manufactura, hasta el límite de requerir tales células generar electricidad un período de 3 a 5 años para recuperar toda la energía utilizada en su proceso de fabricación, con una vida promedio útil

6 Fuente: Nakicenovic, N. (1995 Fall). Energy Strategies for a Carbon-Free, Future Siemens Review, 20.

7 Fuente: Wikipedia, 2012.

de 25 años, y tal energía de fabricación puede provenir de fuentes contaminantes, por lo que la tecnología fotovoltaica de hoy no es totalmente ecológica.

El último inconveniente es en parte consecuencia del anterior; debido a la alta energía necesaria en la construcción de los módulos, éstos resultan relativamente costosos, requiriendo una inversión de mas del 60% de los costos de instalación en la adquisición de los mismos; por lo tanto se requieren subvenciones de todo origen, para rentabilizar el montaje de tal tipo de instalaciones.

Colombia tiene suficientes recursos de energía solar por su ubicación en la zona ecuatorial, pero el país se encuentra en una región compleja de los Andes donde los climas cambian frecuentemente. La radiación media es de 4.5 kWh/m², y el área con mejor recurso solar es la Península de la Guajira, con 6kWh/m² de radiación. De los 6 MW de energía solar instalados en Colombia (equivalente a aproximadamente 78,000 paneles solares), 57% esta distribuido para aplicaciones rurales y 43 por ciento para torres de comunicación y señalizaciones de tránsito. Los sistemas solares pueden ser muy apropiados para aplicaciones en zonas rurales, donde la demanda de energía se encuentran en zonas alejadas por lo cual es muy caro conectarlo a la red nacional (UPME 2005). Otra mínima parte se reduce a aplicaciones en el sector de la construcción, en complejos residenciales.

En Colombia se podría generar en mayor escala en las zonas del Magdalena, La Guajira, San Andrés y Providencia; el uso de la energía fotovoltaica es de mínimas proporciones, no obstante las relativas buenas condiciones de radiación que se ofrecen en el país.

1.6 Diferenciación entre energía de fuentes primarias y de fuentes secundarias

Para darle contexto a los siguientes aspectos sobre Oferta y Demanda de energía en el caso colombiano, es importante plantear la diferenciación entre fuentes de energía primarias y secundarias. Las primeras referidas a aquellas fuentes de las cuales se producen e industrializan las energías de fuente secundaria; entre las fuentes primarias se relacionan el bagazo, el carbón mineral, el gas natural, la hidroenergía, la leña, el petróleo y las fuentes de recuperación. De tales insumos se derivan las fuentes secundarias, previos procesos de transformación, entre ellas mencionando las siguientes: Energía eléctrica, el alcohol carburante, el biodiesel, el carbón de leña, el coque, gas industrial, gas de refinería, no energéticos, diesel oil, gasolina motor, fuel oil y Gas Líquido de Petróleo – GLP.

1.7 Oferta de energía⁸

En el año 2008 la producción total de energía primaria fue de 940.824 TeraCalorías, con una participación del carbón mineral del 50,8 % seguido del petróleo, el gas natural, la hidroenergía, la leña, el bagazo y la recuperación energética. La hidroenergía y el bagazo consideradas como fuentes renovables participan con el 6,9% del total de producción con fuentes primarias. Ver figura 1.

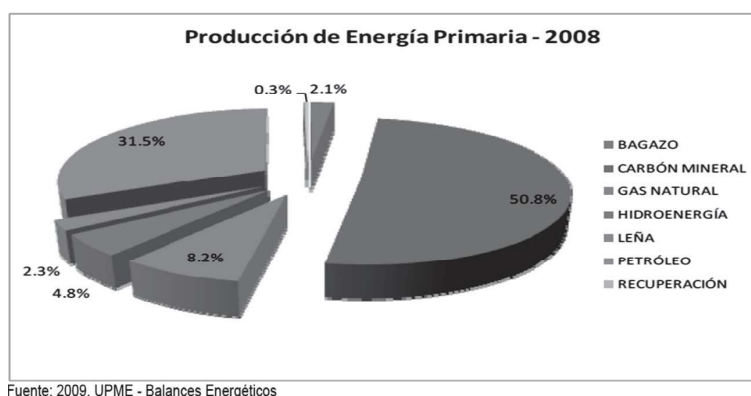


Fig. 1: Participación de fuentes de energía primaria en la oferta

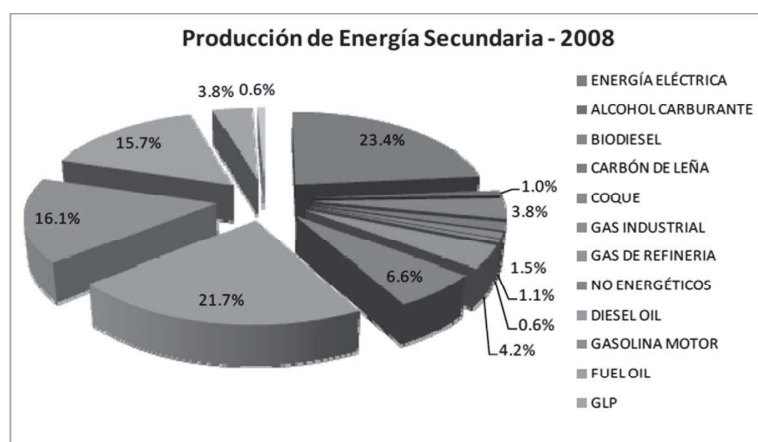
La recuperación energética o de co-generación⁹ no es propiamente una tecnología sino un concepto de producción eficiente de energía. La eficiencia de la co-generación se basa en el aprovechamiento del calor residual de un proceso de producción de electricidad; tal calor residual se aprovecha para producir energía térmica útil (vapor, agua caliente, aceite térmico, agua fría para refrigeración, etc.). Por este motivo los sistemas de co-generación están ligados a un centro consumidor de esta energía térmica.

La figura 2¹⁰ muestra la participación de producción de energía secundaria en 2008, con un total de 208.853 TeraCalorías siendo la energía eléctrica la principal fuente secundaria con una participación del 23,4%, el Diesel Oíl con una participación del 21,7% y los derivados del petróleo (Diesel Oíl, Gasolina Motor, Fuel Oíl y GLP) con el 57,8%; es decir, la producción de energía primaria y secundaria en Colombia se basa en combustibles fósiles.

8 Prías, C., Omar F. Informe Plan de Acción. Programa de Usoracional y eficiente de energia y Fuentes no convencionales – PROURE. Bogotá, MME, 2010.

9 García, N. José y De Miguel G., Luis Javier. Estudio del efecto del uso de energías renovables en el cambio climático mediante la utilización de la dinámica de sistemas. Tesis de Maestría. España.

10 Prías, C., Omar F. Informe Plan de Acción. Programa de Usoracional y eficiente de energía y Fuentes no convencionales – PROURE. Op-Cit.



Fuente: 2009. UPME - Balances Energéticos

Fig. 2: Participación de fuentes de energía secundaria en la oferta

La capacidad efectiva neta - CEN instalada en el SIN¹¹ al finalizar el año 2011 fue 14.420 MW. Su distribución por tipo de recurso se muestra en la tabla 2. Comparada con la capacidad al 31 de diciembre de 2010, fue superior en el 8,5%, debido principalmente, a la entrada en operación de 2 centrales eléctricas (Porce y Flórez). En particular, la capacidad con base en gas, tuvo un notorio incremento, ya que creció de 2.478 MW en el 2010, a 3.053 MW en el 2011 (aumento del 23,2%). La Capacidad Instalada por Tipo de Fuente energética se ilustra en la figura 3.

Tabla 2: Capacidad efectiva neta del SIN (2011)

Recursos	MW	%	Variación (%) 2011- 2010
Hidráulicos	9,185	63.7%	7.7%
Térmicos	4,545	31.5%	11.2%
Gas	3,053		
Carbón	991		
Fuel - Oil	314		
Combustóleo	187		
ACPM	0		
Menores	635	4.4%	2.3%
Hidráulicos	533		
Térmicos	83		
Eólica	18		
Cogeneradores	55	0.4%	-0.2%
Total SIN	14,420	100%	8.5%

1.8 Capacidad instalada por tipo de fuente

En cuanto a la capacidad instalada es mayoritaria la Hidroelectricidad, y le siguen, a considerable distancia y en respectivo orden, el gas natural y el carbón, como fuentes de aporte importante.

¹¹ <http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>

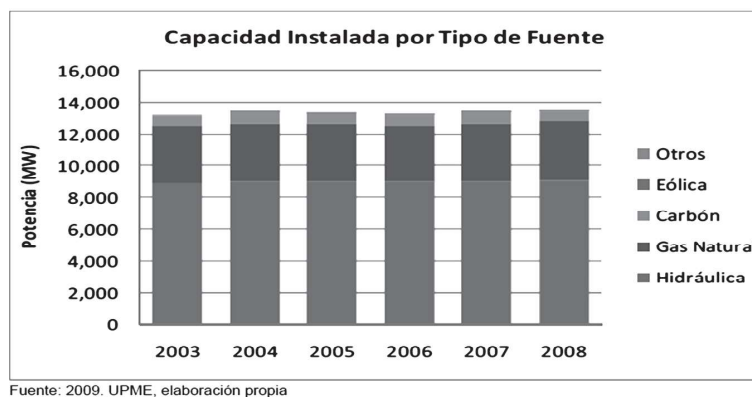


Figura 3. Capacidad instalada por tipo de fuente

De acuerdo con el estudio de soporte para el Plan de Acción¹², las FNCE en el SIN participaban en el 2008 con 192,4 MW, lo cual corresponde a 1,4% del total instalado de 13.400 MW, de los cuales 146 MW corresponde a pequeños aprovechamientos hidroeléctricos menores de 10 MW; 26,9 MW a generación con residuos de biomasa y 19,5 MW a generación eólica. Esto representa la siguiente composición de las FNCE en el SIN por tecnología:

Tabla 3: Estructura de la oferta de FNCE en el SIN

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

Las metas propuestas¹² de aumento de la capacidad instalada de FNCE en el SIN del orden presentado se relacionan en la tabla 4:

Tabla 4: Relación de las metas en el SIN de aumento de la capacidad instalada para los años 2015 y 2020, con relación a las FNCE

Año proyectado	Capacidad Instalada Total (estimada) del SIN (MW)	Total actual FNCE	Meta de participación (%)	Total FNCE (MW)	Incremento de Potencia (MW)
2015	16.000	192,4	3,5%	560	367,6
2020	18.000		6,5%	1.170	977,6

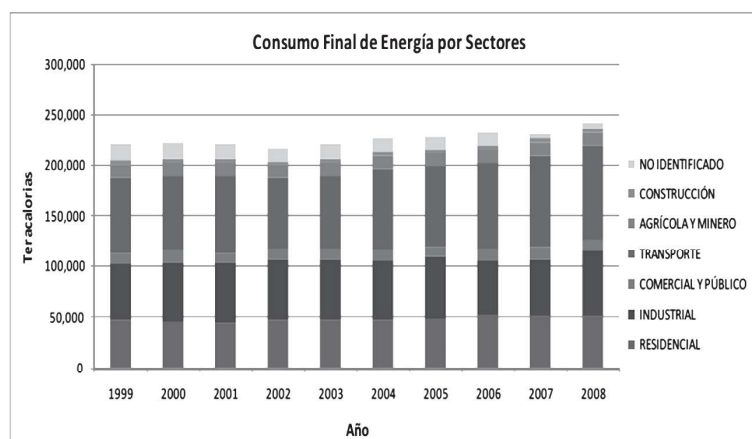
1.9 Demanda de energía

Colombia es un país con gran diversidad de energéticos, lo cual garantiza en el actual momento, la disponibilidad de las fuentes para suplir la demanda interna. El consumo de energía en el año 2008 fue de

¹² Cadena, A. Diagnóstico, perspectivas y lineamientos para definir estrategias posibles ante el cambio climático. Emgesa, Codensa, Universidad de los Andes. Bogotá, 2009.

242.575 TeraCalorías, siendo el sector transporte el mayor consumidor de energía, seguido por el sector industrial y el residencial.

En la figura 4¹³, se observa la distribución del consumo final de energía por sectores desde el año 1999 hasta 2008; en tal periodo, la demanda de energía creció al 1.2% promedio anual.



Fuente: 2009. UPME - Balances Energéticos

Fig. 4: Participación de las fuentes de energía en la demanda (Consumo final)

1.10 Consumo final de energía por sectores - 2008

En el año 2008, el sector residencial presenta una participación de 21,2%. El sector industrial muestra un leve incremento en los últimos años, con una participación de 26,3%. El sector transporte, participa con más de un tercio de la demanda nacional y participa con 38.3%. (Ver tabla 2 y figura 5).

Tabla 2: Consumo de energía por sectores (TeraCalorías) durante 1999 a 2008

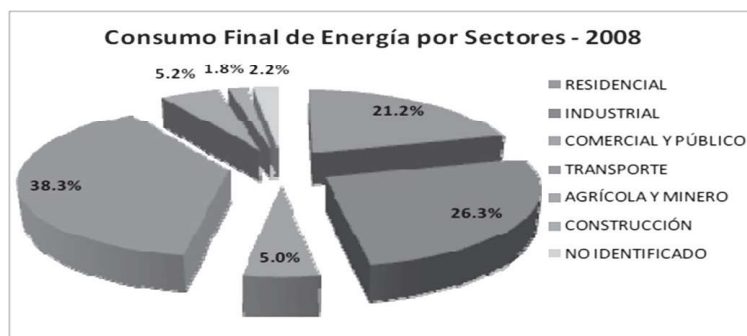
SECTOR/ AÑO	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
RESIDENCIAL	47,611.0	46,249.0	44,242.0	46,474.0	47,107.4	47,722.7	48,753.3	52,443.0	51,402.0	51,346.0
INDUSTRIAL	54,389.0	58,223.0	59,363.5	60,709.0	59,862.8	58,357.6	60,629.1	53,502.0	55,796.0	63,899.0
COMERCIAL Y PÚBLICO	11,140.0	12,026.0	9,122.0	11,366.0	11,920.0	10,571.2	10,767.9	11,760.0	12,024.0	12,142.0
TRANSPORTE	75,173.7	73,595.4	77,051.0	69,266.4	70,773.0	80,236.5	79,454.1	85,254.0	90,888.0	92,859.0
AGRÍCOLA Y MINERO	12,965.0	12,985.0	12,863.0	13,155.0	13,475.0	12,770.6	12,346.1	12,829.0	12,108.0	12,716.0
CONSTRUCCIÓN	3,918.0	3,924.0	3,814.6	3,542.0	3,249.5	3,851.0	3,897.0	4,547.0	4,283.0	4,380.0
NO IDENTIFICADO	15,914.2	15,268.6	14,275.0	12,716.0	14,671.5	13,960.0	13,017.0	11,849.0	5,277.0	5,233.0
TOTAL	221,111	222,271	220,731	217,228	221,059	227,470	228,865	232,184	231,778	242,575

Fuente: 2009. UPME - Balances Energéticos

La figura 5 muestra la participación porcentual del consumo final de energía por fuentes primarias, en donde se observa el alto consumo de gas natural con una participación en 2008 de 51,3%, seguido de la leña con 20,6% y el carbón mineral con 12,2%, los otros energéticos

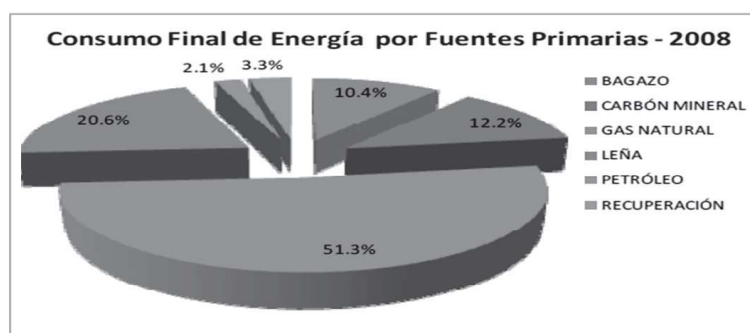
¹³ Prías, C., Omar F. Informe Plan de Acción. Programa de Usos Racionales y Eficientes de Energía y Fuentes no Convencionales – PROURE. Op-Cit.

primarios participan con 15,8% restantes. Los energéticos renovables (leña y bagazo) tienen una participación del 31% en el total del consumo de energéticos primarios.



Fuente: 2009. UPME - Balances Energéticos

Figura5: Participación porcentual del consumo final de energía por sectores



Fuente: 2009. UPME - Balances Energéticos

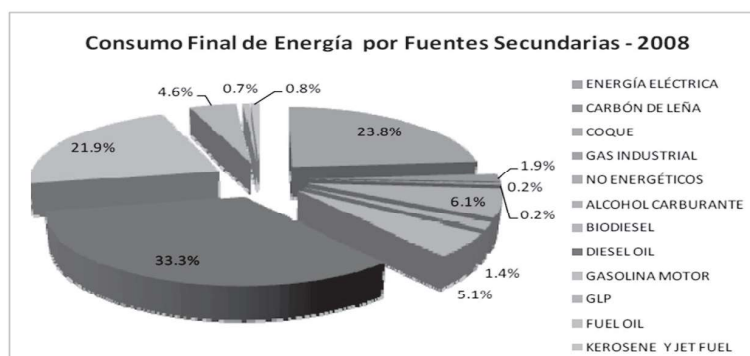
Figura 5. Participación porcentual del consumo final de energía por fuentes primarias – 2008

La figura 6 enseña la participación del consumo final de energía secundaria. El Diesel es el energético secundario que más se consume en Colombia, el cual tiene una participación de 33,3% en 2008, seguido de la energía eléctrica con 23,8% y la gasolina motor con 21,9% del total. Los derivados del petróleo (Diesel, gasolina, GLP y kerosene) tienen una participación del 61,3% del total de consumo de energéticos secundarios.

Datos mas actuales¹⁴ reportan que la demanda de energía eléctrica en Colombia en 2011 alcanzó los 57,150.3 GWh, con un crecimiento respecto al año anterior de 1002.7 GWh, (1.8% más que en 2010 que fue de 56,147.6 GWh). Esta desaceleración del crecimiento de la demanda se debió en gran medida al mantenimiento de plantas como Cerromatoso y a los bajos consumos de energía en el sector residencial

14 <http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>

(mercado regulado), como resultado de las bajas temperaturas registradas en el país por la presencia del fenómeno de La Niña.



Fuente: 2009. UPME - Balances Energéticos

Figura 6: Participación porcentual del consumo final de energía por fuentes secundarias - 2008

1.11 Estructura del sistema de oferta energética¹⁵: sistema interconectado nacional - SIN y zonas no interconectadas - ZNI

La oferta de electricidad en Colombia recae tanto en el Sistema Interconectado -SIN como en sistemas regionales que proveen energía para las zonas No-Interconectadas (ZNI). El SIN abarca la mitad del territorio, dando cobertura al 96% de la población. Ver Figura 7.

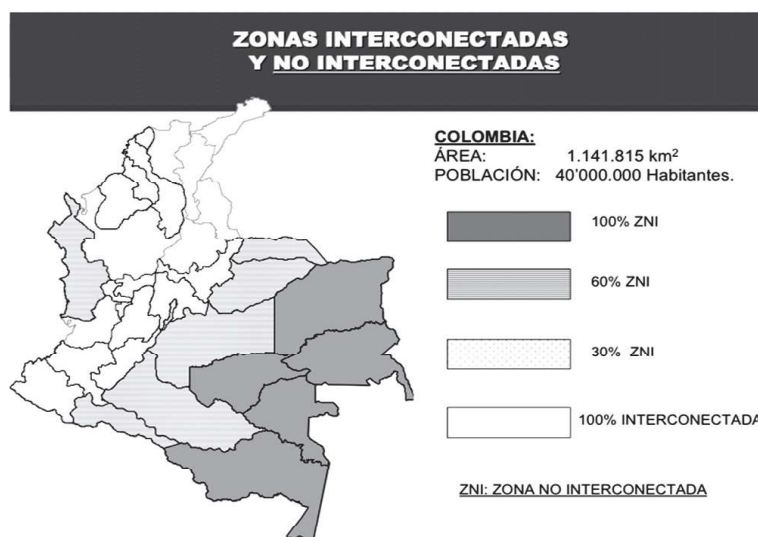
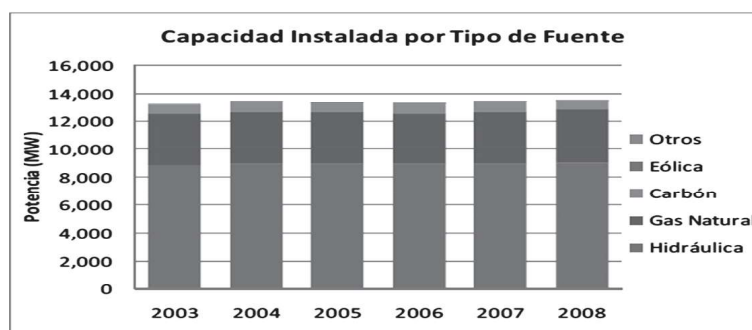


Figura 7: Distribución geográfica de zonas interconectadas y no interconectadas

¹⁵ <http://www.umng.edu.co/www/resources/ELECTRIFICACION%20DE%20LAS%20ZNI%20COL.pdf>

1.12 Capacidad instalada por tipo de fuente del sistema interconectado nacional - SIN

La figura 8¹⁶ muestra la capacidad instalada por tipo de fuente del sistema de generación de energía eléctrica del país. En Noviembre de 2008 la capacidad instalada alcanzaba los 13.540 MW, con fuerte participación de la generación hidráulica, seguido por la generación térmica a gas natural y carbón. Las fuentes no convencionales de energía en 2008 participan con 192,4 MW conectados al SIN, lo cual corresponde a 1,4% del total instalado, de los cuales 146 MW corresponden a pequeños aprovechamientos hidroeléctricos menores de 10MW, 26,9 MW corresponde a generación eléctrica con residuos de biomasa y 19.5 MW a generación eólica.



Fuente: 2009. UPME, elaboración propia

Figura 8: Participación de las FNCE en el SIN y ZNI

1.13 Plan de acción para las fnce expedido en 2010.

En desarrollo del mandato asignado al MME por la Ley 697 el Ministerio de Minas y Energía adoptó un Plan de Acción Indicativo para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de energía y Fuentes no convencionales - PROURE. El Plan define como uno de los Subprogramas Estratégicos de Carácter Transversal la Promoción del uso de FNCE adoptando como referencia las siguientes metas, desagregadas para el SIN y para las ZNI: que registra la participación proyectada de las FNCE en el Sistema Interconectado Nacional, para los años 2015 y 2020. Ver tabla 3 17.

Tabla 3: Participación proyectada de las FNCE en el SIN

Año 2015	3,5%
Año 2020	6,5%
Participación de las FNCE en las ZNI	
Año 2015	20% (*)
Año 2020	30%

Nota (*) El 20% está compuesto así: 8% de la capacidad actual más 12% provenientes de energía eólica, biomasa, PCHs y energía solar.

16 Prías, C., Omar F. Informe Plan de Acción. Programa de Usoracional y eficiente de energia y Fuentes no convencionales – PROURE. Op-Cit

17 www.corpoema.com/pdf/Vol%201%20Plan%20Desarrollo.pdf

1.14 Zonas no interconectadas

En la figura 9¹⁸ se presenta las características y la distribución geográfica de las zonas interconectadas (color marrón), no interconectadas (color amarillo) y las zonas intermedias (color verde).



Figura 9: Distribución geográfica de las zonas no interconectadas

1.15 Análisis de barreras y evaluación dofa del sistema energético¹⁹

Fortalezas. Colombia cuenta con un potencial considerable de energía eólica, solar, PCHs y biomasa. La eólica y solar tienen complementariedad con la energía hidroeléctrica y pueden aportar firmeza, tal como se ha demostrado en reciente estudio del Banco Mundial para la generación eólica en el SIN. Ello implica un interesante potencial para diversificar las fuentes de generación reduciendo la vulnerabilidad frente al Cambio Climático manteniendo una baja huella de carbono. Adicionalmente sus costos no dependen del valor del petróleo y permiten su instalación en forma modular de acuerdo con las necesidades.

Oportunidades. En el SIN las oportunidades se presentan principalmente a partir del año 2021 cuando se requiere ampliar la capacidad instalada bajo un escenario de crecimiento alto de la demanda y de escasez en el suministro local de gas natural. Tam-

¹⁸ <http://www.umng.edu.co/www/resources/ELECTRIFICACION%20DE%20LAS%20ZNI%20COL.pdf>

¹⁹ UPME. Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). Vol. 1 Consorcio Energético CORPOEMA. Bogotá, 2010

bién constituye una oportunidad el mantenimiento de los incentivos tributarios y la situación de altos precios del petróleo que permite viabilizar las soluciones de FNCE para las ZNI en sustitución de la generación con diesel, mejorando simultáneamente la calidad del servicio, unido todo esto a la expectativa de reducción de costos de estas tecnologías. Finalmente, el reconocimiento de una rentabilidad mayor a las soluciones con FNCE en ZNI por parte de la CREG (zonas no incluidas en áreas exclusivas concesionadas por el MME) también es una oportunidad a tener en cuenta. Barreras, debilidades y amenazas.- Definitivamente la principal barrera, en especial para algunas tecnologías, sigue siendo los costos de inversión unido a la poca firmeza de la energía como es el caso de la generación eólica y solar. A lo anterior se añade la ausencia de una regulación que valore la firmeza que se obtiene al considerar la operación complementaria de estas energías renovables no convencionales con la generación hidroeléctrica, aspecto crucial en el caso colombiano.

Una amenaza es la potencial reducción de costos que se pueda dar en las tecnologías no convencionales de generación a carbón, recurso abundante en el país, que facilite su instalación amigable con el medio ambiente con el consecuente impacto positivo en la generación de empleo minero.

1.16 Costos de las tecnologías

Los costos estimados de generación de la energía eléctrica bajo las diferentes tecnologías, se ha estimado considerando una tasa de descuento de 10% anual y 20 años como periodo de evaluación del proyecto, para el caso colombiano.

Para las diferentes tecnologías consideradas para el Sistema Interconectado Nacional –SIN se registra un mínimo costo de inversión de 1.385 US\$/kW para parques eólicos de 100 MW y costos de inversión de 7.000 US\$/kW para centrales solares fotovoltaicas interconectadas a la red. Tecnologías varias como la solar fotovoltaica conectada a la red se encuentra muy distante con costos superiores a los 350 US\$/MWh. También hay varias tecnologías (biomasa, vapor 50 MW, eólica 10 y 100 MW, y geotermia de 50 MW) que han alcanzado costos de generación por debajo (próximos) al precio promedio de la bolsa y que merecen ser tenidas en cuenta como tecnologías promisorias.

Se incluyen los costos de generación con plantas diesel que alcanza 440 US\$/MWh, que no incluyen el factor país para las ZNI. Aun considerando un factor país extremo de 2.5, hay varias tecnologías (biomasa con residuos sólidos, gasificación, PCHS y geotermia de 200 kW) que presentan costos de generación inferiores al costo de generación con plantas diesel en estas zonas.

En cuanto se refiere a la satisfacción de las demandas de energía para usos finales, se pueden emplear diferentes formas de “energía secundaria” que provienen de fuentes de energía primaria, sean estas renovables o no renovables. En varios usos finales es posible emplear directamente fuentes de energía renovables desplazando energía secundaria que provenga en parte de recursos no renovables, liberando de esta manera recursos renovables y extendiendo la vida útil de los no renovables. En este sentido, el uso sostenible de los recursos de energía indica la utilización de todas las **aplicaciones de energía renovable que desplacen energías no renovables**.

- La utilización de las energías renovables permite²⁰:
- Desplazar combustibles no renovables, reduciendo la dependencia de los mismos y extendiendo su vida útil.
- Diversificar la canasta energética
- Reducir las emisiones de CO₂, con sus beneficios ambientales y disminución de la huella de carbono.

Es claro que la necesidad de reducir las emisiones de CO₂ y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles son factores determinantes de la política energética en pro de la utilización de las energías renovables, más si se trata de países altamente emisores de CO₂ y que además tengan compromiso de reducirlas según el Protocolo de Kioto. En el caso de Colombia, es preciso hallar los factores determinantes de la política de manejo de la energía dadas las condiciones propias del país y de su sistema energético, teniendo en cuenta que el país es un emisor modesto que ha seguido un sendero verde en su sector eléctrico y que no tiene además compromisos formales vinculantes de reducción de emisiones.

1.17 Situación de Colombia respecto a fuentes de energía renovables ²¹

Por su gran cantidad de ríos, la electricidad en Colombia proviene principalmente de plantas hidroeléctricas, y en segundo lugar los combustibles fósiles, cuyas reservas se están agotando rápidamente. El país tiene 28,1 megavatios de capacidad instalada en energía renovable (excluyendo a las centrales hidroeléctricas), consistente principalmente en energía eólica. A su vez, se cuenta con varios recursos energéticos aún sin explorar como la energía solar, la eólica y las centrales minihidráulicas. De acuerdo con un estudio por el Programa de asistencia para la administración del Sector energético del Banco Mundial, la sola utilización de energía eólica podría cubrir más de lo que el país necesita.

²⁰ <http://www.corpoema.com/>

²¹ Wikipedia. Energías renovables en Colombia 2012.

1.18 Costos de inversión ²²

Los costos de inversión para las tecnologías de energía renovable en Colombia, estimadas para el 2005, son: (tabla 4)

Tabla 4: Costo unitarios de fuentes de energías renovables

Fuentes de Energía (renovables)	Tecnología	Costo en dólares por Kilovatio (US\$/kW)
Hidroeléctricas	Embalses (represas)	700– 1.700
Energía solar	Sistemas solares fotovoltaicos	5.000-10.000
Viento (en costas)	Generación de electricidad	800–1.200 (a gran escala)
		< = 3.000 (pequeña escala)
	Bombas	1.500–4.000
Energía geotérmica	Generación de Electricidad	3.000–5.000 (pequeña escala)
		1.500–2.500 (Gran Escala)
Biomasa	Combustión directa	2.800–5.000

1.19 Hidroeléctricas

Las hidroeléctricas que generan el 65% de la energía disponible, son una fuente muy importante para el País; el potencial hidroeléctrico de Colombia está estimado en 93GW, con unos 25 Gw adicionales proveniente de minihidráulicas centrales. Sin embargo, el potencial de las hidroeléctricas enfrenta dificultades ciertas, ya que los mejores lugares para aprovechar este recurso ya han sido aprovechados por otras hidroeléctricas, además del creciente costo social y los impactos sobre medio ambiente relacionado con las grandes represas, además considerandolos potenciales impactos del cambio climático en el sistema hidrológico del país demuestran prolongados períodos de sequía en el futuro (referidos a incrementos drásticos en la temperatura, cambios en los patrones de precipitación, y los incrementos en la intensidad y frecuencia del fenómeno del Niño).

1.20 Centrales minihidráulicas ²³

Debido al alto porcentaje de participación del sector eléctrico en la deuda externa colombiana, los aumentos en los costos de transmisión y distribución de energía, así mismo como los esfuerzos en electrificación rural, han revitalizado el interés por las centrales minihidráulicas. Para finales de 2005 habían instalados cerca de 400MW repartidos en aproximadamente 70 centros de generación.

1.21 Energía eólica

Los vientos en Colombia están entre los mejores de Sudamérica. Regiones en donde se han investigado, como en el departamento de la Guajira, han sido clasificados vientos clase 7 (cerca de los 10 metros

22 ESMAP, 2007. Review of Policy Framework for Increased Reliance on Renewable Energy in Colombia. In press. <http://www.esmap.org/esmap/>

23 GTZ: Energy-policy Framework Conditions for Electricity Markets and Renewable Energies

por segundo (m/s)); la única otra región con esta clasificación en Latinoamérica es la Patagonia, ubicada en Chile y Argentina.²⁴

Colombia²⁵ tiene un potencial estimado de energía eólica de 21 GW solamente en el departamento de la Guajira (lo suficiente para satisfacer casi dos veces la demanda nacional de energía). Sin embargo, el país solamente ha instalado 19,5 MW en energía eólica, utilizando 0,4% de su potencial teórico. Esta capacidad la aprovecha principalmente el Parque de Jepirachí, desarrollado por Empresas públicas de Medellín (EPM) bajo CarbonFinance, un mecanismo anexo al Banco Mundial. También hay varios proyectos bajo consideración, incluyendo un parque eólico de 200 MW en Ipapureque se encuentra ubicado en territorio Wayuu, Municipio de Maicao - Guajira, en la frontera con la República Bolivariana de Venezuela²⁶

Empresas particulares ofrecen sus conocimientos y experiencia a fin de iniciar proyectos de energía eólica, evaluar los sitios favorables que deben ser identificados y su energía potencial del viento comprobada; para ello, las mediciones de viento se toman normalmente en un período de al menos doce meses y se elaboran los informes de resultado; si se encuentran velocidades del viento prometedoras, el siguiente paso es realizar estudios de proyectos y evaluar el diseño técnico y de viabilidad económica. Tales empresas también ofrecen asesoramiento a los socios en materia de evaluación financiera de los proyectos de inversión, como fuentes de generación de energías renovables.

1.22 El mercado de la electricidad en Colombia: la capacidad instalada ²⁷

La energía hidroeléctrica representa el 67% de la capacidad total instalada, con el resto sobre la base de la energía térmica convencional. A finales de 2005, la generación Capacidad instalada conectados a la red eléctrica nacional de Colombia totalizaron aproximadamente 13.330 MW, cifra ligeramente menor que la registrada a finales de 2002 (13.468 MW).

En el transcurso de la década de 1990, Colombia tuvo una dependencia casi completa de la energía hidroeléctrica y en menor grado, del carbón; en la crisis energética sufrida a inicios de tal década la generación de energía eléctrica fue superada con la puesta en marcha de varias plantas termoeléctricas a gas. A pesar del crecimiento dominante en las capacidades de generación de gas en el medio colombiano, el

24 ESMAP, 2007. Review of Policy Framework for Increased Reliance on Renewable Energy in Colombia. In press (en inglés)

25 <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-windenergy-colombia-study-2007.pdf>

26 Wikipedia. Historial de «Energías renovables en Colombia». 2012.

27 GTZ. Energy-policy Framework Conditions for Electricity Markets and Renewable Energies. 23 Country Analyses Chapter Colombia. Eschborn, September 2007

panorama de la oferta en gran medida sigue dominado por la energía hidroeléctrica (en el inicio de los 90's llegó a participar con el 78% de la oferta agregada, previo a la crisis energética ("apagón") presentada en Colombia en los años subsiguientes; el asunto está en que la dependencia de tal fuente de los cambios climáticos lleva a fluctuaciones en los rendimientos de la generación de un año a otro y ejerce una considerable influencia sobre la oferta y el precio de tal fuente energética; en los próximos años se puede esperar que la energía hidroeléctrica recupere su posición dominante en la mezcla de la canasta energética de la oferta agregada.

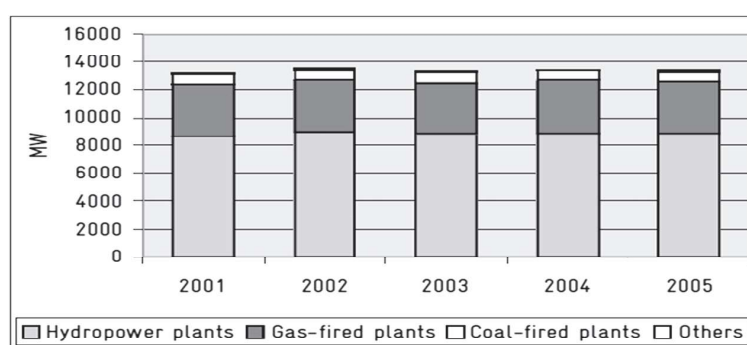


Figura 10: Capacidad de generación del SIN. Colombia, 2001–2005

FUENTE: TERN (Technical Expertise for Renewable Energy Application). Dirección: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH Postfach 5180 65726 Eschborn – Germany.

En total, 31 grandes plantas hidroeléctricas con potencias superiores a 20 MW y 20 centrales térmicas, algunas de las que comprenden dos o más unidades generadoras de energía, surten la alimentación a la red nacional interconectada. Alrededor del 97% del total de generación de la capacidad instalada se gestiona a través de la función de carga en el control central; la alimentación de tal fuente a pequeña escala, ofrece recursos hidroeléctricos a la red nacional de aproximadamente 380 MW), junto con la granja eólica del país; tales fuentes no están sujetas a ninguna forma de control de carga.

1.23 Generación de energía

La recesión en la década de los 90's, conllevó a la correspondiente disminución del consumo de electricidad; a partir de la primera década del siglo XXI tal proceso se revirtió experimentando un crecimiento considerable de la demanda. En 2005, unos 50.415 GWh de electricidad se han generado dentro de sistema interconectado nacional de la red eléctrica (Sistema Interconectado Nacional - SIN); esto representó un aumento de 3,7% con respecto a 2004. Las centrales hidroeléctricas más importantes aportan el 72% (36.377 GWh) del total, mientras que las instalaciones hidroeléctricas pequeñas (mini y micro) aportan un 9%,

los generadores de combustibles gaseosos, el 14% (6.980 GWh), y el carbón 4% (2.086 GWh). La cogeneración de plantas y turbinas de viento a su vez contribuyeron con un 0,2% y 0,1%, respectivamente. Debido principalmente a las favorables condiciones hidrológicas y el desmantelamiento de varias térmicas convencionales, el porcentaje de la electricidad (hydropower) generada fue significativamente mayor en el 2004 y 2005, de lo que había sido en años anteriores.

1.24 Consumo de energía²⁸

Después de una breve recesión económica, y con la existencia de cambios de la norma sobre regulaciones energéticas en el inicio del nuevo milenio, el consumo de energía en Colombia ha aumentado desde entonces de forma continua, alcanzando aproximadamente 38,4 TWh en 2005.

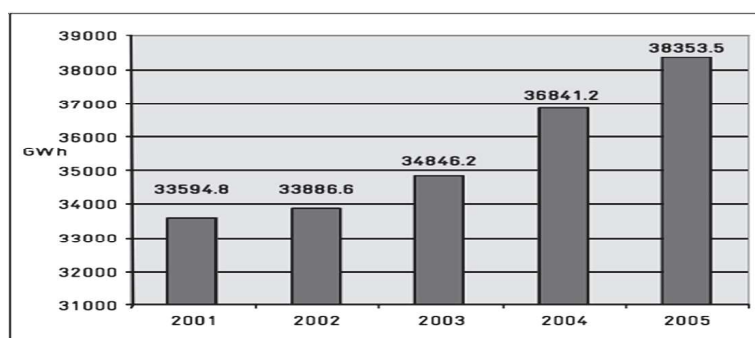


Figura 3: Tendencia creciente del consumo de energía: 2001–2005. Colombia.

El consumo de energía en Colombia ha crecido de forma permanente en lo corrido del presente siglo XXI, llegando en el 2005 a un nivel de 38,4 TW-h; tal crecimiento determina que la demanda total de energía exceda la capacidad de oferta en 10 TW-h.

1.25 Planificación de la expansión de las fuentes de energía

La carga máxima se ha incrementado un promedio un 2,7% anual desde 1999; mientras que la red interconectada sistema mantenía un total de potencia disponible de 11.000 MW.

A finales de 2005, la carga máxima ascendió a 8.638 MW (un 3,7% más que el año anterior). Tal capacidad de generación, sin embargo, puede disminuir significativamente durante los períodos secos de lluvia del régimen de lluvias en Colombia; por lo anterior, si la demanda

²⁸ GTZ. Energy-policy Framework. Conditions for Electricity Markets and Renewable Energies. 23 Country Analyses Chapter Colombia. Eschborn, September 2007

sigue en aumento permanente, al tenor del crecimiento urbano y de la producción en Colombia, no pueden descartarse restricciones importantes de la oferta. Para el año 2014 se prevé un aumento de la capacidad de generación de energía de 67.365 GW-h; se estima en tal período que el pico de la demanda puede llegar a 12.085 MW.

2. Justificación de la investigación sobre el diagnóstico y desarrollo metodológico de la proyección de fuentes renovables de energía – el caso colombiano

Es una realidad que el crecimiento y desarrollo económico sostenido de muchos países emergentes, entre ellos Colombia, ha disparado la demanda rápidamente creciente de la energía y la competencia en el mercado internacional del petróleo. En el contexto de los crecientes costos de los combustibles fósiles, los riesgos de suministro y los daños al medio ambiente, la importancia de las energías renovables como medio de generación de electricidad está creciendo a todo nivel, tanto en países de todo orden y grado de desarrollo; de acuerdo con los análisis realizados por la Red de Políticas de Energía Renovable para el Siglo XXI, 39 países han establecido metas de expansión de fuentes de energía renovables e introducido mecanismos de promoción, nueve de los cuales son países en desarrollo o emergentes.

Se destaca que de la inversión total en energías renovables en todo el mundo, US\$15 mil millones²⁹ se invirtieron en países en desarrollo y en países emergentes; sin embargo, la mayoría de tales países tienen todavía un largo camino por delante antes de que superar las barreras conducentes a una exitosa introducción y uso de las energías renovables. En el caso colombiano, el reto es evidente, vinculado a su vez, a una fuerte dependencia de fuentes energéticas de origen fósil y las complementarias como es el caso de la hidroelectricidad, caracterizadas por el alto riesgo en su oferta por contingencias climáticas, y los fenómenos del cambio climático.

Los elementos anteriores justifican per-se la profundización de estudios e investigaciones sobre la estructura de la oferta energética con relación a las fuentes renovables y no renovables, y la necesidad de atender una demanda cada vez mas creciente, en un mundo globalizado, en el cual el abastecimiento y la sostenibilidad de las fuentes de provisión van a marcar las diferencias regionales en sus niveles de crecimiento y grados de desarrollo. Tales investigaciones deben garantizar la idoneidad y profundidad en sus contenidos, lo que se soporta en

29 GTZ. Energy-policy Framework. Op cit.

metodologías actualizadas y de gran potencial de aporte, objetividad y oportunidad de validación de sus resultados, valiéndose del conocimiento previo que aportan las fuentes primarias y secundarias de información técnica, financiera y socioeconómica, que brindan ensayos y diagnósticos como el contenido en el presente trabajo.

3. Enfoque metodológico de la proyección de fuentes renovables de energía en el caso de Colombia

3.1 Sobre las fuentes de información

Los datos utilizados en el presente estudio se basa en dos tipos de fuentes de información: (1). Fuentes de acceso público relacionadas con publicaciones, artículos especializados, páginas WEB, Internet, e informes institucionales de organizaciones públicas y privadas, y (2). Fuentes no públicas, vinculadas a documentos tales como informes internos provenientes de expertos de las instituciones del sector, así como entrevistas personales con expertos (por ejemplo, funcionarios del Ministerio de energía y el personal vinculado a proyectos energéticos de las instituciones).

Se asume que la información disponible, en particular la proveniente de fuentes secundarias, es de corte actualizado y ha sido verificada y depurada en la medida de lo posible, de errores e inconsistencias, como garantía de la exactitud de los datos manejados en las investigaciones a desarrollar.

3.2 Metodologías de aplicación

Las bases de datos, registros e información capturada se someterán a 2 enfoques o técnicas metodológicas, relacionadas a continuación:

Modelos de optimización, basados en la técnica de programación lineal y evaluación de intercambios ("trade-off") de fuentes de energía.

Tal tipo de modelos maneja datos y registros sobre el sector de la energía relacionados con indicadores sobre capacidad instalada actual, costos de inversión, nivel de contaminación (producción de CO₂ por unidad de energía generada, capacidad potencial a generar por fuente de energía, la demanda energética proyectada, etc.

Mediante la aplicación del modelo (incluye la verificación y validación de sus resultados), se llega recomendaciones de "canastas" o mezclas de fuentes de energía, priorizando la oferta de fuentes renovables. Lo anterior se fundamenta en la creación de diferentes escenarios creados que facilitan la evaluación de intercambios ("trade-off") con referencia a objetivos de optimización de variables de orden financiero

("costos" de inversión"), ambientales (producción de CO₂) y socioeconómicas (impactos sociales).

Desarrollo de modelos de simulación fundamentados en aplicaciones de la "dinámica de sistemas"

Tal tipo de modelos son de gran actualidad, profundidad y potencial de aplicación, que permiten complementar los resultados provenientes de modelos basados en técnicas de programación lineal (de optimización) que enfocan solamente análisis de corte temporal transversal. La dinámica de sistemas, como su propio nombre lo aborda, permite desarrollar escenarios de corte tendencial, es decir, simular el comportamiento de variables de interés a través del tiempo, permitiendo analizar diferentes escenarios proyectados sobre la reestructuración de la oferta energética y de la capacidad instalada, con relación a variables como la demanda potencial, los costos de inversión, las emisiones de CO₂, e impactos de orden social (empleo).

Tales resultados se consideran como un aporte importante en el estudio y profundización de los escenarios de la oferta y la demanda de energía en Colombia, y las implicaciones e impactos sobre variables de crecimiento económico y desarrollo social, en los países que enfrentan el reto "energético" con un criterio de sostenibilidad, al enfocar el desarrollo y aporte de energías renovables, ya sean consideradas como complemento y/o sustituto de energías convencionales y no renovables.

Bibliografía

Cadena, A. Diagnóstico, perspectivas y lineamientos para definir estrategias posibles ante el cambio climático. Emgesa, Codensa, Universidad de los Andes. Bogotá, 2009.

ESMAP, 2007. Review of Policy Framework for Increased Reliance on Renewable Energy in Colombia. In press. <http://www.esmap.org/esmap/>

García, N. José y De Miguel G., Luis Javier. Estudio del efecto del uso de energías renovables en el cambio climático mediante la utilización de la dinámica de sistemas. Tesis de Maestría. España.

GTZ: Energy-policy Framework Conditions for Electricity Markets and Renewable Energies

Nakicenovic, N. (1995 Fall). Energy Strategies for a Carbon-Free, Future Siemens Review, 20.

Prias Caicedo, Omar F. Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales – PROURE. Plan de Acción 2010-2015. Informe Final. 2010

UPME. Plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). Vol. 1 Consorcio Energético CORPOEMA. Bogotá, 2010

http://www.upme.gov.co/Sigic/Informes/Informe_Avance_01.pdf

www.corpoema.com/pdf/Vol%201%20Plan%20Desarrollo.pdf

<http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>

<http://www.umng.edu.co/www/resources/ELECTRIFICACION%20DE%20LAS%20ZNI%20COL.pdf>

<http://www.gtz.de/de/dokumente/en-windenergy-colombia-study-2007.pdf>