



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Estudio exergético para identificar y evaluar potencialidades en energías renovables en el territorio colombiano, para planeamiento energético en periodos futuros

Diego Armando Lezcano Oquendo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de minas, Escuela de la Organización
Medellín, Colombia

2011

Estudio exergético para identificar y evaluar potencialidades en energías renovables en el territorio colombiano, para planeamiento energético en periodos futuros

Diego Armando Lezcano Oquendo

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Administrativa

Director:

Ph.D, MSc en Ingeniería, Ingeniero Mecánico Sergio Botero Botero

Codirector:

Ph.D. Héctor Iván Velásquez Arredondo

Línea de Investigación:

Análisis de las relaciones Energía Ambiente Economía, EAE

Grupo de Investigación:

Modelamiento y análisis energía ambiente economía

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de minas, Escuela de la Organización
Medellín, Colombia

2011

Dedicatoria

Se debe soñar con método y perseverancia.

A mis padres, mis buenos amigos Gustavo, Santiago, Oscar y Milena. Especialmente a Olga Lucía por su inmensa confianza y su apoyo constante.

Resumen

En la canasta energética colombiana solo participan (la hidro – energía, los combustibles fósiles y en menor cuantía sistemas de generación eólico). Se hace necesario que ingresen otros participantes que proporcionen mayor diversificación y confiabilidad al sistema. Tomando como referencia el término seguridad energética, este aspecto tiene total incidencia en el desarrollo industrial de un país en orientado al crecimiento. El planeamiento energético debe ser orientado al óptimo aprovechamiento sustentable y la eficiencia energética desde la evaluación de los recursos energéticos existente y su potencialidad de generación.

Los resultados obtenidos nos permitieron tener una caracterización de los recursos y su combinación con variables de incidencia en el aprovechamiento de recursos, tales como condiciones tecnológicas, factores económicos y sociales.

Palabras clave:

Energía Renovable, industrialización, exergía, eficiencia, recursos renovables, tecnologías de generación.

Abstract

In the energetic Colombia basket only they take part (the hidro - energy, the fossil fuels and in minor quantity systems of generation wind). It becomes necessary that there enter other participants who provide major diversification and reliability to the system. Taking the term as a reference energetic safety, this aspect has total incident in the industrial development of a country in orientated to the growth. The energetic planning must be orientated to the ideal sustainable utilization and the energy efficiency from the existing evaluation of the energetic resources and his potential of generation.

The obtained results allowed us to have a characterization of the resources and his combination with variables of incident in the utilization of resources, such as technological conditions, economic and social factors.

Keywords:

Renewable energy, industrialization, exergía, efficiency, renewable resources, technologies of generation.

CONTENIDO

Lista de Figuras.....	3
Lista de tablas.....	4
Lista de Mapas.....	5
1. Introducción	6
1.1 Objetivos	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
2. Marco teórico.....	9
2.1 Algunas evaluaciones de las energías renovables, evolución, aplicaciones, tecnologías, dificultades e implementaciones en Colombia	9
2.2 Recuento sobre las energías renovables en Colombia	12
2.3 Inicio y fomento de las energías renovables en Colombia.....	14
2.4 Uso de las energías alternativas en Colombia.	14
2.4.1 Recurso solar en Colombia.....	14
2.4.2 Recurso eólico en Colombia	17
2.4.3 Pequeñas hidroeléctricas	19
2.4.4 Recurso biomasa	21
2.5 Visión energética en el proyecto Colombia 2019	25
2.6 La exergía como herramienta de valoración.....	26

2.7	Modelos exergéticos para la valoración de potenciales de generación de energía con fuentes renovables.....	27
2.7.1	Fundamentación exergética.....	27
2.8	Relaciones entre la termodinámica, la economía y los recursos naturales.....	29
2.8.1	La economía tradicional y el consumo de recursos naturales.....	30
2.8.2	El enfoque de la Exergoecología.....	31
2.8.3	La Exergía y la valoración de los recursos naturales.....	32
2.8.4	Posicionamiento de los recursos renovables como alternativa.....	32
3.	Metodología.....	34
3.1	Identificación y medición de las variables particulares para los modos de generación eólica, solar y biomasa.....	34
3.1.1	Tecnología para el aprovechamiento del recurso Solar.....	34
3.1.2	Tecnología para el aprovechamiento del recurso Biomasa.....	39
3.1.3	Tecnología para el aprovechamiento del recurso Eólico.....	44
3.2	Caracterización espacial de los recursos renovables en Colombia.....	46
3.2.1	Uso del SIG como plataforma de referencia espacial.....	47
3.2.2	Plataforma Informática.....	47
3.2.3	Sistema estadístico del Territorio.....	47
3.2.4	Diseño e implementación del SIG.....	47
3.2.5	Metodología Para el Diseño y Construcción del Sistema de Información.....	48
3.3	Marco legal asociado a las energías renovables.....	50
3.3.1	Mecanismos de incentivos para las energías renovables.....	52
3.3.2	Barreras a la aplicación e implementación de energías renovables.....	54
3.4	Ejemplo de matriz de comportamiento y proyecciones de energías renovables en otros países.....	57
3.4.1	Casos de evaluaciones y proyecciones en EEUU y Reino Unido.....	57
3.4.2	Matriz energética de Estados Unidos.....	58
3.4.3	Matriz energética Reino Unido.....	68
3.4.4	Matriz de Generación del Reino Unido.....	72
3.4.5	Síntesis de los casos estudiados.....	75
4.	Análisis de resultados.....	77

4.1	Estimación del potencial de recursos renovables en Colombia, desde fundamentos exergéticos.	77
4.1.1	Modelo exergético Solar	77
4.1.2	Modelo Exergético Biomasa.....	80
4.1.3	Modelo exergético eólico.....	85
4.1.4	Modelos o prototipos.....	86
4.1.5	Combinación de herramientas SIG y cálculos Exergéticos.....	87
4.2	Mapas de restricciones	87
4.3	Mapas e inventarios y de potenciales.....	91
4.3.1	Resultados inventario recurso Eólico	91
4.3.2	Resultados inventario recurso Solar	92
4.3.3	Resultados inventario Biomasa	92
4.4	Lineamientos para el aprovechamiento óptimo y sustentable de recursos renovables.	103
4.4.1	Análisis Integral de Recursos Energéticos	105
	Conclusiones	106
	Bibliografía y fuentes de información	109

Lista de Figuras

Figura 1 Estimados Agosto 10, (2009). UPME.....	24
Figura 2 Eficiencia SunCatcher vs. Otras tecnologías.	37
Figura 3 Disco/Motor Stirling. www.stirlingenergy.com	39
Figura 4 Potencialidades de transformación de la Biomasa (UPME, 2003)	40
Figura 5 Diagrama del proceso, generación eléctrica a partir de biomasa (fuente propia)44	
Figura 6 Aerogenerador NORDEX N60/1300. http://www.nordex-online.com	46
Figura 7 Model Builder diseñados para cada uno de los geopotenciales evaluados.....	49
Figura 8 Rasterización para capa “Vías”	49
Figura 9 Visión general del consumo de energía primaria en EEUU.....	59
Figura 10 Evolución de la matriz energética primaria según fuente Universidad Católica de Chile.....	60
Figura 11 Evolución del consumo de energía primaria según sector de consumo.	61
Figura 12 Distribución de las fuentes de energía primarias entre su uso final.....	62
Figura 13 Distribución de las fuentes de energía según sector productivo.	63
Figura 14 Evolución de la capacidad instalada según fuente primaria de generación.	64
Figura 15 Capacidad instalada en Estados Unidos según fuente energética.	64
Figura 16 Evolución de la generación eléctrica según su fuente primaria.	65
Figura 17 Generación eléctrica en Estados Unidos según fuente energética.....	65
Figura 18 Energía eléctrica generada por energías renovables 1990-2030.	66
Figura 19 Comparación conformación relativa de la matriz energética en cuanto a capacidad instalada.	68
Figura 20 Producción y consumo de combustibles primarios 2008.....	69
Figura 21 Consumo final de energía por usuario del Reino Unido.	70
Figura 22 Consumo final de energía por combustible del Reino Unido.	70
Figura 23 Distribución de las fuentes de energía entre su uso final.	71
Figura 24 Distribución de las fuentes de energía según sector de consumo.....	71
Figura 25 Capacidad instalada en Reino Unido según fuente energética del Reino Unido73	
Figura 26 Generación eléctrica Reino Unido según fuente energética.	73
Figura 27 Comparación conformación relativa de la matriz energética en cuanto a generación proyectada.	75
Figura 28 Esquema y dimensiones del estudio exergético	104
Figura 29 Esquema de análisis para la gestión de políticas energéticas.....	105

Lista de tablas

Tabla 1 Capacidad instalada en el mundo de generadores Eólicos.....	11
Tabla 2 Recurso Solar en Colombia.....	15
Tabla 3 Recurso Eólico en Colombia.....	17
Tabla 4 Recurso Hídrico en Colombia.....	19
Tabla 5 Capacidad efectiva neta SIN Dic. 31 2010.....	25
Tabla 6. Especificaciones técnicas Motor Stirling.....	38
Tabla 7 Tecnologías de transformación (UPME, 2003).....	41
Tabla 8. Características tipos de bosques.....	43
Tabla 9 Especificaciones técnicas aerogenerador N60/1300 NORDEX.....	45
Tabla 10 Clasificación mecanismos para incentivos (Botero et al, 2007).....	52
Tabla 11 Proyección capacidad instalada energías renovables en EE.UU.....	67
Tabla 12 Potencia instalada por tecnología para el 2.008del Reino Unido.....	72
Tabla 13 Generación proyectada en GW al 2020.....	74
Tabla 14 Capacidad de producción por Disco. Elaboración propia.....	79
Tabla 15 Condiciones y Resultados modelo solar. Elaboración propia.....	80
Tabla 16 Condiciones de entrada Modelo Biomasa. Elaboración propia.....	83
Tabla 17 Parámetros de entrada para equipos en Modelo de Biomasa. Elaboración propia.....	83
Tabla 18 Entalpías y Entropías para cada unidad .Elaboración propia.....	84
Tabla 19 Resultados obtenidos Modelo Biomasa Elaboración propia.....	84
Tabla 20 Parámetros y resultados Modelo Eólico. Elaboración propia.....	86
Tabla 21 Inventario Eólico. Elaboración propia.....	95
Tabla 22 INVENTARIO BIOMASA (BOSQUES SECUNDARIOS Y CULTIVOS).....	97
Tabla 23 INVENTARIO POTENCIAL SOLAR.....	99

Lista de Mapas

Mapa 1 Radiación Solar, UPME- IDEAM (2005).....	16
Mapa 2 Velocidades del viento, UPME- IDEAM (2006).....	18
Mapa 3 Cuencas Hídricas UPME 2007 Ministerio de Minas Y energía - IDEAM	20
Mapa 4 Áreas potenciales cultivos de Palma UPME (2003).....	22
Mapa 5 Áreas potenciales cultivos de caña de azúcar UPME (2003).....	23
Mapa 6 Zonas de resguardos indígenas	88
Mapa 7. Zonas delimitadas como reservas.....	89
Mapa 8 Zona delimitadas como paramos	90
Mapa 9. Zona de potencial Eólico.....	94
Mapa 10. Zonas de potencial Biomasa (Dendroenergía)	96
Mapa 11 Zona con potencial Solar	98
Mapa 12 Sistema Férreo y puertos Marítimos.....	100
Mapa 13 Vial de Colombia	101
Mapa 14 Cruce de potenciales, puertos y vía férrea	102

1.Introducción

En la canasta energética colombiana solo participan la hidro energía, los combustibles fósiles y en menor cuantía sistemas de generación eólico, Caspari (2009). Se evidencia la necesidad que ingresen otras tecnologías participantes que proporcionen mayor diversificación y confiabilidad al sistema. Tomando como referencia el término seguridad energética, este aspecto tiene total incidencia en el desarrollo industrial de un país en desarrollo. Hacer el planeamiento energético sostenible, con el óptimo aprovechamiento de recursos del territorio.

Se hace necesario contar con planeamientos que converjan al desarrollo energético sustentable y la eficiencia energética desde la evaluación de los recursos energéticos para la generación. Previo a la operación de planeamiento, se hace indispensable realizar una caracterización de los recursos y su combinación con variables de incidencia en el aprovechamiento de recursos, tales como condiciones tecnológicas, factores económicos y sociales. Para la elaboración de la caracterización de potenciales de energías renovables, puede tomarse como herramienta para la modelación los fundamentos exergéticos.

Es importante para países que están enrutados en el crecimiento y desarrollo económico, contar con un modelo de planeamiento energético, condición que plantea Valero (2009), en el que se contemple la creciente entropía y los gastos exagerados de energía, esto con el fin de no repetir la mala historia que vivió Europa cuando desarrolló su crecimiento industrial, pues no se planteó considerando los factores que lo afectaría y con la creencia de que los recursos naturales eran inagotables. Esto evidenció una total ausencia de un pensamiento de sustentabilidad.

El proceso de planificación energético plantea el uso sustentable de recursos orientados a proporcionar su aporte al desarrollo, como lo plantea Cadena y Botero (2009) En él expone los siguientes 4 tópicos en los que se debe ser imperativo en pro de éxito de los lineamientos energéticos. Estos son:

- Extensión del suministro de energía a todas las regiones del país y a todos los sectores de la población.
- Integración máxima de la capacidad técnica y de la industria nacional en los

- planos de expansión del sector.
- Apoyo a la conformación de sectores productivos a partir de la utilización de recursos energéticos como materia prima.
- Disminución de las cargas financieras asociadas al desarrollo del sector.

Para darle mayor rapidez a la penetración de las nuevas fuentes y tecnologías más limpias de producción de energía en el país, se deben tener elementos motivadores como los antes citados y que tendrían como resultado final la diversificación de la canasta energética y el impulso al desarrollo tecnológico e industrial. Siendo estos elementos promotores para mejorar y garantizar la confiabilidad del suministro energético, condición necesaria para tener éxito en la promoción del desarrollo económico del país.

Presentadas las condiciones que algunos autores referencian en la que esbozan los posibles lineamientos para la incursión de los recursos renovables al mercado energético, es pertinente tomar la teoría exérgica para dar una valoración y caracterización de los recursos renovables que pueden tener potencialidades de generación en el territorio colombiano (eólica, solar y biomasa). Esto debe arrojar la información base para el planteamiento de zonas estratégicas de generación según los recursos existentes en cada zona. El análisis de la dinámica energética de un territorio específico y su variación, se podrían plantear por medio de teorías y fundamentos exérgicos, pues esta presenta ventajas frente al estudio tradicional energético económico, como lo plantean Muñoz y Valero (1995).

El análisis exérgico aventaja al análisis tradicional, dado que en la búsqueda de ineficiencias orientadas desde la segunda ley de la termodinámica, hace un barrido más exhaustivo al interior de las variables inmersas en los procesos. Para Valero (2010) la mejor aproximación a la construcción del capital de energías renovables, se fundamenta en la caracterización de recursos y se parte en la compilación de datos, aunque aclara, que se presentan ausencias de información, datos imprecisos e incompletos. Y esto ha generado parte del desconocimiento de la corteza terrestre, desde el ámbito investigativo, debido a los altos costos para la exploración.

1.1 Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un modelo con fundamentos exergéticos, que permita la identificación y evaluación de las zonas con potencialidades en energías renovables en Colombia.

Objetivos específicos

- Caracterizar espacialmente los recursos renovables en Colombia.
- Identificar y medir las variables particulares para los modos de generación (eólica, solar y biomasa), y buscar las aplicaciones tecnológicas para uso de energías renovables, para reconocer que tan viable es plantear la industrialización de energías renovables.
- Desarrollar el engranaje entre herramientas SIG y métodos de evaluación exergética para la identificación de condiciones favorables para el uso y aprovechamientos del territorio asociado a energías renovables.
- Desarrollar una metodología que permita estimar el potencial de recursos renovables en Colombia (eólica, solar y biomasa), desde fundamentos exergéticos.
- Presentar lineamientos para el aprovechamiento óptimo y sustentable de recursos renovables.

2. Marco teórico

2.1 Algunas evaluaciones de las energías renovables, evolución, aplicaciones, tecnologías, dificultades e implementaciones en Colombia

Un recurso natural puede definirse como cualquier forma de materia o energía obtenida del ambiente y que satisface necesidades humanas. Por tanto el agua, el aire y la biomasa se clasifican como recursos naturales. Costanza (1992) define el capital natural como un stock que produce un flujo de bienes variables en el futuro. Los recursos naturales se clasifican frecuentemente como renovables y no renovables. Los recursos renovables se definen como aquellos que se regeneran en una escala de tiempo humana. Ejemplos de recursos renovables son el viento, biomasa o la energía del sol.

Una de las primeras evaluaciones de recursos energéticos renovables, la adelanto Hall Do (1987). Estimaciones más recientes sobre los recursos energéticos de la tierra se presentan por ejemplo los estudios de Gong (2001), Szargut (2003), Johansson (2004) o Hermann (2006).

Según Skinner, en su estudio "*Earth resources*" 1986, partiendo de que el sol es la principal fuente de energía, siendo este quien permite la vida en la tierra, el sol envía alrededor de $17,3 \times 10^{16}$ W de potencia en forma de radiación de onda corta hacia la tierra. De ésta, aproximadamente el 30% se refleja directamente por las nubes y por la superficie terrestre, pero la mayor parte de la radiación atraviesa la atmósfera, calentando las capas de la tierra y causando vientos, lluvias, nieves y corrientes oceánicas. Estas transformaciones dan lugar a una progresiva depreciación de la calidad energética y por tantas pérdidas exergéticas. La energía devaluada en forma de calor se devuelve al espacio y la superficie terrestre permanece en equilibrio térmico. Una parte de la radiación solar se utiliza para la fotosíntesis y almacena temporalmente en la biosfera como materia orgánica y eventualmente carbón, petróleo o gas natural. Otra pequeña parte de la energía solar se almacena en reservorios de agua como ríos o lagos.

La condición tecnológica aparece como limitante para aprovechar los proveedores energéticos derivados de la radiación solar, y desafortunadamente las evoluciones tecnológicas aun son carentes en investigación y desarrollo industrial para poder utilizar esta gran cantidad de energía.

El viento es una expresión de la potencia solar, que se deriva de diferencias de presiones causadas por el calentamiento y enfriamiento desigual de la atmósfera. Haciendo nuevamente referencia a “*Earth resources*” Skinner (1986), las estimaciones de la potencia eólica son altas, pero la mayor parte de esa potencia está a altitudes elevadas y no puede recuperarse con equipos en la superficie terrestre. Se podría tomar un valor de recursos potenciales técnicos cercanos a 72 TW de capacidad instalada global al 20% de factor medio de capacidad generaría 126.000 TWh/año o alrededor de 14,5 TW.

Terminando con los recursos aportados por la biomasa, Skinner en su texto “*Earth resources*” la radiación absorbida por la vegetación tiene una energía de unos 40 TW. La eficiencia fotosintética en convertir la energía solar en compuestos orgánicos es de alrededor del 1%. Tan sólo 2,5 TW de la energía y 2,9 TW de la exergía se transforma en la exergía química de las plantas. Se debe aclarar que es inviable por condiciones ambientales y de conservación, porque la cantidad planteada por Skinner implicaría la deforestación y desertificación de zonas extensas en el mundo. Las estimaciones de la cantidad seca de toda la materia viva del planeta varía, pero tiene una media de alrededor de 2×10^{12} toneladas.

El potencial biomásico teórico fue estimado por Johansson y McCormick (2004) como unos 92 TW, lo que implica una capacidad exergética disponible de 70 Gtoe anuales. La producción biomásica mundial varía enormemente dependiendo de las suposiciones tomadas.

Saidur (2010), presenta el estado actual de la capacidad instalada de energética, proveniente de parques eólicos, también hace referencia al gran crecimiento de esta industria, pero plantea y evidencia un crecimiento no simétrico de las instalaciones, mientras en Europa se cuentan con 16.362 MW de potencia, sur y centro América solo cuenta con 103 MW, (ver Tabla 1).

Región	Capacidad instalada (MW)				
	Finales de 1995	Finales de 1997	Finales de 1999	Finales de 2000	Finales de 2001
Europa	2518	4766	9307	12972	16362
América del Norte	1676	1611	2619	2695	4440
Sur y Centroamérica	11	38	87	103	103
Asia y el Pacífico	626	1149	1403	1795	2162
Oriente Medio y África	13	24	39	141	203
Total mundial	4844	7588	13455	17706	23270

Tabla 1 Capacidad instalada en el mundo de generadores Eólicos.

Tomando otra alternativa de generación, y específicamente refiriéndonos a la generación por aprovechamiento de recursos solares, encontramos referencias como las presentadas por Izquierdo y Montañés (2010) en las que desarrollan un modelo de evaluación para obtener la estimación detallada de la irradiación, y luego utiliza modelos para el rendimiento técnico de la planta y la estructura de costos con la alternativa optima del proceso de generación de electricidad.

En los estudios realizados dentro del plan Renovables 2050.(2005) Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular, presentado por Greenpeace y elaborado por el instituto alemán DLR, en el que su principal objetivo es “Averiguar si las renovables son suficientes para cubrir la demanda energética de la sociedad o si, por el contrario, necesitamos desarrollar otras fuentes de energía que cubran las supuestas limitaciones de las renovables”. Como resultados del estudio presentan mediante una herramienta SIG (Sistema de Información Geográfica) la disponibilidad de terreno y la posibilidad de aplicación de los diferentes tipos de tecnología renovables, según se encuentre compatibilidad entre los usos del terreno y los diferentes alternativas de generación; para ello analizaron las clasificaciones de los usos del suelo según corresponda a las variables que se muestran a continuación:

- Zonas urbanas
- Zonas industriales, comerciales y de transportes
- Zonas de explotaciones mineras
- Zona de paramo
- Parques naturales
- Reservas afro

- Bosques
- Espacios abiertos con poca o sin vegetación

2.2 Recuento sobre las energías renovables en Colombia

Se cuenta con poca experiencia en iniciativas gubernamentales en el desarrollo de energía renovables; un caso que sirve como argumento de esta situación fue, que las reformas aplicadas al sector energético en Colombia en los años 90 se centró la atención en la transferencia de los activos de las empresas estatales a unidades privadas, en ese contexto esa normatividad no impulsó significativamente el desarrollo y la aplicación orientada al aprovechamiento de energías renovables; desconociendo la evolución de las tecnologías desarrolladas en esta materia, por países vecinos, como algunos de sur y centro América.

La transición energética ha sido definida como el proceso que conduce a sustituir y a diversificar las fuentes primarias de energía que son utilizadas en el mundo. Refleja también la disponibilidad relativa de los recursos y la economía de su uso, atendiendo sobre todo el precio de mercado y el rendimiento energético, así como factores exógenos como la sustentabilidad ambiental. Así, el proceso de transición debe dirigirse hacia un balance energético más equilibrado, diverso, eficiente y favorable al ambiente, sustituyendo las fuentes energéticas que provienen de recursos fósiles por energías “limpias” Navarrete (2008).

Teniendo este referente los aporte investigativos más recientes muestran estudios en los que plantean la viabilidad de usos de fuentes renovables como proveedores de energía y de alta confiabilidad; uno los referentes para este argumentos es Caspis (2009), quien hace un primer acercamiento al planteamiento del de usos de nuevas tecnologías y la viabilidad según la disminución de los costos, debido a la utilización en nivel industrial. Mejía y Smith (2005) plantean un modelo matemático que plantea la optimización y los parámetros de diseño para implementación de aerogeneradores y toman como caso específico en la península de la Guajira. El caso más sobresaliente lo plantea la construcción y puesta en operación del parque Jepirachi en la Guajira. Continuando con los planteamientos para la generación de eléctrica, Botero e Izasa (2010) referencian las barreras de entrada, para la incursión real de parque eólico, algunas de ellas son:

- Altos costos de inversión inicial.
- Precios de la energía no incluyen los beneficios adicionales de fuentes alternativas de energía, tales como, la estabilidad de precios de mercado, protección del medio ambiente y el desarrollo rural, entre otros.

- Altos costos de producción (por encima del precio que cuesta producir la electricidad de las fuentes tradicionales de energía).
- Incapacidad para controlar su producción de acuerdo con el envío de energía firme (debido a la variabilidad / intermitencia).
- Incapacidad para maximizar su producción de acuerdo con el precio máximo marginal del mercado de la electricidad.

En el plan de referencia de expansión de generación y transmisión 2009 - 2023, se hace una proyección de los medios de generación eléctrica a utilizar en este periodo, en los que se presentan 4 escenarios o alternativas; de los que se evidencia la no inclusión de posibilidades significativas de generación por medio de medios para generación renovables.

Cabe la posibilidad de interpretar que la exclusión de las energías renovables como alternativa de generación, que aportaría a la diversificación de la canasta energética y a la seguridad en el suministro, se da por la poca información y de la ausencia de mecanismos, modelos que identifiquen y cuantifiquen los potenciales y las alternativas de generación que se pueden obtener. Esto se puede evidenciar en los siguientes datos, que presenta Caspari (2009) y después de verificar datos oficiales de la UPME estos ratifican y presentan que la capacidad instalada actual de las energías renovables en Colombia es de 24.1 MW, de los cuales 2 MW provienen de sistemas solares fotovoltaicos; 2,6 MW de pequeñas centrales hidroeléctricas, y 19,5 MW corresponden al parque eólico Jepirachi ubicado en el departamento de la Guajira. Evidenciando que no se cuenta con un real desarrollo industrial y esta por generarse el escalamiento del uso de energías renovables en Colombia, y para poder emprender el escalamiento se requiere el reconocimiento los condicionantes técnicos, geográficos y de costeo, se genera una priorización de las mejores alternativas de generación partiendo de Recurso Renovables.

Contrario a la posición de los entes de planeación colombiano entidades como la Agencia internacional de Energía IEA en su World Energy Outlook (2010) y el Consejo Europeo de Energía Renovable EREC, en el texto denominado Energy Revolution (2010), hacen planteamiento y proyecciones serias en las que tiene como actor relevante a la generación con energías renovables.

Tomando como referencia el World Energy Outlook (2005) se plantean cinco escenarios donde se buscan mejoras en la eficiencia energética y progreso tecnológico. Según los escenarios para el 2050 se pretende una eliminación significativa de emisiones de CO₂ mediante la generación de energías renovables, energía nuclear. Aunque las tecnologías para la generación de energías renovables requieren una alta inversión el valor es compensado con el pago de impuestos por emisiones de CO₂.

2.3 Inicio y fomento de las energías renovables en Colombia

El uso de energías no convencionales en Colombia fue impulsado en la década de los 70; luego de esta crisis se inicia una era de estudios e investigaciones sobre fuentes alternativas. Este desarrollo no tuvo resultados positivos debido al alto costo de las investigaciones.

En 1992 se conformaron las bases para el establecimiento de un programa de desarrollo de energías renovables donde se desarrollaron los primeros estudios sobre la capacidad de las diferentes fuentes renovables de energía.

Las Fuentes no convencionales de energía han adquirido una dinámica importante en la Zonas No Interconectadas con nuevos incentivos para la innovación y recursos provenientes de fondos sectoriales como también una fuerte voluntad del IPSE en desarrollo de proyectos específicos.

2.4 Uso de las energías alternativas en Colombia.

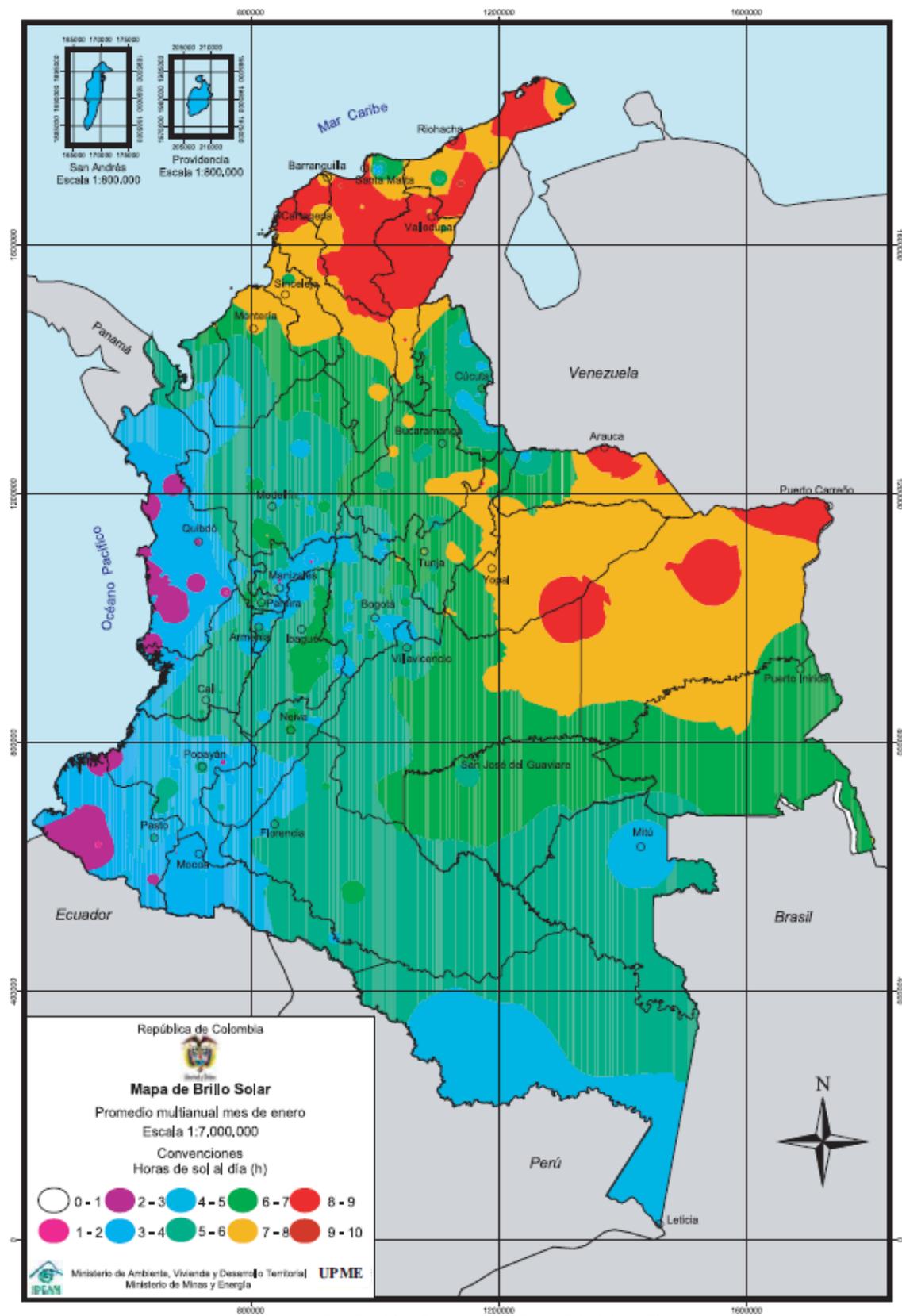
Para la generación de energía a partir de fuentes alternativas se deben cumplir ciertas condiciones climáticas para obtener un producto de calidad y competitivo. A continuación veremos los potenciales de algunas energías renovables en Colombia.

2.4.1 Recurso solar en Colombia

Colombia tiene un potencial energético solar a lo largo de todo el territorio nacional, con un promedio diario multianual cercano a 4,5 kWh/m². En las regiones costeras atlántica y pacífica, específicamente en la región noreste de la costa atlántica en la Guajira, de acuerdo con los resultados de la evaluación del recurso solar del país muestran un potencial solar promedio diario entre 5,0 y 6,0 kWh/m², el mayor del país. Las regiones de la Orinoquia y Amazonia, que comprenden las planicies de los Llanos Orientales y zonas de las selvas colombianas, presentan una variación ascendente de la radiación solar en sentido suroeste-noreste, verificándose valores asimilables a los de La Guajira en el noreste Puerto Carreño(UPME 2010) Ver (Tabla 2 y Mapa 1).

RECURSO SOLAR EN COLOMBIA	kWh/m ² /año	
	Desde	Hasta
Guajira	1980	2340
Costa Atlántica	1260	2340
Orinoquia	1440	2160
Amazonia	1440	1800
Región Andina	1080	1620
Costa Pacífica	1080	1440

Tabla 2 Recurso Solar en Colombia



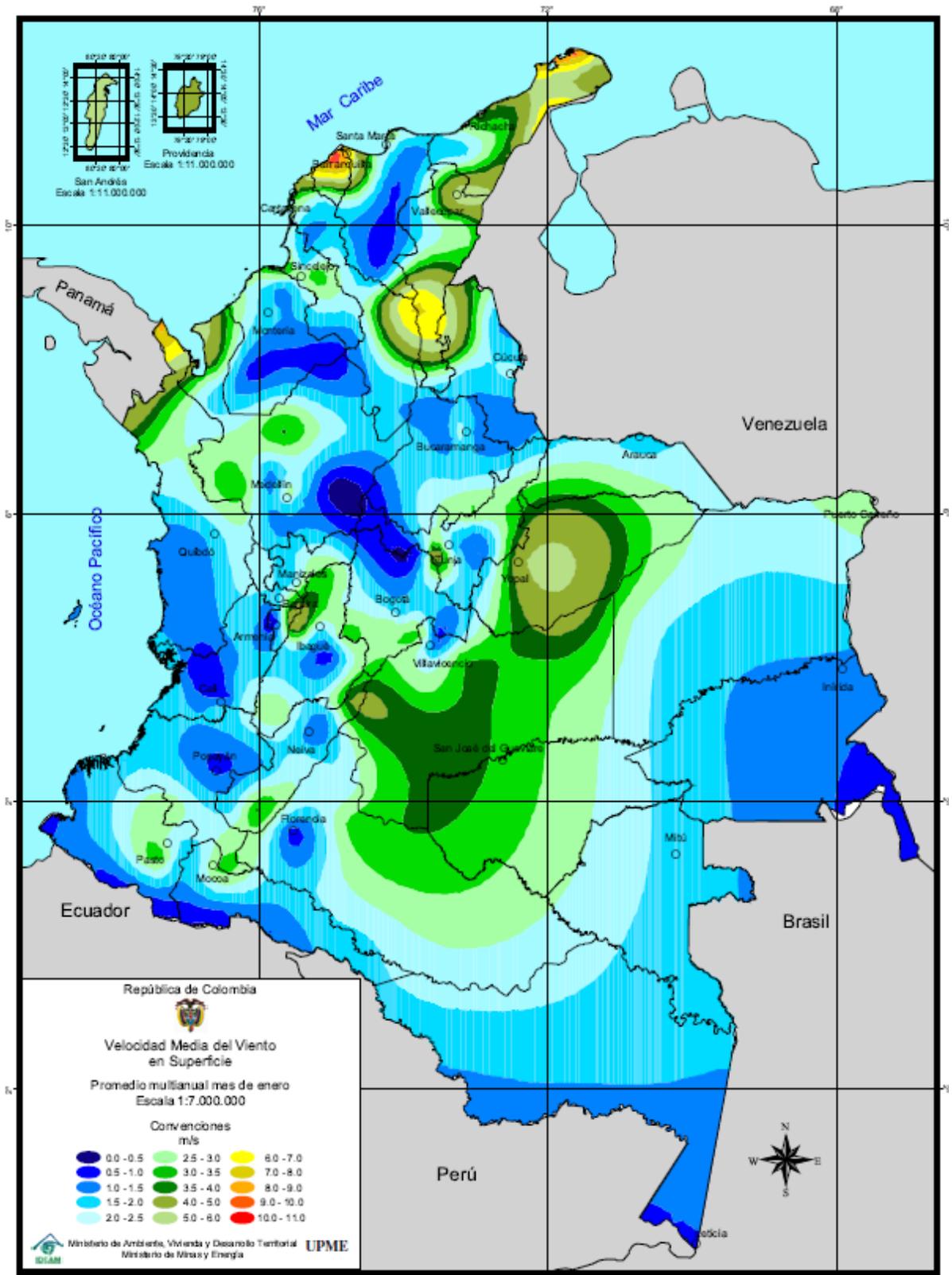
Mapa 1 Radiación Solar, UPME- IDEAM (2005)

2.4.2 Recurso eólico en Colombia

En Colombia la mayor disponibilidad de recurso eólico se encuentra en la costa Atlántica, donde los vientos aumentan en dirección a la península de La Guajira. Otras regiones con potencial del recurso se encuentran en el Bajo Magdalena y la cuenca del Cesar entre los departamentos de Bolívar, Atlántico y Norte de Santander, centro y sur del Cesar, en sectores del golfo de Urabá, Medio Magdalena y sur del Catatumbo a la altura de Norte de Santander y en los Llanos Orientales sobre Casanare, límites entre Boyacá y Cundinamarca, y límites entre Meta, Huila y Cundinamarca. La Tabla 3 muestra un resumen de densidad de potencia de viento en las regiones con mejor potencial en el país (UPME, 2010). Ver (mapa 2)

RECURSO EÓLICO EN COLOMBIA	Estimación de la densidad de energía W/m ² /año	
	Desde	Hasta
Guajira	200	170
Costa Atlántica	8	700
Orinoquia	0	200
Amazonia	0	120
Región Andina	125	700
Costa Pacífica	1	64

Tabla 3 Recurso Eólico en Colombia



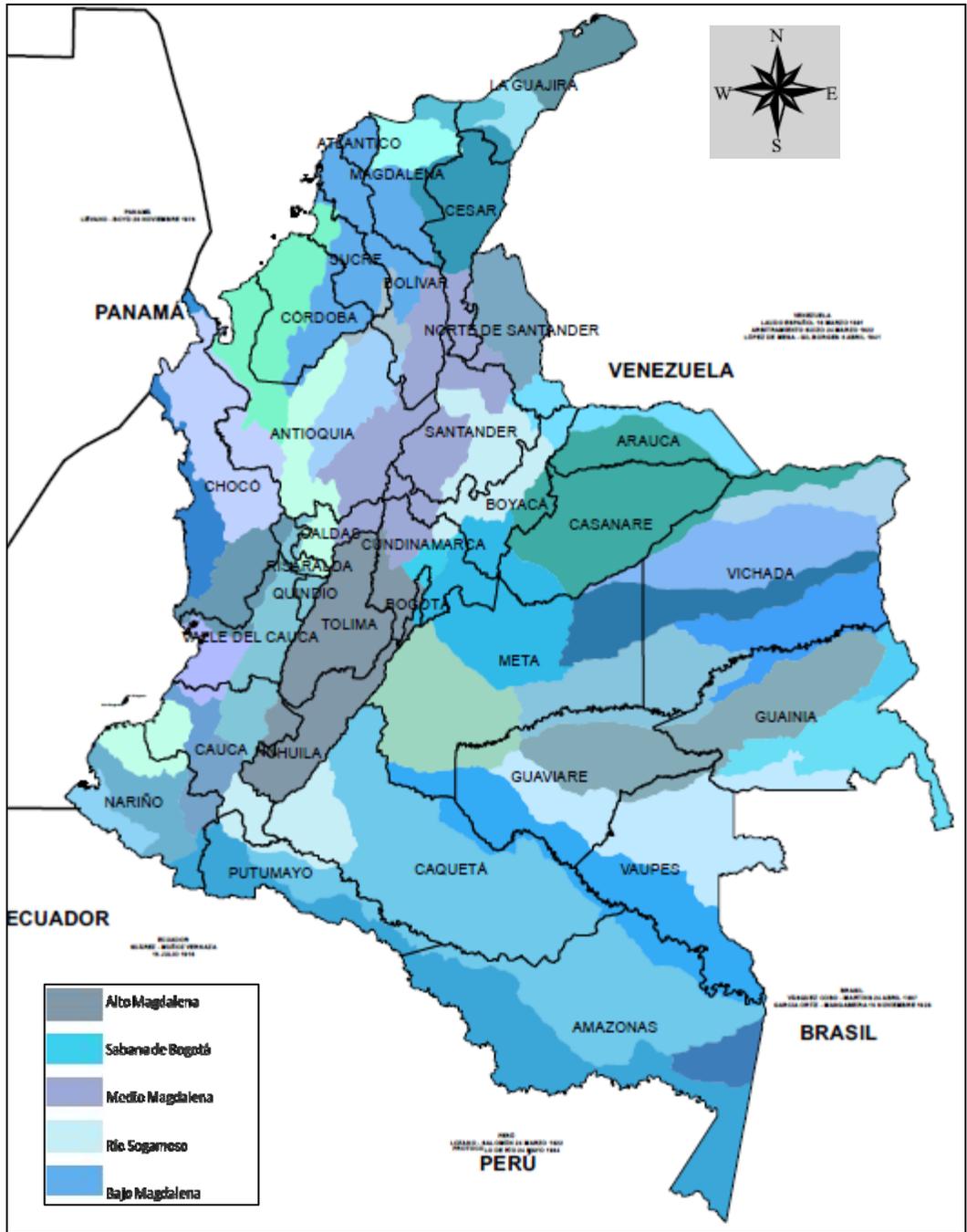
Mapa 2 Velocidades del viento, UPME- IDEAM (2006)

2.4.3 Pequeñas hidroeléctricas

Se identificó un potencial de 25.000 MW, con el 1% instalado mediante 200 PCH's. A 2008 existían instalados 146 MW de aprovechamientos hidroenergéticos menores a 10 MW. Adicionalmente Colombia tiene una precipitación media anual de 3.000 milímetros sobre el 25% del área total del territorio continental que equivale a 274.000 km (UPME,2010) ver (Tabla 4 y Mapa 3).

CUENCA	Área cubierta del territorio Nacional	Oferta Hídrica	Población
Ríos Magdalena y Cauca	25 %	11%	70 %
Ríos Orinoco, Amazonas, Pacífico, Sinu, Atrato, Catatumbo y Sierra Nevada de Santa Marta	75%	89%	30%

Tabla 4 Recurso Hídrico en Colombia



Mapa 3 Cuencas Hídricas UPME 2007 Ministerio de Minas Y energía - IDEAM

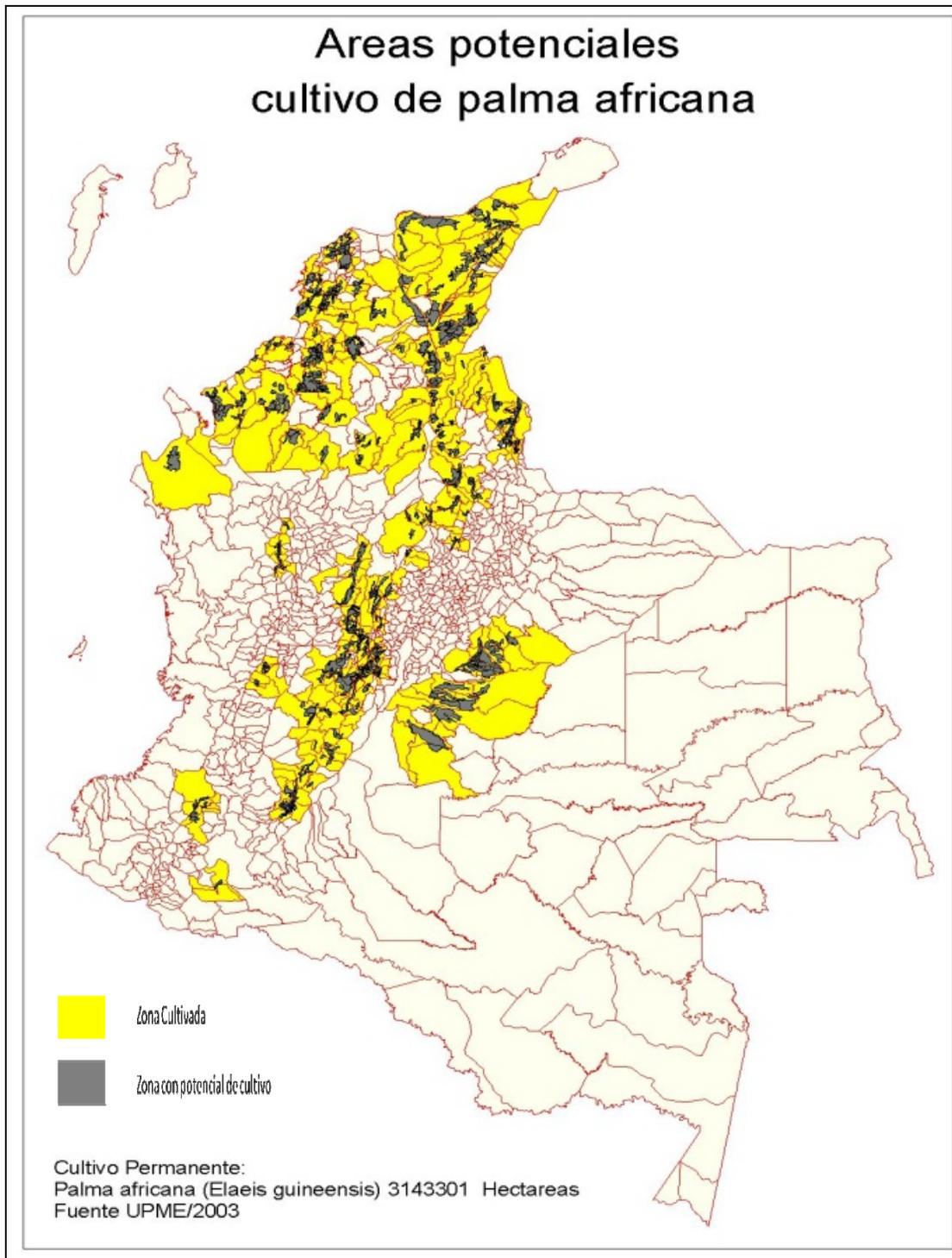
2.4.4 Recurso biomasa

La UPME, en un estudio realizado en 2003, identificó un potencial de 16.267 MWh/año de energía primaria o potencial bruto con 658 MWh/año de aceite combustible, 2.640 MWh/año de alcohol carburante, 11.828 MWh/año de residuos agroindustriales y de cosecha, 442 MWh/año de residuos de bosques plantados, y 698 MWh/año de residuos de bosques naturales.

De acuerdo con la información disponible en la UPME y XM para el 2008 la capacidad instalada de generación con residuos de biomasa es de 26,9 MW que corresponden a plantas en ingenios azucareros que utilizan el bagazo de caña mezclado con carbón para la generación de energía eléctrica.

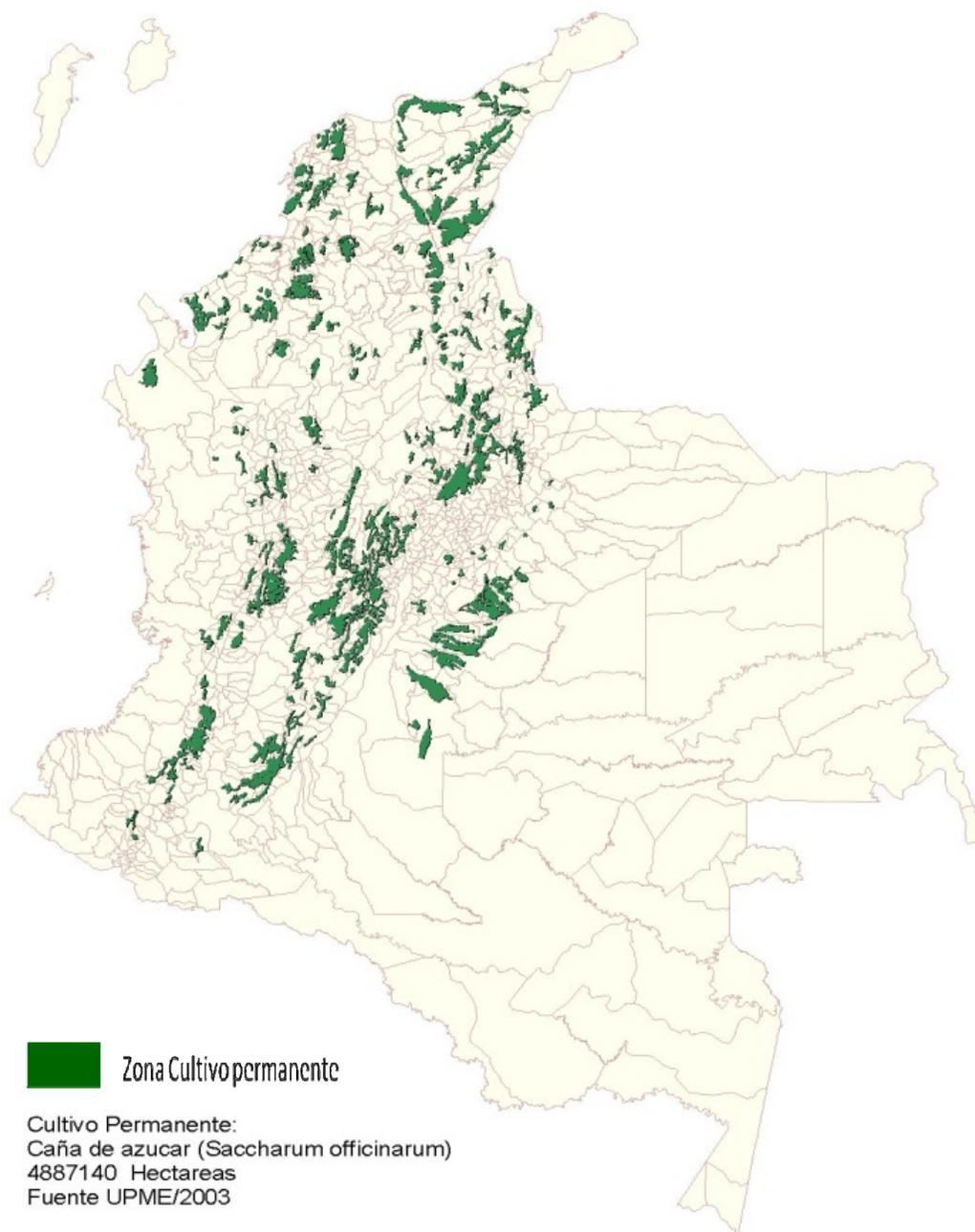
Para la producción de energía por Biomasa también son utilizados la palma Africana con un potencial de 4500 Gwh/año, Cascarilla de arroz un potencial futuro de 10.300Gwh/año y Dendroenergía (cultivo de árboles) 53.000 Gwh/año. Se citan algunos ejemplos en los Mapa 4 y Mapa 5, donde se identifican las áreas potenciales para los cultivos de Palma y caña de azúcar.

Áreas potenciales cultivo de palma africana



Mapa 4 Áreas potenciales cultivos de Palma UPME (2003)

Areas potenciales cultivo de Caña de Azucar



Mapa 5 Áreas potenciales cultivos de caña de azúcar UPME (2003)

La participación de fuentes renovables en la producción de energía en Colombia la podemos observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se evidencia claramente el bajo porcentaje de participación de las alternativas de generación renovables, que actualmente en otros países ya tienen mayor significancia.

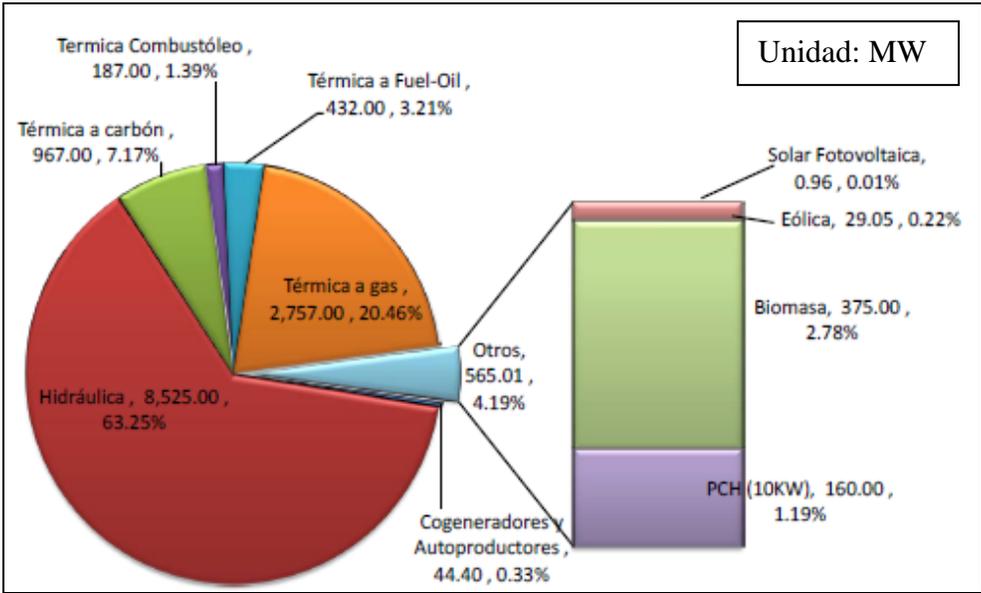


Figura 1 Estimados Agosto 10, (2009). UPME

La mayor participación es por parte de la hidroelectricidad, que se encuentra en el sistema de interconexiones internacionales (Ecuador y Venezuela).

La capacidad instalada actual de las energías en Colombia es de 13.289.5 MW Distribuidos, como lo muestran la Tabla 5 y la Figura 1. Estos son la resultante de sumar los grupos de generación de energía.

Los grupos de generación designados por la UPME, son cuatros en los que hacen referencias a los generadores hidráulicos, térmicos, menores y cogeneradores. La variación presentada para los periodos 2009 y 2010, quiere mostrar los crecimientos o decrecimientos que se dieron entre los grupos de generación en la participación de la canasta energética colombiana.

Recursos	MW	%	Variación (%) 2010-2009
Hidráulicos	8.525	64,1	0
Gas	2.478		
Carbón	990		
Fuel- Oíl	434		
Combustóleo	187		
ACPM	-		
Térmicos	4.089	30,8	-6,3
Hidráulicos	519		
Térmicos	83		
Eólica	18		
Menores	621	4,7	8,2
Cogeneradores	55	0,4	56,9
Total SIN	13.289,50	100	

Tabla 5 Capacidad efectiva neta SIN Dic. 31 2010

2.5 Visión energética en el proyecto Colombia 2019

El potencial en estos recursos es gigantesco. Colombia debe posicionarse como un clúster regional energético, garantizando el abastecimiento en el largo plazo, con señales claras de formación de precio; utilizando las posibilidades en los biocombustible; armonizando los marcos regulatorios e identificando las señales económicas para la expansión de la oferta del sector eléctrico y de las actividades de distribución y comercialización (DNP, 2005).

Colombia deberá aumentar a 99,4% su cobertura de servicio de energía en zonas interconectadas (hoy es 90%) incrementar la capacidad de generación a 16.017 MW (hoy es 13.289 MW) adicionar nuevas reservas de petróleo en 3.500 millones de barriles al año 2019 y llegar a exportar 100 millones de toneladas de carbón (hoy exporta 50,9 millones). Por último, en el sector de la minería, Colombia deberá mantenerse durante los próximos años entre los cinco países de Latinoamérica destino de las inversiones del mundo y duplicar la producción minera (DNP, 2005).

Elevar la participación de las energías alternativas en zonas no interconectadas, existen diferentes modalidades de estas soluciones: energía solar, energía eólica, energía procedente de la biomasa y residuos sólidos, entre otras posibilidades. En los próximos años, en los países en desarrollo, crecerá en importancia el uso de estas energías alternativas debido a su accesibilidad y a las restricciones ambientales, geográficas y de dependencia de la energía convencional. Dadas sus características naturales, Colombia debe potenciar este uso para suplir los vacíos en las zonas apartadas del país y sustituir el uso de combustibles fósiles (DNP, 2005).

Lograr esta meta implicará fortalecer la planeación sectorial en estas áreas y promocionar acciones concretas para incentivar la implementación de estas tecnologías y el apalancamiento e inversión directa con recursos del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) a proyectos cuya provisión del servicio sea de estas características (DNP, 2005).

Las proyecciones de la UPME, mediante una propuesta de cumplimiento de metas en las que evalúa la situación al año 2010 de las energías alternativas en zonas no interconectadas en las que cuenta con 136 MW instalados y prevé tener un crecimiento del hasta de llegar a 329 MW en el año 2019.

El proyecto Colombia 2019 permite al país conocer más sobre estas tecnologías y su futura implementación, además brinda a la sociedad nuevas fuentes de desarrollo y bienestar.

También permite al país entrar en la globalización, ya que a nivel mundial se están implementando las energías renovables como fuentes de desarrollo sostenible y conservación ambiental.

2.6 La exergía como herramienta de valoración

Desde hace algún tiempo se viene hablando sobre la necesidad de integrar la naturaleza en las cuentas económicas tradicionales como una forma de modificar los patrones de consumo de recursos naturales que están afectando las condiciones de vida en el planeta. Se propone incluir los recursos naturales y los servicios de los ecosistemas bajo la denominación de capital natural, complementario a las otras formas de capital incluidas en la función de producción. Diversos autores se han detenido a analizar las relaciones entre estas formas de capital.

El problema surge al intentar dar valor económico a los recursos naturales, la economía ambiental utilizan metodologías de valoración que son más o menos discutibles y, desde la economía ecológica, se desarrollan alternativas para la medida indirecta de la sostenibilidad como son las mochilas ecológicas o el requerimiento total de materiales, o las huellas ecológicas o el requerimientos de espacio. La pregunta que surge entonces es ¿Se puede valorar el capital natural

en unidades físicas como una forma de tener en cuenta a la naturaleza?, autores como Valero y Naredo han buscado en la termodinámica y más exactamente en el segundo principio la respuesta a esta cuestión. El trabajo toma la valoración termodinámica de los recursos naturales asociados a modos de generación con fuentes renovables, teniendo en cuenta las condiciones físicas que hacen los modos de generación útil a la economía, pero considerando también el grado desarrollo tecnológico que han alcanzado los procesos reales de obtención de energía.

Los aportes en teorías exergéticas, son fundamentos que serán el mecanismo evaluador y base para la creación del modelo de evaluación de potenciales, asociados a las condiciones espaciales encontradas. La teoría Termoeconómica nace en la década de los 60 y es propuesta por Evans y Trybus, y plantean la integración entre la termodinámica y la económica, formulando las bases teóricas de una ciencia de ahorro energético y obtener así modelos que recojan la limitación que supone no disponer de una cantidad ilimitada de recursos naturales, buscando criterios generales que evaluar la eficiencia y costos de productos y procesos, en sistemas con consumo intensivo de energía.

Valero y Amaya (2010), presentan el concepto de exergía como el sistema de medición objetivo, para las manifestaciones físicas de la energía, pues entrega resultados que aportan a desarrollar una valoración económica. Argumentan que cualquier recurso natural o artificial, proceso productivo o de emisión de contaminantes se puede valorar con fundamentos exergéticos. Teniendo en cuenta que la exergía es unidimensional, y valora la cantidad y la calidad de la energía intercambiada en cualquier proceso; dado que, la exergía mide la cantidad mínima de energía necesaria en un sistema para su reacción o funcionalidad a partir de los elementos constitutivos que se encuentran en el sistema. El sistema es una condición hipotética, donde todas las sustancias reaccionan y se mezclan, sin energía cinética o potencial, con la presión y a temperatura ambiente.

2.7 Modelos exergéticos para la valoración de potenciales de generación de energía con fuentes renovables

2.7.1 Fundamentación exergética

El concepto de exergía, ha estado siempre presente en el desarrollo de la Termodinámica, aunque su práctica y aplicación en la ingeniería es muy reciente; Gibbs-1878 lo llamó energía utilizable, Darrieus (1930) y Keenan (1932) disponibilidad, Rant(1956) exergía, Evans (1968) exergía.

La exergía de un universo dado (sistema con sus alrededores), en un estado definido, como el trabajo útil mínimo necesario para conseguir ese estado a partir de uno de referencia. La exergía es el máximo trabajo útil que podemos obtener de un flujo de energía dado, en cualquiera de sus formas que sea almacenado o transferido; pero también lo podemos ver como la mínima energía necesaria que se requiera para obtener un producto final.

Aunque de su definición se deduce que la exergía, al igual que la energía, sólo tiene sentido como incremento entre dos estados y no se le puede adjudicar un valor absoluto a un estado, muchas veces se admite implícitamente un estado de referencia estándar y así se puede hablar de la exergía asociada a un estado.

El trabajo útil mínimo tendría lugar cuando no se aumente la entropía del universo, es decir, cuando el proceso sea globalmente reversible (irreversibilidad nula).

La exergía es un parámetro que mide la calidad de la energía, Este puede emplearse para analizar la eficiencia energética de los procesos industriales. Con un análisis de exergía pueden compararse diferentes alternativas para comprobar cuál tiene el mayor rendimiento energético. Sin embargo, no proporciona soluciones por sí misma.

No existe una ley de conservación para la exergía. Cualquier fenómeno irreversible causa una pérdida de exergía, lo que significa una reducción del potencial de los efectos útiles de la energía, o por el contrario a un aumento del consumo de energía, para lograr una generación de trabajo igual.

La exergía puede ser dividida en diferentes componentes:

Las exergías cinética y potencial son totalmente convertibles en trabajo y por tanto coinciden con su energía

Los componentes de Exergía física y Exergía química se calculan mediante variables como la Entalpia y la Entropía.

- Exergía Física: es el trabajo que se puede obtener sometiendo a la sustancia a procesos físicos reversibles desde la temperatura y presión inicial, hasta el estado determinado por la presión y la temperatura del entorno.
- Exergía química: es el trabajo que se puede obtener de una sustancia que se encuentra a la presión y temperatura del entorno, si alcanza un estado de equilibrio termodinámico mediante reacciones químicas.

El análisis exergético se realiza de acuerdo al proceso que se tiene:

- Exergía de un flujo de materia: un proceso de flujo de materia en forma de corriente de un fluido cualquiera en régimen estacionario. Se trata de investigar el trabajo útil máximo que puede obtenerse al llevar dicha corriente desde un estado inicial genérico en el que se encuentra, hasta el estado muerto, con la sola intervención de la corriente y la del ambiente.
- Exergía de un flujo de calor: Partiendo de un proceso de flujo de calor. Si un depósito a la temperatura T cede un calor q , se trata de investigar el trabajo útil máximo que puede obtenerse con la sola intervención del depósito y del ambiente, de este a T_0 . De acuerdo con el Segundo Principio el rendimiento máximo de dicha conversión energética es $1 - T_0/T$
- Exergía química: Un proceso en el cual tiene lugar una reacción química, es decir, un proceso en el cual un flujo de reactivos R en unas condiciones de temperatura y presión T_0 y P_0 , sufre una reacción química para transformarse en un flujo de producto P a las mismas T_0 y P_0

2.8 Relaciones entre la termodinámica, la economía y los recursos naturales

El nacimiento de la termodinámica, brindó el instrumental teórico que ha permitido estudiar las relaciones entre la energía y la economía. Podolinski (1880) con su análisis energético de los rendimientos de la agricultura fue uno de los primeros en destacar el papel de la eficiencia energética para el sostenimiento del sistema económico, posteriormente Soddy (1921) aplicó las leyes de la termodinámica al sistema económico y en el mismo periodo Lotka (1920) explicó el mecanismo de selección natural en términos energéticos. Derivado de éste último es el trabajo de Odum (1922), que enfatiza la relación entre la calidad de la energía y los sistemas vivos.

En los años 70's se publican importantes trabajos sobre las relaciones entre la energía, la termodinámica y la economía. Mención especial merece el libro de Nicolas Georgescu-Roegen (1971) titulado "La ley de la entropía y el proceso económico" donde presenta una visión del proceso económico basada en la física, la química y la biología, y critica duramente la extensión de la física mecanicista a las teorías económicas del valor, así como la ignorancia de las implicaciones de la segunda ley en la visión actual del crecimiento económico. También debe resaltarse en este mismo periodo los trabajos de Odum (1922), Hannon (1987), Cook y Daly (1976).

En 1989 nace la Sociedad Internacional de Ecologistas Económicos (ISEE) con el objetivo multidisciplinario de lograr una economía sostenible. Las áreas específicas de investigación son el modelamiento ecológico, definir los límites ecológicos del crecimiento, la evaluación integral del cambio climático, la reforma

ecológica de los impuestos y la valoración del capital natural (Cleveland, 1996). Es en éste último campo donde ésta tesis busca aportar herramientas metodológicas que permitan hacer contabilidad en la naturaleza utilizando para ello la termodinámica a través del segundo principio.

El segundo principio permite calcular las energías mínimas que la naturaleza ha tenido que disponer para brindar los recursos con unas condiciones de desequilibrio químico y físico con respecto a su entorno natural representado por un ambiente de referencia. Partiendo de la definición de exergía de un recurso natural dada por Szargurt (1980) como “*la mínima cantidad de trabajo que se necesitaría invertir para obtener los recursos naturales a partir de un ambiente de referencia, usando para ello un proceso reversible*”, se hace una primera aproximación al valor, en unidades físicas, el capital mineral natural representado en los principales metales y algunos de más importantes minerales, las reservas de combustibles fósiles y los recursos renovables de agua.

2.8.1 La economía tradicional y el consumo de recursos naturales.

Los límites ambientales al crecimiento económico considerado por Malthus y Ricardo ya en el siglo XIX, indicaban que eran la oferta de tierras de buena calidad y el rendimiento decreciente de la producción agrícola. Para Malthus la cantidad fija de tierra disponible implicaba que, a medida que fuera creciendo la población, los rendimientos decrecientes reducirían la oferta alimenticia per cápita, con lo que los niveles de vida se verían forzados al nivel de subsistencia y la población dejaría de crecer, al mismo tiempo consideraba a los recursos no renovables como un límite físico absoluto a corto, mediano y largo plazo (Pearce y Turner, 1990).

En un modelo más complejo desarrollado por Ricardo (1817), en el largo plazo el crecimiento económico también desaparece debido a la escasez de los recursos naturales. Los rendimientos decrecientes no están centrados en la escasez absoluta, sino en que la tierra disponible varía de calidad y la sociedad se ve forzada a utilizar tierras cada vez menos productivas. Las previsiones sobre suficiencia de recursos son mucho más optimistas, sus supuestos de partida son que los recursos no son homogéneos y que las cantidades de recursos explotables se verán ampliadas por medio de un mayor esfuerzo y un rápido avance tecnológico.

El modelo de Ricardo sobre las pautas del uso de los recursos es similar al pensamiento de algunas ciencias sobre el uso de los recursos minerales. Normalmente los recursos de mejor calidad son los primeros en utilizarse y esto se demuestra con el caso del cobre, el cual su ley mina (concentración mínima para ser explotado económicamente) a principios de siglo era entre el 4 y 5 %, y actualmente se explotan minas cuya concentración apenas llega al 0.5 %. Posterior a Malthus y Ricardo, en 1920, Pigou en su publicación “La Economía del Bienestar”, puntualizó formalmente como los costes y los beneficios que no están

incluidos en los costes del mercado afectan a la manera en que la gente se relaciona con su ambiente, y dio paso a lo que hoy se conoce como la economía ambiental, considerada como la extensión de la economía tradicional a un nuevo campo de análisis (Aguilera y Alcantara, 1994).

Numerosos economistas siguen la lógica de Pigou y afirman que la biodiversidad no está adecuadamente protegida porque su valor no está incluido en las señales de mercado que guían las decisiones de productores y consumidores, y consecuencia el funcionamiento global del sistema económico (Constanza et. al., 1997). En ésta misma dirección se encuentra a Coase, el cual plantea que si bien los mercados puede que no aseguren "la cantidad óptima de externalidad", pueden ser conducidos en esa dirección y de manera muy sutil sin la necesidad de una actividad reguladora completa, por medio de sistemas impositivos o a través del establecimiento de limitaciones cuantitativas (Pearce y Turner, 1990).

Otro de los problemas al que se ha enfrentado la teoría económica tradicional es la asignación intergeneracional de recursos no renovables. En este campo algunos economistas han definido la "tasa óptima de agotamiento del recurso" según la cual, el recurso debería agotarse de tal forma que la tasa de crecimiento del precio sea igual a la tasa de descuento.

2.8.2 El enfoque de la Exergoecología

Generalmente, los estudios basados en exergía y recursos naturales se centran en calcular la cantidad de exergía requerida para la producción de un determinado producto. Probablemente, el más conocido sea el análisis termo-ecológico, propuesto por (2002) El análisis termo-ecológico considera el consumo acumulado de exergía no renovable conectado con la fabricación de un producto incluyendo la exergía adicional requerida para la compensación de las pérdidas ambientales causadas por la emisión de sustancias dañinas al ambiente.

El planteamiento de Valero (1998) en el que hace la combinación a la exergía y a la ecología y tiene como resultante el método Exergoecológico, del cual toma valor el estudio de la razón de consumo que tiene de los recursos naturales. La fundamentación de este método proviene de general del coste exergético desarrollado tiempo atrás por el mismo Valero, el peso de este planteamiento es tener las bondades de la Exergía como mecanismo que proporciona resultados. La exergoecología se define como la valoración exergética de recursos naturales a partir de un ambiente de referencia (A.R.). Permite valorar estos recursos, de acuerdo con el coste físico que requiere la obtención de los mismos a partir de los materiales existentes en una tierra hipotética que se ha llevado al nivel máximo de deterioro. En otras palabras, cuantifica el coste físico de remplazar recursos naturales desde un estado degradado o ambiente de referencia hasta las condiciones en las que se presentan actualmente en la naturaleza.

El objetivo es determinar el stock físico disponible en la corteza continental terrestre actual y analizar cómo y a qué ritmo se está degradando ese stock por la acción humana.

2.8.3 La Exergía y la valoración de los recursos naturales

Una ley fundamental de la naturaleza, la primera ley de la termodinámica, nos informa que ni la materia ni la energía pueden destruirse. La segunda ley pone límites adicionales a la transformación de la energía y refleja características cualitativas. La ley plantea que la energía sólo puede transformarse por el consumo de la calidad.

Localmente, la calidad puede mejorarse, pero esto sólo puede ocurrir a costa de un mayor deterioro de la calidad en otro sitio. El nivel de deterioro de la calidad o desorden se mide a través de la propiedad entropía. Por tanto, la segunda ley de la termodinámica puede formularse de la siguiente forma: En todos los procesos reales de transformación de energía, la entropía total de los cuerpos involucrados sólo puede aumentar o en el caso ideal permanecer constante.

La combinación de ambas leyes indica que no es una cuestión de la cantidad existente de masa o energía, sino de la calidad de esa masa o energía, o en otras palabras en su contenido exergético. Técnicamente, la exergía se define como la máxima cantidad de trabajo que puede extraerse teóricamente de un sistema al evolucionar hacia el equilibrio con su entorno a través de una secuencia de procesos reversibles. Al contrario que la masa o la energía, la exergía no es una propiedad conservativa. Es una propiedad extensiva, con las mismas unidades que la energía. En todas las transformaciones físicas de materia o energía, es siempre la exergía la que se pierde. El análisis exergético es una herramienta muy poderosa para optimizar la eficiencia de procesos y sistemas. Esto lleva a un menor consumo de recursos y a una menor emisión de contaminantes al ambiente. Sin embargo, es un concepto mucho más útil y puede aplicarse para la contabilidad de recursos. Todos los materiales tienen un contenido definible y calculable de exergía, con respecto a un ambiente de referencia externo.

2.8.4 Posicionamiento de los recursos renovables como alternativa

El desarrollo de una propuesta que evalúe la favorabilidad o no de los recursos y su posicionamiento estratégico, podría ser el primer paso para poder evolucionar y contar con inversiones en nuevas formas de producir y distribuir la energía en escalas más pequeñas con sistemas descentralizados. Podría incidir en la reducción en gran medida los grandes riesgos y la posibilidad de futuras pérdidas económicas por fallas en los sistemas de energía, que dejen desprovisto a instalaciones industriales.

Los atributos de seguridad y confiabilidad de los recursos energéticos distribuidos tienen que ser tomados en cuenta explícitamente cuando se evalúan los costos relativos de los sistemas de suministro eléctrico, como es planteado por la AISES WHITE PAPER Transitioning to a Renewable Energy Future (2005). En este también plantean que el liderazgo para la transición hacia las energías renovables debe estar orientado por políticas gubernamentales, pues el interés por las oportunidades económicas y ambientales que se presentarán durante el periodo de ingreso y transición a las energías renovables, desde las energías convencionales incluyendo las fósiles. Esta transición se acelerará conforme los gobiernos descubran la superioridad de las políticas orientadas hacia las energías renovables y sus aplicaciones en las diversas economías, frente a las actuales políticas limitadas que se sustentan en la noción de recursos escasos y en los anticuados y poco confiables sistemas centralizados de producción y distribución energética.

Una vez que se ha definido el sistema, se puede calcular la exergía de cualquier material. La exergía tiene en cuenta todas las manifestaciones físicas que diferencian el sistema de su entorno: altura, velocidad, presión, temperatura, composición química, concentración, etc. Por otra parte, la exergía participa en todas las propiedades del concepto de costo: puede aplicarse para los cálculos en proceso de producción. Pero el proceso debe ser considerado como reversible en todos sus pasos, para contar la exergía como una herramienta contable.

Para Dincer (2002) la Exergía puede ser una herramienta de análisis útil para mejorar la sostenibilidad ya que la energía se conserva, mientras que la exergía se pierde en cualquier proceso irreversible. Análisis exergético de los sistemas pueden identificar cambios sistémicos (fijar las entradas y las salidas de los procesos, discriminando cada sub-actividad realizada en este). Dincer plantea la utilización de exergía como una herramienta eficaz para la política energética, ya que la exergía es una medida de la cantidad y la calidad de las fuentes de energía a diferencia de la energía que se trata sólo de la cantidad.

3. Metodología

3.1 Identificación y medición de las variables particulares para los modos de generación eólica, solar y biomasa

Se desarrollo un estudio de las variables típicas de los modos de generación (Solar: Kwh/m², Eólica: m/s, Biomasa: Joule/Ha) con recursos renovables, posterior a ello se analiza la información secundaria en los que se reporten estas unidades. Inicialmente se contó con la información que presenta la UPME (unidad de planeación minero energética) y estudios de entidades privadas que pudieron suministrar, soportados por la información contenida en el SIGOT y las memorias de cálculos y formatos del Profesor asociado a la Universidad Nacional de Colombia, Ricardo Quijano.

Con la información base identificada, se procedió a desarrollar un proceso de vigilancia tecnológica, con la que se identificaron tecnologías para los modos de generación energética con recursos renovables. Conocidas las condiciones espaciales de los recursos estudiados, se abordaron análisis para el relacionamiento entre las variables de los recursos y los requerimientos planteados necesarios por las diferentes tecnologías. Esto arrojó como resultado, las zonas del territorio con mejores opciones para generación, desde la perspectiva del aprovechamiento de la energía útil.

A continuación se muestran las tecnologías consultadas y evaluadas dentro del estudio:

3.1.1 Tecnología para el aprovechamiento del recurso Solar

3.1.1.1 Tipos de colectores solares

Los colectores solares térmicos son dispositivos capaces de captar la radiación solar y transmitírsela a un fluido, para su posterior aprovechamiento; se dividen en dos grandes grupos.

- **Los Colectores Solares sin concentración:** Los cuales no superan los 70° C aproximadamente, por lo que son usados en las aplicaciones de la energía solar térmica de baja temperatura.
- **Los Colectores Solares de Concentración:** Los cuales, haciendo uso de los métodos de concentración de la óptica, son capaces de elevar la

temperatura de fluido a más de 70° C. Estos se aplican en la energía solar térmica de media y alta temperatura.

Colectores Solares sin concentración: Se caracterizan por no poseer métodos de concentración, por lo que la relación entre la superficie del colector y la superficie de absorción es prácticamente la unidad.

- **Colector solar de Placa Plana:** En general un colector de placa plana actúa como un receptor que recoge la energía procedente del Sol y calienta una placa. La energía almacenada en la placa es transferida al fluido. Usualmente, estos colectores poseen una cubierta transparente de vidrio o plástico que aprovecha el efecto invernadero, formado por una serie de tubos de cobre, los cuales expuestos al sol absorben la radiación solar y se la transmiten al fluido que atraviesa su interior. Su aplicación es la producción de agua caliente sanitaria, climatización de piscinas y calefacción.
- **Colectores de Aire:** Son colectores de tipo plano cuya principal característica es tener como fluido caliente el aire. No tienen una temperatura máxima límite y trabajan mejor en condiciones de circulación normal, pero en contraposición poseen una baja capacidad calorífica y el proceso de transferencia de calor entre placa y fluido es malo.
- **Colectores de Vacío:** Van dotados de una doble cubierta envolvente, herméticamente cerrada, aislada del interior y del exterior, y en la cual se ha hecho el vacío. Su finalidad es la de reducir las pérdidas por convección. Son más costosos, además de perder el efecto del vacío con el paso del tiempo.
- **Tubos de Calor:** Poseen una simetría cilíndrica, formados por dos tubos concéntricos; uno exterior de vidrio y uno interior pintado de negro o con pintura selectiva. El fluido circula por el tubo del interno.
- **Colectores Cónicos o esféricos:** Su principal característica es que constituyen simultáneamente la unidad de captación y de almacenamiento. Su superficie de captación es cónica o esférica con una cubierta de vidrio de la misma geometría. Con estas geometrías se consigue que la superficie iluminada a lo largo del día, en ausencia de sombra, sea constante. Su instalación es sencilla, pero presentan problemas de estratificación del agua y la superficie útil de captación es pequeña.
- **Colectores Solares de Concentración:** Usan sistemas especiales con el fin de aumentar la intensidad de la radiación sobre la superficie absorbente y de este modo conseguir altas temperaturas en el fluido

portador de calor. La principal complicación que presentan es la necesidad de un sistema de seguimiento para conseguir que el colector esté permanentemente orientado en dirección al Sol.

- **Concentradores cilíndricos:** Su superficie reflectora es la mitad de un cilindro. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica
- **Concentradores paraboloídes:** Su superficie reflectora presenta una geometría de paraboloides de revolución. Su aplicación principal es la producción de vapor en una central térmica.
- **Discos parabólicos** son espejos tipo paraboloides de revolución, que se mueven de forma que siempre están orientados al Sol. Este tercer tipo es con el que se consiguen razones de concentración más altas, entre 1000 y 5000.

3.1.1.2 Sistema Disco/Motor Stirling

Un sistema Disco/Motor Stirling es un sistema compuesto de un concentrador solar de tipo colector puntual y un motor Stirling.

A continuación se describe el funcionamiento del Concentrador Solar Puntual (CSP) y el Motor Stirling como una de las formas de aprovechar la Energía Solar Térmica de Concentración (ESTC).

El motor Stirling trabaja con el ciclo que lleva su mismo nombre, el ciclo Stirling. El fluido de trabajo que utiliza es un fluido compresible que, al trabajar en un ciclo cerrado, no emite ningún tipo de contaminante, utilizando como fuente para su calentamiento la energía externa, además de no repercutir en el coste del mantenimiento del motor por la no necesidad de alimentar éste con combustible.

Eficiencia De Esmos-Suncatcher Vs Otras Tecnologías

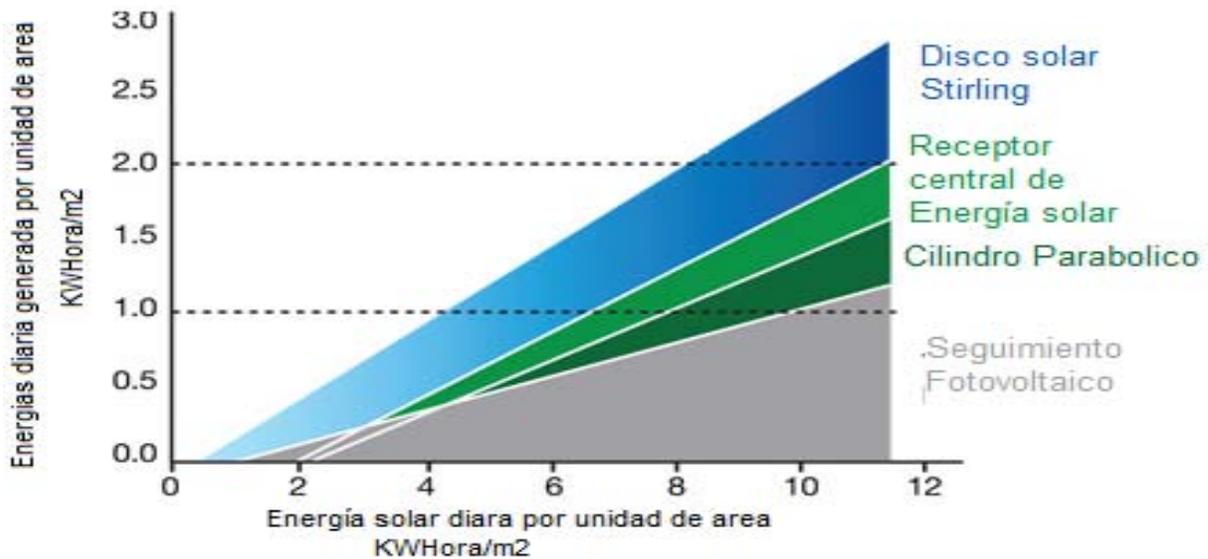


Figura 2 Eficiencia SunCatcher vs. Otras tecnologías.

Fuente Strilingenergy

Pueden ser utilizados concentradores planos o concentradores parabólicos indistintamente. Tenemos un reflector parabólico en forma de disco que concentra los rayos solares en un receptor situado en el punto focal del disco. La radiación de los rayos concentrados se absorbe en el receptor para calentar el gas a unos 750°C o más de acuerdo a la perfección de la fabricación del sistema. Esta temperatura se puede hacer variar dependiendo del área colectora.

Este sistema es capaz de producir un potencial desde 1,1 hasta 25 kilovatios, como lo muestra la Figura 2. Está diseñado para realizar un seguimiento automático del sol, recogiendo y enfocando la radiación durante el tiempo que esté en funcionamiento en el foco caliente del motor Stirling que es la unidad de conversión de energía térmica en energía mecánica la cual es transferida al alternador y convertida en energía eléctrica. La diferencia de temperatura entre el foco caliente y el foco frío basta para generar una diferencia de calor suficiente para que el motor Stirling pueda desarrollar su ciclo completo.

Ofrece una avanzada capacidad de seguimiento de dos ejes de rotación; el plato parabólico se mueve continuamente manteniendo el ángulo óptimo de 90 grados con la radiación solar, lo que optimiza la recogida y concentración de la más alta calidad de la luz solar del 100% del tiempo que está expuesto.

Este sistema logra llegar a una eficiencia probada del 29% de energía eléctrica producida siendo dentro de los sistemas de producción de energía solar térmica de concentración la más eficiente hasta ahora.

Ventajas del Motor Stirling

- Rendimiento optimizado y bajo costo. Propiedad y diseño escalable modular "plug & play" (*enchufe, encienda y listo*) con la más alta eficiencia, fiabilidad y rendimiento a bajos costos competitivos.
- Tolerancia al terreno y flexibilidad. Las unidades SunCatcher pueden ser instaladas en terrenos de pendiente con un máximo de 5 grados. Los Pedestales SunCatcher son clavados en el suelo hidráulicamente, reduciendo los requisitos de clasificación de sitios y la perturbación del suelo, ver (Tabla 6).
- Racionalización del agua y ahorro. El SunCatcher no necesita agua para generar electricidad en refrigeración o ciclos. Sólo una fracción requerida para el lavado de sus espejos. Ahorro de costos se derivado de la ubicación, permisos y ventajas ambientales.

Fabricante	Stirling Energy Systems, Inc. (SESI)
Producto	Solar Dish Stirling System (Alfa)
Tipo de motor	Cinemático (Kockums 4-95)
Cilindros pistón	4
Fluido de trabajo	Helio
Temperatura en el receptor	720°C
Velocidad del eje del motor	1800rpm
Potencia de Salida	25kW
Frecuencia	60Hz
Combustible	Radiación Solar
Mantenimiento	1 vez al año
Vida útil	30 años
Eficiencia	29.4%

Tabla 6. Especificaciones técnicas Motor Stirling

Fuente Stirlingenergy

El sistema Disco solar Stirling, (ver Figura 3) proporciona la mayor eficiencia y rendimiento disponible en el mercado (29.4%), de hecho, muy cercano al máximo valor práctico que tiene el Ciclo Stirling (30%).



Figura 3 Disco/Motor Stirling. www.stirlingenergy.com

3.1.2 Tecnología para el aprovechamiento del recurso Biomasa.

El reconocimiento de biomasa procedente de Cortezas de madera (biomasa sólida) y residuos forestales, como fuente significativa de recursos energéticos, hace un llamado a la optimización de recursos, pues se cuenta con explotaciones de madera, pero no se tiene ningún uso a los desechos del proceso de obtención de madera, por esta condición se llama la atención, para tener una alternativa de generación a partir de la biomasa. La biomasa presenta una característica esencial: la productividad, que equivale a la cantidad de materia viva producida en un lapso de tiempo.

El aprovechamiento integral de esta biomasa tiene ventajas económicas y ambientales: por un lado aporta una fuente de combustible no fósil que reduce los

riesgos ligados al incremento de los precios del petróleo y, por otro lado, sus emisiones de carbono resultan neutras, conforme a lo establecido en el Protocolo de Kioto.

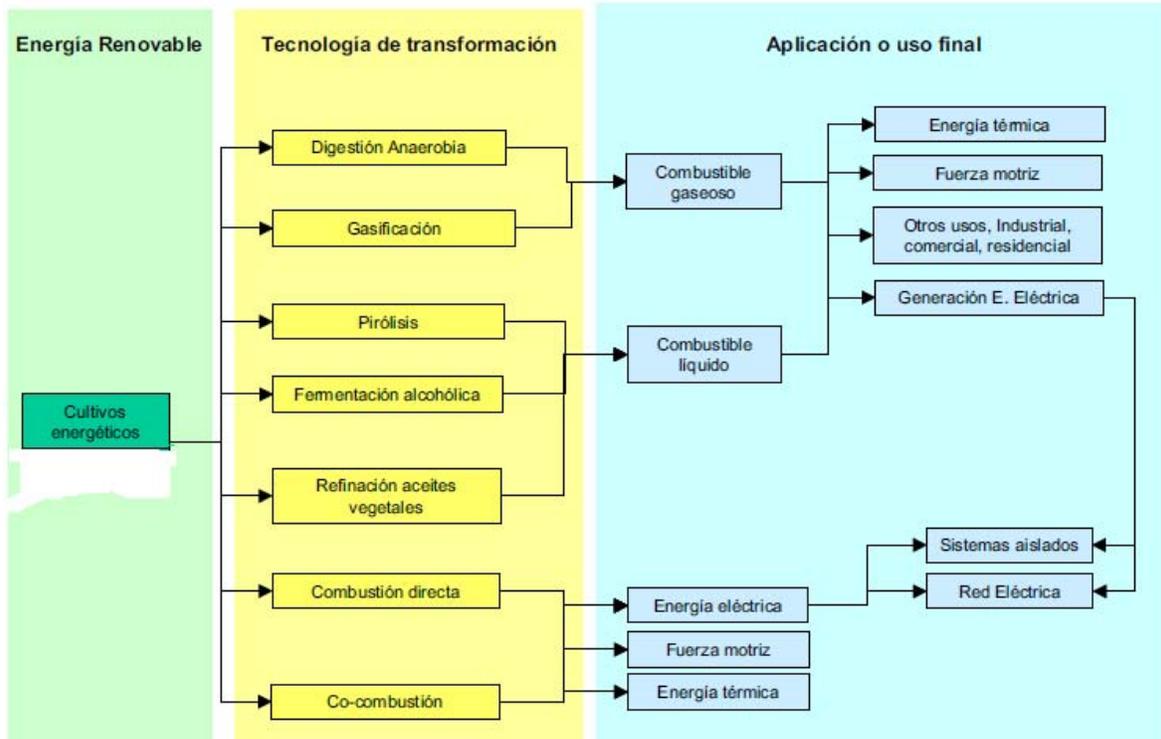


Figura 4 Potencialidades de transformación de la Biomasa (UPME, 2003)

En la Figura 4, se muestran las Aplicaciones y posibles transformaciones de de biomasa en recursos energéticos de alto aprovechamiento, a continuación se detallan los usos finales de la biomasa:

- **Producción eléctrica:** La electricidad puede ser generada a partir de un número de fuentes de biomasa y al ser una forma de energía renovable se le puede clasificar como "energía verde". La producción de electricidad a partir de fuentes renovables de biomasa no contribuye al efecto invernadero ya que el dióxido de carbono liberado por la biomasa cuando es quemado (directa o indirectamente después de que se produzca un biocombustibles), es igual al dióxido de carbono absorbido por el material de la biomasa durante su crecimiento.
- **Calor y vapor:** La combustión de la biomasa o de biogás puede utilizarse para generar calor y vapor. El calor puede ser el producto principal, en usos tales como calefacción de hogares y cocinar, o puede ser un subproducto de la producción eléctrica en centrales combinadas de calor y energía. El vapor generado por la biomasa puede utilizarse para accionar turbinas de vapor para la producción eléctrica, utilizarse como calor de proceso en una

fábrica o planta de procesamiento, o utilizarse para mantener un flujo de agua caliente.

- **Gas combustible:** Los biogases producidos de la digestión o de la pirolisis anaerobia tienen un número de aplicaciones. Pueden ser utilizados en motores de combustión interna para accionar turbinas para la producción eléctrica, puede utilizarse para producir calor para necesidades comerciales y domésticas, y en vehículos especialmente modificados como un combustible.

Tecnología	Capacidades	Eficiencia eléctrica aproximada (%)	Características	Combustibles
Motor (movimiento alternativo)	30 kW- 60MW	27% - 38%	Mediante un motor reciprocante o de combustión interna, se quema un combustible líquido o gaseosos, el motor va acoplado a un generador, a una bomba de agua o a un vehículo.	Diesel, gas natural, gasolina, grandes unidades pueden utilizar dos combustibles (gas natural y diesel o combustibles pesados)
Microturbina	30 - 200 KW	15% - 32%	Son turbinas de gas diseñadas para pequeñas aplicaciones, centros comerciales hoteles, etc. Puede ir acoplada a un generador eléctrico o para proveer un fluido gaseoso a alta presión.	Gas natural, diesel, kerosene, naphtha, metanol, etanol, alcohol, gas de encendido
Microturbina recuperación) (sin)	50-300 KW	17% - 20%		Gas natural
Microturbina recuperación) (con)	50-300 KW	23% - 30%		Gas natural
Motor Diesel (pequeño)	50-300 KW	27% - 39%	Mediante un motor diesel o de combustión interna, se quema fuel oil N°2 o gas, el motor va acoplado a un generador, a una bomba de agua o a un vehículo.	Gas natural y Biodiesel
Motor Diesel (grande)	500-750 KW	34% - 41%		Gas natural y Biodiesel
Caldera y Turbina a vapor (CHP)	3000 KW	30%	Se quema el combustible en un hogar que calienta agua en una caldera y produce vapor a alta temperatura y presión, la cual mueve una turbina a vapor que va acoplada a un generador eléctrico.	Biomasa para combustión
Gasificador	60-70 MW	32%	Se realiza un rompimiento térmico de las moléculas del combustible y se realiza una combustión incompleta con déficit de oxígeno, produciendo CO y CH ₄ , que pueden ser quemados en un motor o microturbina para generar energía eléctrica.	Madera, Residuos de Cosecha, Residuos Agroindustriales
Cogeneración con combustión directa	15-25 MW	60% - 80%	En una instalación con caldera y turbina de vapor se realizan extracciones de vapor para llevarlos a procesos industriales donde se demanda energía térmica. Se genera a la vez energía eléctrica y térmica.	Biomasa para combustión

Tabla 7 Tecnologías de transformación (UPME, 2003)

La Tabla 7 presenta información sobre comparaciones de recursos o combustibles y su capacidad de generación. En esta se puede evidenciar tres condiciones en la que la biomasa, aprovechando su condición de combustible, arroja valores de eficiencia similares a tecnologías convencionales de generación como son las de

aprovechamiento del gas natural; condición que favorece el planteamiento para el aprovechamiento de la los bosques secundarios y los bosques cultivados para la generación de energía.

Tipo de bosque	Área aproximada (ha) En Colombia	Rendimiento (m ³ /ha)	Densidad (Ton/m ³)	Producción de residuos (%)	Poder calorífico (KJ/Kg)	Poder energético bruto (MWh/año)
Bosque gradual	140.000	60	0,39	45	17,794	30,41
Bosque de terraza ondulada	160.000	50	0,57	50	18,421	49,33
Bosque de colina	170.000	45	0,51	50	18,577	42,56
Catival	550.000	80	0,52	40	19,364	208,13
Zona andina 1	250.000	30	0,47	40	18,527	30,68
Zona andina 2	600.000	50	0,59	45	20,044	229,17
Serranía de San Lucas	170.000	60	0,56	45	19,598	59,16
Bosque de galería	120.000	40	0,45	50	17,835	22,62
Piedemonte Amazónico	90.000	60	0,49	45	18,535	25,92

Tabla 8. Características tipos de bosques

La Tabla 8 presenta una descripción de los tipos de bosques, acompañado de los rendimientos por hectáreas, su poder calorífico y demás variables, que aporta al cálculo, al análisis y a la valoración, del recurso de generación. El detalle de los tipos de bosques, ayuda a la referenciación de zonas que por sus características favorece las condiciones de aprovechamiento para la explotación de estos o el planteamiento de cultivos.

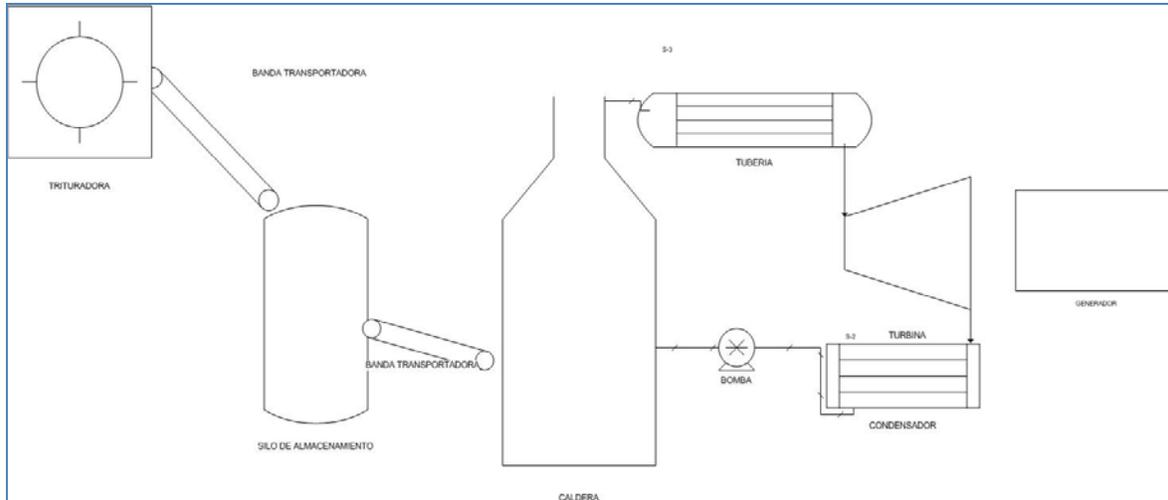


Figura 5 Diagrama del proceso, generación eléctrica a partir de biomasa (fuente propia)

Posterior a la preparación de la biomasa (trituración) se alimenta el recurso energético, ver (Figura 5) por medio de bandas transportadoras que conducen la biomasa triturada hasta los silos donde de manera automática controlan los niveles antes de entrar a la caldera. Dentro de la caldera, se produce la combustión, donde la biomasa se mezcla con arena y aire caliente produciendo su ignición, los gases generados calientan el agua que circula alrededor de la caldera, convirtiéndola en vapor, luego a través de un conjunto de tuberías este vapor es sobrecalentado hasta 500 °C aproximadamente; este vapor a altas presiones se envía a una turbina donde se expande haciendo girar un generador con el que se produce energía eléctrica. El vapor, una vez expandido y con la temperatura muy reducida, se condensa quedando en forma líquida a 35 °C aproximadamente. Este vapor condensado pasa a una bomba y se vuelve a alimentar la caldera para comenzar de nuevo el ciclo de agua-vapor.

3.1.3 Tecnología para el aprovechamiento del recurso Eólico

La clasificación de los aerogeneradores se puede realizar, partiendo de dos criterios:

- Según la posición del eje

Los aerogeneradores de eje horizontal y los de eje vertical.

Los aerogeneradores de eje horizontal son los que el eje de rotación del aerogenerador se encuentra paralelo al suelo. Los aerogeneradores de eje vertical son los que el eje de rotación está perpendicular.

Por motivos de eficiencia y mayor rendimiento, el tipo de aerogenerador más habitual en la actualidad es el aerogenerador de eje horizontal.

- **Aerogenerador de eje horizontal:** su eje de rotación se encuentra paralelo al suelo.

Los aerogeneradores horizontales tienen su eje de rotación principal en la parte superior de una torre y necesitan un mecanismo de orientación para hacer frente a los cambios bruscos en la dirección del viento.

- En la actualidad la mayor parte de aerogeneradores comerciales son de eje horizontal debido al mayor rendimiento que producen.
- **Aerogenerador vertical:** son de fácil instalación, no necesitan una gran torre para su funcionamiento.

El equipo que se tomó como referencia para los cálculos energéticos y exergéticos, fue el aerogenerador Nordex N60, (Tabla 9 y la Figura 6). Esta consideración o elección de este equipo, se fundamenta en que esta es una máquina industrial y comercialmente reconocida dentro del campo de generación eólico, además, se cuenta con equipos como estos ya instalados en el país, como es el caso del complejo Jepirachi en La Guajira, propiedad de EPM.

Potencia nominal	250/1300 Kw por unidad
Diámetro del rotor	60 m
Altura de la torre	60 m
Peso total	21,5 toneladas
Velocidad de rotación	12,8 /19,2 RPM
Numero de aspas	3
Longitud de aspas	29 m
Potencia generador	250/1,300 Kw
Voltaje	690V

Tabla 9 Especificaciones técnicas aerogenerador N60/1300 NORDEX



Figura 6 Aerogenerador NORDEX N60/1300. <http://www.nordex-online.com>

3.2 Caracterización espacial de los recursos renovables en Colombia.

Mediante una plataforma SIG, Sistemas de información geográfica, se adelantó un proceso de digitalización y Georreferenciación de la información, en la que se le adjuntaron los atributos específicos a cada zona, con el propósito de tener ubicado espacialmente y con el número de capas necesarios para tener informados las diferentes variables asociadas a los modos de generación. También se georreferenciaron las posibles zonas con restricciones ambientales, forestales u otras, en las que por disposiciones legales, no puede ser posible tener el aprovechamiento del territorio. De acuerdo a las características propias de las zonas evaluadas, los Sistemas Geofísicos del Territorio han sido definidos como

aquellas regiones geográficas que fueron analizadas desde la óptica del aprovechamiento eficiente de sus potencialidades energéticas.

A continuación se muestra el proceso de construcción:

3.2.1 Uso del SIG como plataforma de referencia espacial.

El SIG, proporcionará una plataforma que servirá como medio planificación y gestión del territorio, cuyo objetivo fue la identificación y estimación de potencialidades del territorio mediante el uso de herramientas de referenciación y de modelación. Lo constituyen los siguientes elementos:

3.2.2 Plataforma Informática.

Es el Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual contiene, de manera georreferenciada, variables relevantes para el proceso de Gestión Territorial, las cuales están inmersas en diferentes ejes temáticos o capas de información:

- I. Cartografía base
- II. Áreas de reservas especiales
- III. Estudio de vientos
- IV. Estudios de radiación
- V. Evaluaciones de recursos dendroenergéticos

3.2.3 Sistema estadístico del Territorio

Este componente utiliza como insumo y datos de entrada aquellos contenidos en la Plataforma Informática y como resultado de un procesamiento y modelación se obtienen los mapas de distribución de potencialidades del territorio.

3.2.4 Diseño e implementación del SIG

La información relacionada al sistema geofísico definido, ha sido recolectada mediante la recopilación y digitalización de información proveniente de fuentes secundarias.

La información concerniente a los análisis de potenciales de generación, es almacenada en el bloque de Información analítica, el cual integra y correlaciona la información contenida en los otros tres.

La construcción del Sistema de información Geográfica se realizó en la siguiente secuencia:

3.2.4.1 Recopilación y Obtención de Datos

Para las capas de información se recopiló información secundaria, proporcionada por el IGAC, mediante el SIGOT y las memorias del profesor Ricardo Quijano, el cual para su tesis doctoral, desarrollo un programa llamado "ModerGIS", en el que se recopila y analiza información bajo la plataforma GIS, para estudiar las congruencias de las variables en los planes energéticos del país.

3.2.5 Metodología Para el Diseño y Construcción del Sistema de Información

Para que un componente de análisis se establezca como un potencial se identifican los principales factores que lo convierten en oportunidad o en amenaza sobre el patrimonio, los bienes o sobre la población. Es decir, el ser potencial depende del análisis de factores como:

- Condiciones de bosques de la zona.
- Disponibilidad de recursos hídricos y energéticos.
- Facilidad de acceso.
- Demanda y oferta actual y futura.

Estos factores pueden tener efectos diferentes en diferentes zonas dentro del territorio estudiado, por lo tanto el Sistema estadístico modelo, para cada zona, el valor o nivel del potencial. Es decir, sí $Y(X_i)$ es potencial que se desea estimar en el punto X_i , entonces:

$$Y(X_i) = \alpha_1 + \alpha_2 * Z_1 + \alpha_3 * Z_2 + \alpha_4 * Z_5 + \dots + \alpha_{n-1} * Z_n$$

Donde $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, son los pesos o efectos de los diferentes factores Z_1, Z_2, Z_3 sobre el nivel del potencial.

3.2.5.1 Etapas del procesamiento de la información dentro del SIG:

i) Análisis topológico de la información disponible

El análisis topológico es el proceso mediante el cual se valida la geometría de las capas de información incluidas en el SIG, esto con el objetivo de evitar errores de procesamiento e interpretación de la información al momento de realizar los respectivos análisis espaciales de los potenciales.

Luego de realizados los análisis espaciales y las calificaciones de formas a las capas de información cartográfica digital en formato tipo ".shp", se procede a ejecutar los respectivos análisis topológicos a cada una de estas capas.

Para el desarrollo de estos análisis topológicos se hace necesario ingresar en una Geodatabase, junto con los *feature dataset* y *feature class* correspondientes, toda la información en formato ".shp" disponible, donde a cada *feature class* se le

definen las reglas topológicas que le correspondan en función de su geometría y tipo de información. Posterior a su definición, la topología de cada *feature class* es validada, permitiendo de esta manera conocer las necesidades o errores de edición que tienen estos *feature class*.

El proceso de validación topológica concluye con la edición y corrección de los errores topológicos identificados durante la validación.

ii) Montaje del SIG

Una vez se tiene la Geodatabase del proyecto totalmente completa y validada se procede a convertir todas las capas a formato Raster, para lo cual se construyen los respectivos “*model builder*” a cada uno de los geopotenciales evaluados en este proyecto. A estos “*model builder*” se ingresan, mediante un proceso de “rasterización”, la información concerniente a los diagramas relacionales, sus respectivos análisis espaciales y las correspondientes calificaciones de forma. Con la información disponible se pueden realizar análisis preliminares de geopotenciales de los recursos energéticos estudiados.

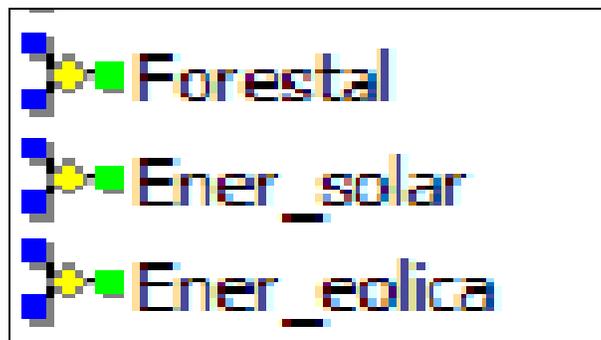


Figura 7 Model Builder diseñados para cada uno de los geopotenciales evaluados

La Figura 7 muestra el proceso de “rasterización” vías, incluidas en el “model builder” para la evaluación del geopotenciales en las zonas con valores favorables.

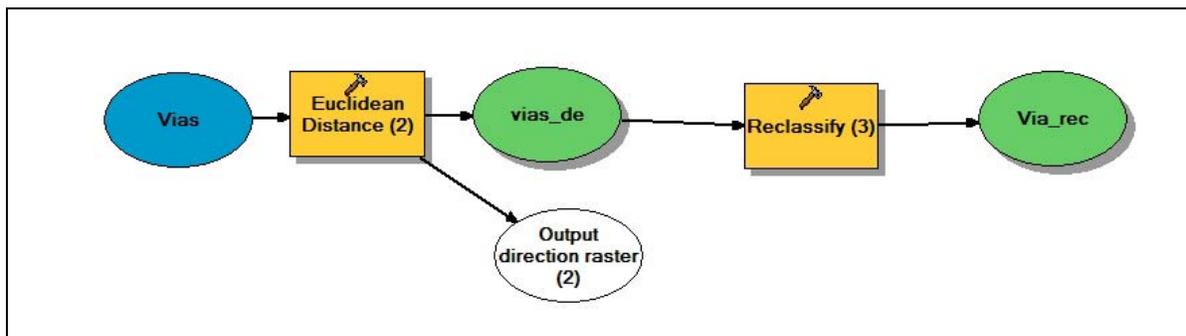


Figura 8 Rasterización para capa “Vías”

Posteriormente, con todas las diferentes capas de información convertidas a formato "Raster", se realizan las operaciones de álgebra de mapas necesarias para analizar las probabilidades de existencia de diferentes geopotenciales disponibles en la zona, (ver Figura 8). Después de la construcción de estos modelos se realizan las correspondientes pruebas o ensayos para verificar la calidad de los resultados arrojados por este Sistema de Información Geográfica.

La incidencia que tienen las capas o variables de información en la existencia de un geopotencial dependerá de la clasificación y caracterización de cada una de estas; es así como en el caso de la velocidad del viento, la favorabilidad de velocidades y la presencia específica de vientos en una zona, es un ejemplo típico.

Con la información disponible fue factible realizar el análisis preliminar de los geopotenciales para los recursos biomasa, solar y eólico; se muestran los mapas en el capítulo de resultados. Para los análisis se utilizó información concerniente a las capas de recursos energéticos, parques nacionales, bosques, paramos, comunidades negras y resguardos, las cuales aplicaban como restricciones o zonas restringidas, debido al planteamiento de las premisas en el estudio de potenciales, asociado a esto se involucra el criterio de buscar las condiciones para contar con emplazamientos industriales para la generación de energía partiendo de fuentes renovables.

La probabilidad de existencia del geopotencial en la región fue calificada, tomando como valor de probabilidad para el geopotencial a estudiar, como el menor valor presentado por las tecnologías estudiadas, para la generación de energía; bajo este criterio, se asume la condición más conservadora de la valoración. Las zonas en color blanco corresponden a áreas restringidas donde la legislación no permite el desarrollo de proyectos y/o en los que los valores no alcanzaban el rango mínimo exigido por las tecnologías.

3.3 Marco legal asociado a las energías renovables

Dentro de la normatividad que abarca las energías alternativas esta la ley 697 de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, y se promueve la utilización de energías alternativas que dispone:

Art 2 El Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la presente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.

Art 3 definiciones:

- Fuentes no convencionales de energía: Para efectos de la presente ley son fuentes no convencionales de energía, aquellas fuentes de energía 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.
- Energía Solar: Llámese energía solar, a la energía transportada por las ondas electromagnéticas provenientes del sol.
- Energía Eólica: Llámese energía eólica, a la energía que puede obtenerse de las corrientes de viento.
- Geotérmica: Es la energía que puede obtenerse del calor del subsuelo terrestre.
- Biomasa: Es cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos.
- Pequeños aprovechamientos hidroenergéticos: Es la energía potencial de un caudal hidráulico en un salto determinado que no supere el equivalente a los 10 MW.

Art 4. Entidad responsable

- Promover el uso de energías no convencionales dentro del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de Energía no Convencionales (PROURE), estudiando la viabilidad tecnológica, ambiental y económica.

Art 5 Creación de PROURE. Créase el Programa de Uso Racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales "PROURE", que diseñará el Ministerio de Minas y Energía, cuyo objeto es aplicar gradualmente programas para que toda la cadena energética, esté cumpliendo permanentemente con los niveles mínimos de eficiencia energética y sin perjuicio de lo dispuesto en la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.

Art 7 Estímulos y sanciones.

- a. Para la investigación: El Gobierno Nacional propenderá por la creación de programas de investigación en el Uso Racional y Eficiente de la Energía a través de Colciencias, según lo establecido en la Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991.
- b. Para la educación: El Icetex beneficiará con el otorgamiento de préstamos a los estudiantes que quieran estudiar carreras o especializaciones orientadas en forma específica a aplicación en el campo URE.
- c. Reconocimiento Público: El Gobierno Nacional creará distinciones para personas naturales o jurídicas, que se destaquen en el ámbito nacional en aplicación del URE; las cuales se otorgarán anualmente. El Ministerio de Minas y Energía dará amplio despliegue a los galardonados en los medios de comunicación más importantes del país.

- d. Generales: El Gobierno Nacional establecerá los incentivos e impondrá las sanciones, de acuerdo con el programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, de acuerdo a las normas legales vigentes.

3.3.1 Mecanismos de incentivos para las energías renovables.

Con el avance de tecnologías que permiten el mejoramiento de energías alternativas son necesarios mecanismos de incentivos para fomentar el desarrollo de fuentes de electricidad alternativa, que traen consigo beneficios sociales, económicos y ambientales. Debido a los altos costos de estas tecnologías, estos incentivos son utilizados como subsidios y así poder obtener una energía competitiva, con las energías renovables.

Desde 2.001 Colombia de manera proactiva ha instaurado reformas y proyectos legislativos tendientes a promover la penetración de energías renovables en el mercado (Botero 2010).

Para establecer los mecanismos de incentivos se establece la siguiente clasificación (ver Tabla 10)

Clasificación	Instrumento Público
Políticas Obligatorias	- Regulación y Reglas Generales - Obligaciones/Portafolio Estándar
Políticas Económicas	- Incentivos tributarios - Precios Garantizados/Feed In - Subsidios, concesiones o reembolso de capital - Financiación por terceros - Impuestos a los combustibles
Políticas de Investigación y Desarrollo	- Investigación y desarrollo
Políticas de gestión y operación	- Sistemas de licitación - Compras del gobierno - Sistemas de precios verdes - Certificados comerciales de energía renovable –CER - Programas voluntarios - Conciencia pública - Energización rural - Medición neta

Tabla 10 Clasificación mecanismos para incentivos (Botero et al, 2007)

- Políticas económicas: existe gran variedad de políticas y medidas económicas; se puede dividir en dos clases:
 - o Proporcionan incentivos, sean subsidios, precios preferenciales, préstamos a bajo interés por el desarrollo de energías renovables.
 - o Políticas que no proporcionan incentivos para energías convencionales, como impuestos por emisión de CO₂, combustibles fósiles.

En la clasificación de mecanismos de incentivos por políticas económicas se encuentran:

- o Incentivos tributarios: créditos exenciones y descuentos en impuestos por generar o vender energías renovables.
- o Precios garantizados/Feed In: ofrece un precio garantizado para la venta de energía, depende del precio fijado, este permite que haya un crecimiento, si el costo es muy alto.
- o Subsidios, concepciones o reembolso del capital: Este mecanismo es usado para incentivar la intervención del sector privado e inversiones que no representan un alto nivel de rentabilidad. En el caso particular de las energías renovables, en este incentivo se encuentran los subsidios directos a la inversión, producción, de los fondos nacionales de energías renovables y los incentivos a los impuestos (UNEP, 2002).
- o Financiación y terceros: Existe un convenio entre el gobierno y un inversionista privado, donde la parte estatal asume el riesgo.
- o Impuestos a los combustibles fósiles: con este mecanismo se pretende el uso de combustibles fósiles, asignándolos un impuesto por la contaminación generada por los gases CO₂, SO_x, NO_x.
- o Políticas de Investigación y desarrollo: Relación con el gobierno y la forma como apoyan la investigación y el desarrollo de las tecnologías renovables.
- o Políticas de gestión y operación: es un mecanismo más operativo, donde son usados métodos administrativos y de mercado para el desarrollo y la generación de energías renovables. Se pueden dar por instituciones estatales o empresas privadas.
- o Sistemas de licitación o competencia: en este mecanismo el gobierno otorga subsidios a inversionistas privados mediante un proceso de licitación, con lo cual cubren los costos para la producción de energías renovables; en este procedimiento se genera un espíritu competitivo durante el proceso de construcción y operación de los proyectos de energías limpias, para la selección del proyecto para otorgar el subsidio es necesario que tenga los costos de producción más bajos.
- o Compras del gobierno: El gobierno hace las veces de consumidor, para invitar a potenciales vendedores, que le puedan brindar energías renovables.

- Sistemas de precios verdes: Mediante este sistema se permite la compra de electricidad; a los usuarios que se acogen a esto se les cobra en la factura de servicios públicos una prima, para cubrir el costo adicional de las energías renovables.
- Certificados comerciales de energía renovable (CER): Los certificados permiten a las empresas y a las personas apoyar la generación de energía renovable. Cuando se genera energía eléctrica renovable, cada MW/h se divide en dos productos independientes: electricidad como producto básico y atributos de energía renovable. Un certificado comerciable de energía renovable representa los atributos ambientales y de otro tipo relacionados con la energía renovable de una cantidad determinada de generación renovable (GILLENWATER, 2008). Mediante los CER se puede tener un registro de la cantidad de energía renovable producida y que los beneficios entregados mediante estos certificados se hagan efectivos para todos los clientes.
- Programas voluntarios: compra de energías renovable a proveedores de energía aunque es considerado un programa voluntario, se encuentran algunos beneficios por hacerlo, algunos de ellos son:
 - Generación de fondos adicionales provenientes de los consumidores
 - Menor uso de recursos gubernamentales
- Conciencia pública: creación de programas por parte del gobierno para crear conciencia pública sobre el beneficio de las energías alternativas, a través de campañas educativas y difusión de información.
- Energización rural: la aplicación de energías renovables no sólo es aplicable para las grandes ciudades, también se debe hacer en las zonas rurales, y zonas que no pertenezcan al sistema de conexión nacional, aunque en las zonas rurales la generación de energía renovable se hace desde el mismo lugar, debido a la poca población y a las características del lugar.
- Medición neta: mediante este mecanismo se permite que los clientes de energías renovables, aporten lo al sistema lo que no utilicen, de igual forma tomen de allí cuando sea necesario.

3.3.2 Barreras a la aplicación e implementación de energías renovables.

Barreras de entrada: es un concepto económico utilizado en defensa de la competencia y la regulación sectorial. Es necesario tener claridad en los fundamentos económicos para una utilización adecuada y así evitar una mala aplicación en las decisiones de competencia y medios reguladores. Las barreras de entrada las podemos definir como todas las dificultades que imposibilitan el ingreso de nuevos operadores en un determinado mercado.

El consumidor final se convierte en el más afectado, cuando no hay una buena regulación debido a los altos costos de los productos por la falta de competencia.

Es necesario identificar las barreras de entrada de un determinado mercado, teniendo en cuenta:

- Si las barreras son creadas voluntariamente por las empresas presentes en el medio, con el fin de protegerse en beneficio propio.
- Si las barreras son creadas por medidas regulatorias, para estas formar la normatividad con el fin de eliminar las barreras.

En ausencia de las barreras de entrada, la amenaza de entrada de nuevos operadores en el mercado controla la política de precios de las empresas existentes sin necesidad de que el número de empresas que en él operan aumente. De esta manera, un mercado “atacable” o “expugnable” (así se denomina un mercado sin barreras de entrada), puede dar lugar a precios competitivos incluso con muy pocos operadores.

Algunas de las barreras de entrada en el mercado eléctrico son:

- En el sector eléctrico las principales barreras de entrada que suelen identificarse son de naturaleza administrativa o regulatoria.
- El aislamiento exterior, debido a la escasa capacidad de interconexión del sistema eléctrico con otros países en el momento sólo se cuenta con Venezuela y Ecuador.
- Los altos costos, debido a la instalación además del largo período de recuperación de las inversiones.

Para superar estas barreras se han diseñado distintos instrumentos clasificados así:

- Instrumentos económicos: Los incentivos económicos ocupan una posición central para promover programas y proyectos de eficiencia energética en la búsqueda de un modelo de producción sostenible económica, energética, ambiental y socialmente. La UPME conjuntamente con el IFI y BANCOLDEX ha diseñado un esquema de incentivo indirecto para apoyar la incorporación de tecnologías eficientes y la optimización del uso de la energía en los sectores productivos, a través de dos líneas de crédito. Si bien las líneas de redescuentos ya están operativas, su impulso y puesta en marcha definitiva mediante divulgación y acompañamiento tanto a industriales como a la banca de primer piso, es una labor que se debe adelantar de manera prioritaria.

La efectividad de estas acciones se ven incrementadas mediante medidas como la internacionalización de costos ambientales aplicando el principio (quien contamina paga) lo cual haría más competitivo las energías amigables con el ambiente (UPME, 2002).

- Instrumentos Legales: Uno de los obstáculos encontrados ha sido la ausencia de un adecuado marco legal y regulatorio como elemento indispensable para consolidar la existencia de un mercado de servicios. La expedición de la Ley 697 de 2001 apunta a levantar esta barrera. La reglamentación de la mencionada Ley es un paso indispensable para hacer efectivos los mecanismos en ella plasmados. En dicha reglamentación se deberá dar cuerpo al Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía “PROURE”, creado en la Ley (UPME, 2002).

3.3.2.1 Barreras técnicas

- Insuficiente información sobre los recursos de energías renovables (CEPAL, 2004, p 59)
- Falta de pago por capacidad para proyectos eólicos (CEPAL, 2004, p 59).
- Recursos embotellados por falta de capacidad de transmisión. Los proyectos de energías renovables están atados a la localización del recurso, lo cual no coincide con la localización de los centros de consumo y por lo mismo con las redes que transmiten energía eléctrica (CEPAL, 2004, p 59).
- Limitada capacidad técnica para diseñar y desarrollar proyectos (CEPAL, 2004, p 60).
- No se reconoce su valor como elementos de regulación de voltaje y disminución de pérdidas en zonas no interconectadas, de lo modos de generación renovables (CEPAL, 2004, p 60).

3.3.2.2 Barreras regulatorias

- Plazos demasiado cortos para los contratos de compra de energía.(CEPAL, 2004, p 60)
- Límites a la capacidad instalada en energías renovables (CEPAL, 2004, p 60).

3.3.2.3 Barreras Económicas – financieras

- Impuestos sobre inversión (CEPAL, 2004, p 60).
- Dificultad de acceso a los mercados mayoristas (CEPAL, 2004, p 60).
- Los precios del mercado VSRW no pueden sustentar nuevas inversiones (CEPAL, 2004, p 61).
- Altos costos de transacción para proyectos de energías renovables (CEPAL, 2004, p 61).
- Poco desarrollo de cadenas de suministro y servicio de sistemas que aprovechan la energía renovable en zonas fuera de la red eléctrica. (CEPAL, 2004, p 61).

3.3.2.4 Barreras institucionales

- La preeminencia, en los hechos, de la política energética sobre la política ambiental (CEPAL, 2004, p 62).
- Beneficios no reconocidos por las autoridades energéticas (CEPAL, 2004, p 62).
- Tendencia a privilegiar la extensión de la red sobre el aprovechamiento de energías renovables (CEPAL, 2004, p 62).
- Existen límites del concepto de adicionalidad que no favorecen el aprovechamiento del MDL en los proyectos relacionados con la leña y el etanol” (CEPAL, 2004, p 62).

3.3.2.5 Barreras sociales

Cultura del no pago. Se trata de una de las barreras culturales más importantes a que se enfrenta la sustentabilidad de los proyectos de energías renovables en electrificación rural. En particular, se reconoce que este tipo de proyectos requieren que las comunidades se apropien del valor de este tipo de instalaciones, y esto no se logra cuando no tiene costo para la comunidad (CEPAL, 2004, p 62).

3.3.2.6 Barreras regionales

Contratos de largo plazo para el mercado eléctrico regional (CEPAL, 2004, p 63).

3.4 Ejemplo de matriz de comportamiento y proyecciones de energías renovables en otros países

3.4.1 Casos de evaluaciones y proyecciones en EEUU y Reino Unido

Se presenta las actuales matrices energéticas de Estados Unidos y Reino Unido, analizando la evolución histórica de su conformación, tanto en capacidad instalada como en energía generada, al igual del comportamiento histórico de las demandas energéticas de cada país. También se presenta una las proyecciones de estas demandas energéticas de cada país, así como la evolución proyectada de las respectivas matrices energéticas con horizonte de veinte años.

En efecto, la actual matriz energética está organizada alrededor de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), que proveen casi el 80% del consumo actual de la energía mundial. Y sólo el petróleo contribuye con más de

un tercio del total de las fuentes de energía primaria, lo que evidencia la dependencia global del mismo.

De este modo la seguridad energética, tanto en lo que se refiere a la garantía de su acceso así como a la calidad de las mismas en términos de emisión de CO₂, es considerada como un tema estratégico y de defensa nacional, especialmente en los países desarrollados.

Ante esta situación se plantean dos cursos de acción posibles para asegurar la sustentabilidad de la matriz energética:

- Hacer un uso sustentable de los combustibles fósiles.
- Cambiar las fuentes de energía por ejemplo, usando energías renovables o energía nuclear.

Se pretende presentar la situación energética de tres potencias como EEUU, Gran Bretaña y Francia, mostrando también las estrategias y medidas proyectadas para responder a este nuevo orden energético mundial.

3.4.2 Matriz energética de Estados Unidos

La matriz energética de Estados Unidos se encuentra entre las de mayor relevancia a nivel mundial y se caracteriza por ser bastante diversificada. Una de las que posee mayor capacidad instalada de energías renovables, entre las que destacan la energía hidroeléctrica y la eólica, como se verá más adelante, la producción de energía eléctrica con combustibles fósiles sobrepasó el 70% durante el 2008.

La matriz energética de EEUU posee un déficit interno de energía. Este fenómeno comenzó a ocurrir a mediados de los 50s, y es así como el año 2008, un 26% de la energía total consumida por el país provino de fuentes externas. El siguiente gráfico muestra la producción, consumo e importación de energía total durante el periodo 1970-2008, (ver Figura 9)

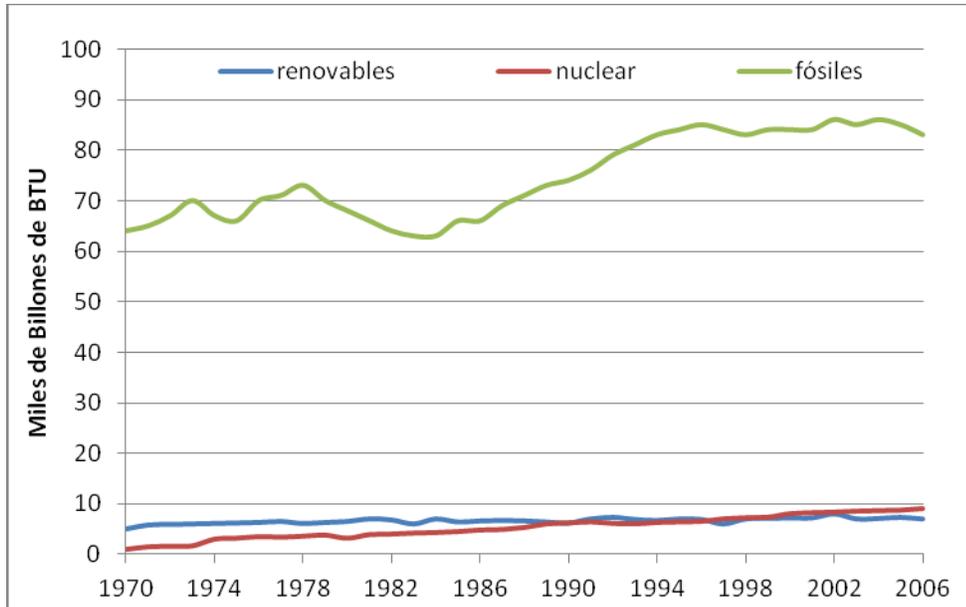


Figura 9 Visión general del consumo de energía primaria en EEUU.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Durante 1950 se comenzó a usar energía nuclear para la producción de electricidad. En 1988 las energías renovables, las que consideran además la energía hidroeléctrica, superan por primera vez la energía nuclear como fuente energética. En la Figura 10 se muestra la evolución de la energía consumida por fuente de consumo para el periodo 1970-2008:

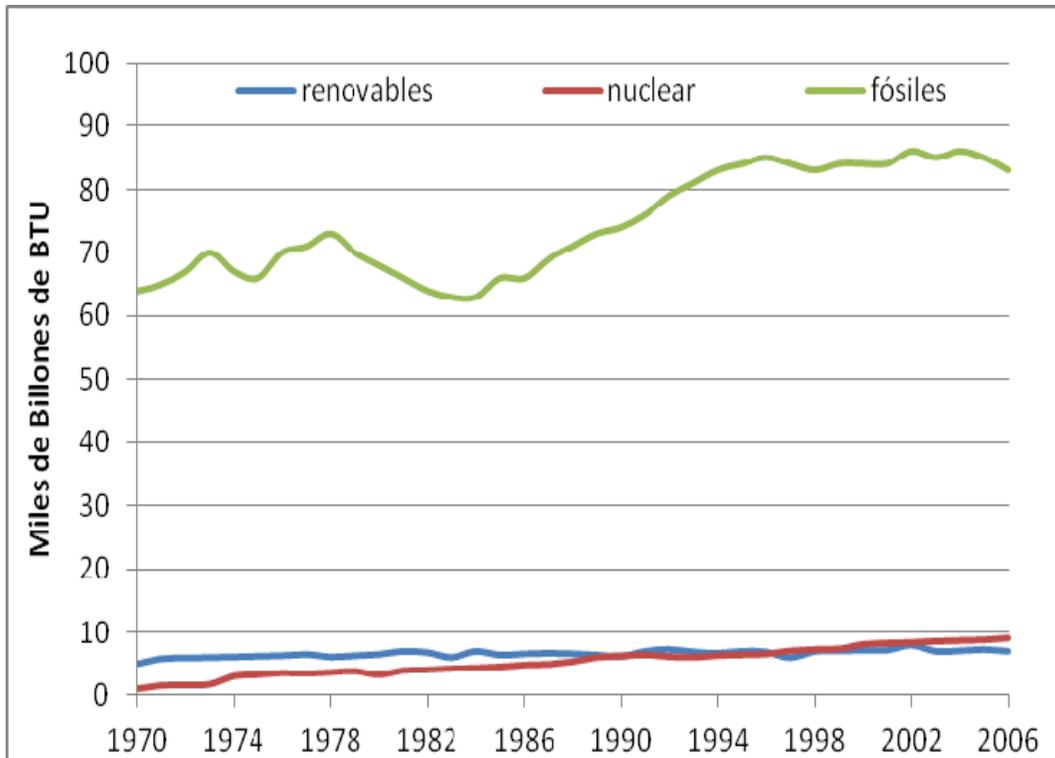


Figura 10 Evolución de la matriz energética primaria según fuente Universidad Católica de Chile

Como se observa en la Figura 10, las energías renovables y la nuclear aportan casi en igual medida a la matriz energética primaria de EEUU, sin embargo, ambos porcentajes se encuentran por debajo de 10% a lo largo de la historia, siendo ampliamente superadas por la energía de origen fósil.

Los sectores de consumo de energía primaria se pueden dividir principalmente en cinco, estos son:

- i) residencial
- ii) comercial
- iii) industrial
- iv) transporte
- v) generación

La evolución muestra un consumo industrial de energías primarias con una leve tendencia a la baja. Esto se explica principalmente porque las tecnologías de producción de bienes han avanzado hacia un mayor consumo de electricidad. En este sentido, se observa un crecimiento sostenido de consumo de energías primarias en el sector generación eléctrica. En la Figura 11 se muestra la evolución en el consumo sectorial de energías primarias para el periodo 1970-2008:

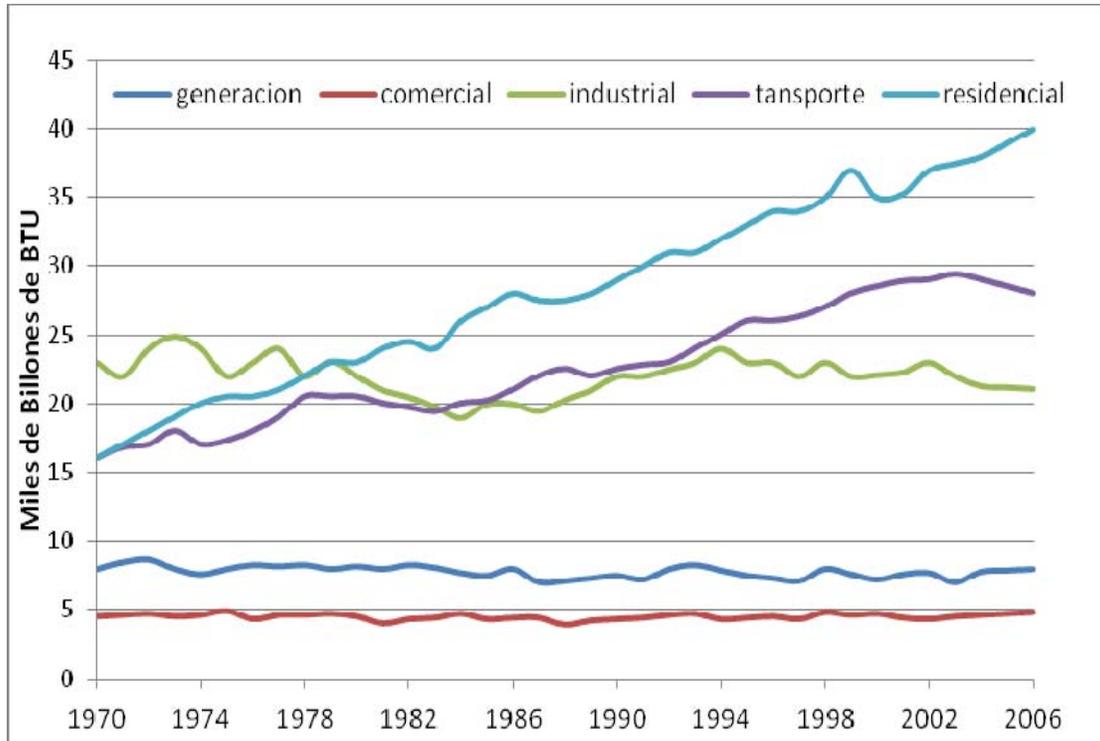


Figura 11 Evolución del consumo de energía primaria según sector de consumo.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Respecto a la distribución de las fuentes de primarias energía entre las principales áreas de consumo, se observa que del carbón consumido por EEUU durante el 2008, un 91% se utilizó sólo para la generación eléctrica. Sin embargo, del total de petróleo consumido en EEUU durante el mismo año, un 71% se utilizó en transporte, 23% fue utilizado en aplicaciones industriales, 5% en el sector residencial y comercial y sólo un 1% se utilizó para generar electricidad. Respecto al gas natural, 34% fue utilizado en el sector industrial, un 34% fue utilizado en el sector residencial y comercial, un 3% en transporte, dejando un 29% de consumo en electricidad. La Figura 12 presenta la distribución de las fuentes de energía primarias para el año 2008:

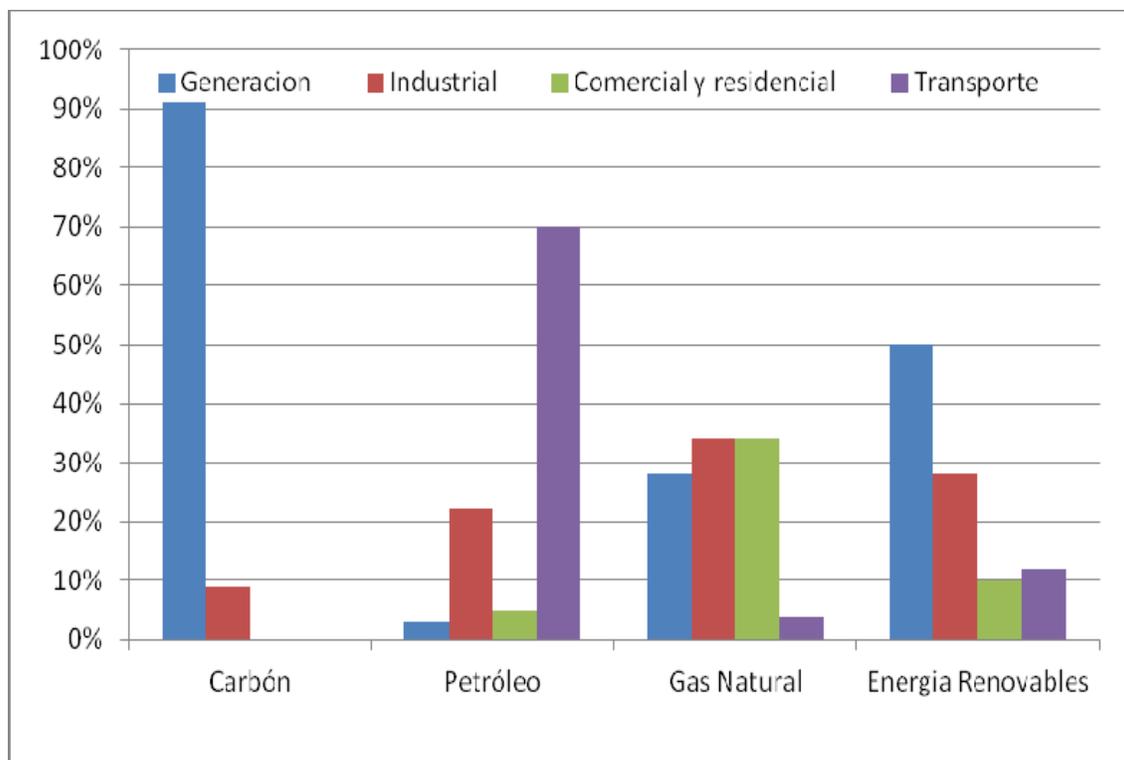


Figura 12 Distribución de las fuentes de energía primarias entre su uso final.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Desde el punto de vista de la demanda, el sector transporte destaca por consumir en forma mayoritaria petróleo. En el caso del sector residencial y comercial, el mayor consumo es de gas natural.

Por último, el sector generación se encuentra mayormente diversificado, sin embargo se caracteriza por un mayor consumo de carbón, y un bajísimo consumo de petróleo. La Figura 13 ilustra el consumo porcentual de energías primarias por sector:

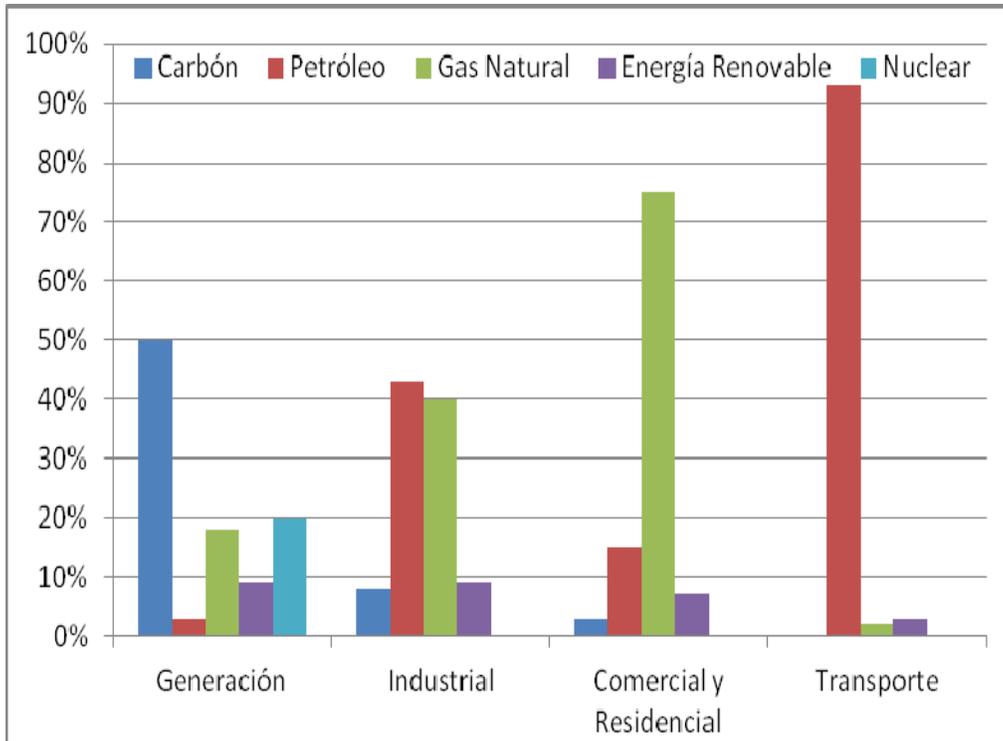


Figura 13 Distribución de las fuentes de energía según sector productivo.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

3.4.2.1 Matriz de Generación eléctrica de EEUU

La matriz eléctrica de EEUU se compone de generadores enfocados a la producción y comercialización de energía eléctrica, como también generadores multisectoriales, los cuales utilizan la energía en parte de sus procesos, y forman parte minoritaria de la generación. El siguiente análisis abordará sólo el primer grupo.

La matriz eléctrica de EEUU tiene una capacidad instalada total de 965,6 GW. La Figura 14 ilustra la evolución de la capacidad instalada de EEUU según fuente de energía primaria:

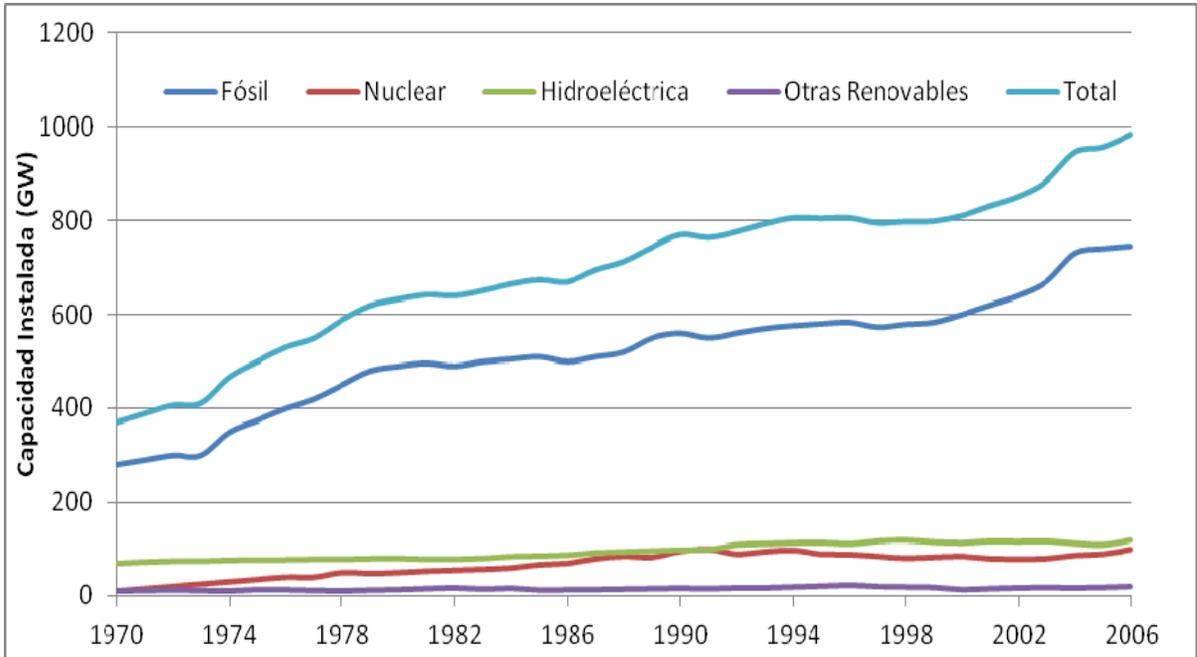


Figura 14 Evolución de la capacidad instalada según fuente primaria de generación.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

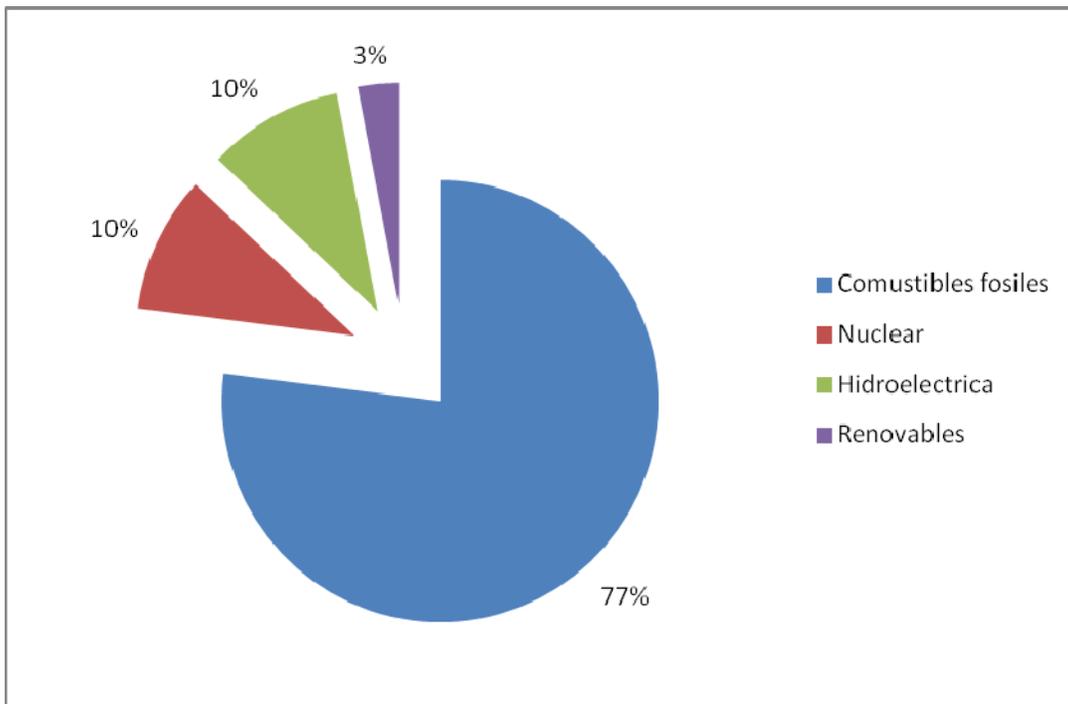


Figura 15 Capacidad instalada en Estados Unidos según fuente energética.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Se observa un cambio significativo en la capacidad instalada de centrales a gas natural, aumentando su capacidad instalada en más de 6 veces, en línea con lo que ha ocurrido en otras partes del mundo, ver (Figura 15).

Respecto a la energía generada, la evolución en la generación según energía primaria se presenta a continuación, ver (Figura 16).

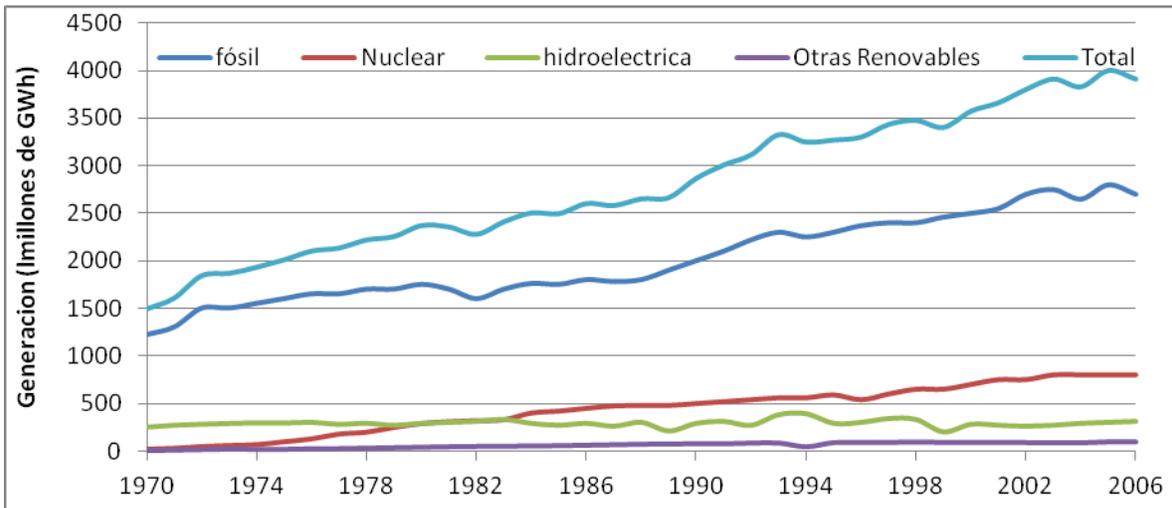


Figura 16 Evolución de la generación eléctrica según su fuente primaria.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

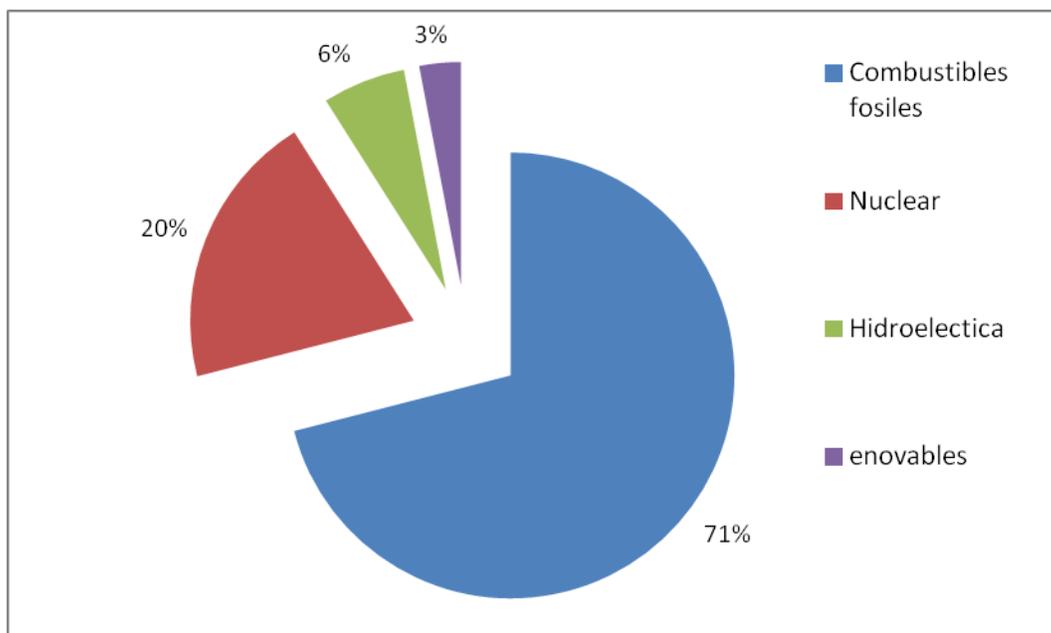


Figura 17 Generación eléctrica en Estados Unidos según fuente energética.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

La Figura 18, muestra la generación eléctrica en EE.UU, según la fuente energética, la condición para 2008 de las renovables, era de poca participación en el mercado. Condición que se planteo cambiar y que se puede evidenciar en las siguientes graficas, en las que se presentan las proyecciones de generación.

3.4.2.2 Proyecciones plan de implementación de Energías Renovables en EE.UU

Respecto a la capacidad instalada de EEUU, se espera que esta crezca entre un 6% y un 12% al año 2015, y entre un 11% y un 23% al año 2030, dependiendo de la economía del país. En este sentido IHSGI, pronostica un bajo crecimiento en el PIB, y por lo tanto un bajo crecimiento en la capacidad de generación. La siguiente tabla presenta los distintos pronósticos, según las firmas antes enunciadas, para distintos tipos de tecnologías:

En los próximos años, se espera que el mayor crecimiento en potencia instalada provenga de las energías renovables, que al año 2030, debieran experimentar un crecimiento de más de 45% en capacidad instalada. Dentro de las energías renovables, se espera que la energía hidroeléctrica se mantenga constante al 2030, dado que no se esperan nuevas inversiones en esta tecnología, lo anterior se aprecia en la Figura 18:

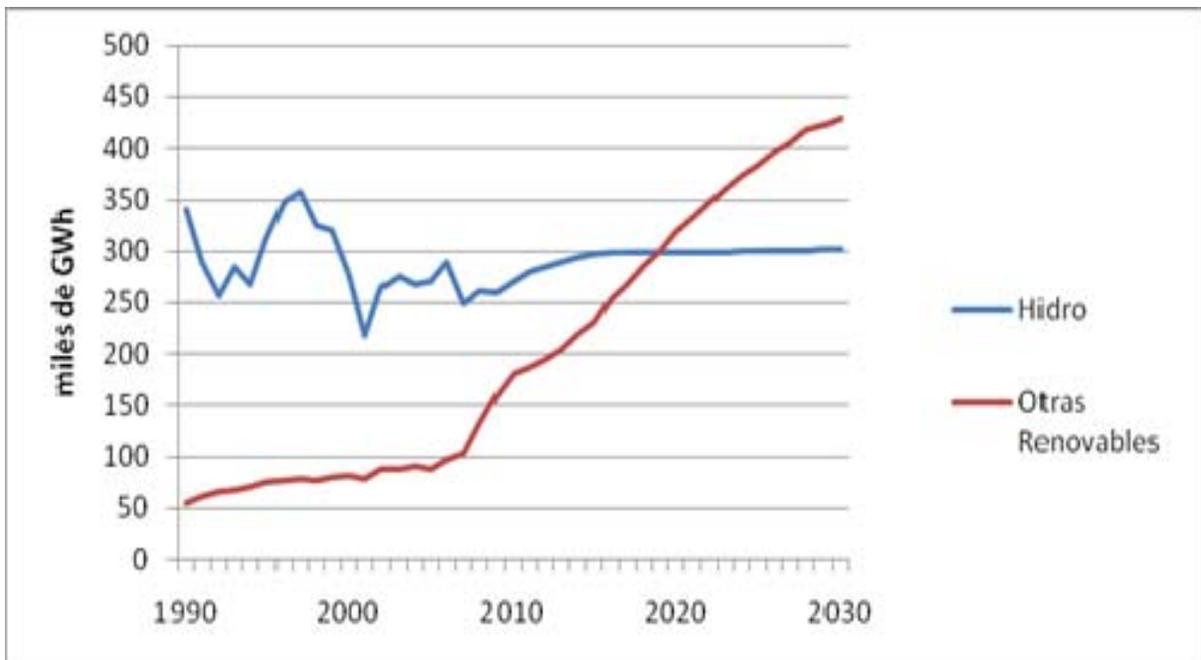


Figura 18 Energía eléctrica generada por energías renovables 1990-2030.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

La

Capacidad instalada (GW)	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2050	Crecimiento medio anual (2007-2050)
Hidroeléctrica	76,72	76,72	76,73	76,89	77,02	77,31	77,58	0,06%
Geotérmica	2,29	2,36	2,58	2,6	2,66	2,73	3	1,16%
Desechos	3,39	3,48	4,04	4,08	4,12	4,14	4,15	0,65%
Madera y otras biomásas	2,01	2,19	2,2	2,2	4,22	5,2	8,96	6,30%
Solar térmica	0,4	0,52	0,54	0,79	0,81	0,94	0,96	2,15%
Solar fotovoltaica	0,03	0,04	0,06	0,13	0,26	0,29	0,3	1,40%
Eólica	11,29	16,19	25,46	30,68	33,07	39	43,8	4,40%
Total	0,10%	101,10%	115,50%	117,50%	127%	129%	135,80%	1,40%
	5	6	7	8	2	1	3	

Tabla 11 muestra la proyección de la capacidad instalada para las energías renovables, para los Estados unidos hasta el 2050:

Capacidad instalada (GW)	2006	2007	2010	2015	2020	2025	2050	Crecimiento medio anual (2007-2050)
Hidroeléctrica	76,72	76,72	76,73	76,89	77,02	77,31	77,58	0,06%
Geotérmica	2,29	2,36	2,58	2,6	2,66	2,73	3	1,16%
Desechos	3,39	3,48	4,04	4,08	4,12	4,14	4,15	0,65%
Madera y otras biomásas	2,01	2,19	2,2	2,2	4,22	5,2	8,96	6,30%

Solar térmica	0,4	0,52	0,54	0,79	0,81	0,94	0,96	2,15%
Solar fotovoltaica	0,03	0,04	0,06	0,13	0,26	0,29	0,3	1,40%
Eólica	11,29	16,19	25,46	30,68	33,07	39	43,8	4,40%
Total	0,10%	101,10%	115,50%	117,50%	127%	129%	135,80%	1,40%
	5	6	7	8	2	1	3	

Tabla 11 Proyección capacidad instalada energías renovables en EE.UU.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Se espera que el gran crecimiento de las energías renovables se produzca en las centrales solares fotovoltaicas, biomasa y eólicas.

Finalmente en la Figura 19, se ilustra la comparación de la matriz energética entre los años 2007 y 2030, considerando la participación relativa respecto a la capacidad instalada de las distintas tecnologías disponibles, escenario de futuro en la participación de las energías renovables toman un papel de relevancia.

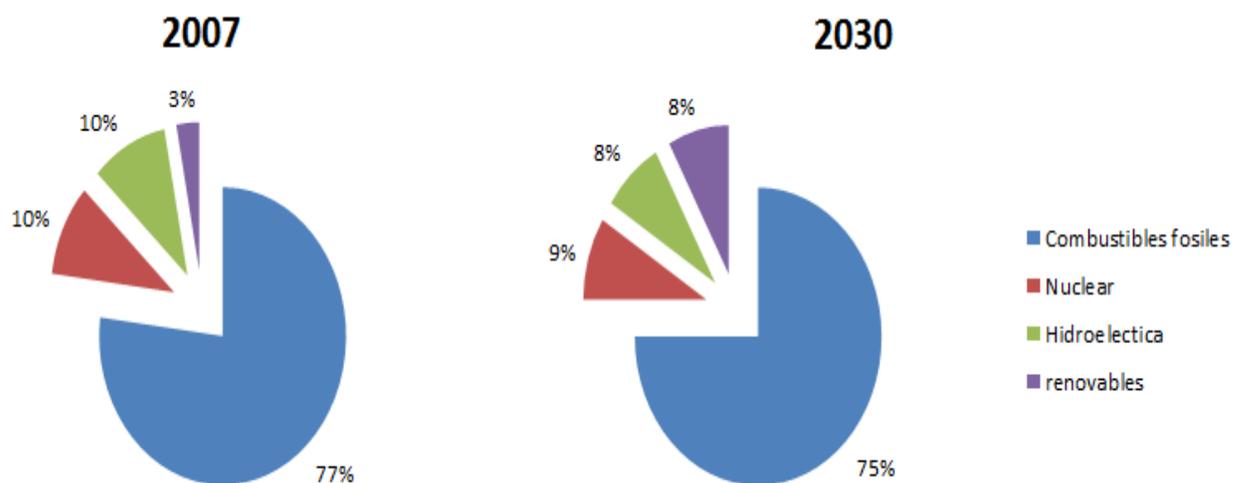


Figura 19 Comparación conformación relativa de la matriz energética en cuanto a capacidad instalada.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Como se observa en la Figura 19, el gran crecimiento de la matriz energética de EEUU se verá explicada por las energías renovables (principalmente solar, biomasa y eólica), cuyo peso relativo pasará de un 3% a un 8%, lo que para una

matriz energética del tamaño de la de EE.UU es bastante significativo. Sin embargo, observamos también que la energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles disminuiría su participación en sólo un 2%.

3.4.3 Matriz energética Reino Unido

El Reino Unido, en general, presenta un déficit energético, el cual debe suplir a través de la importación de las energías primarias. La Figura 20 ilustra la producción y consumo de las energías primarias durante el 2008 para distintos tipos de combustibles

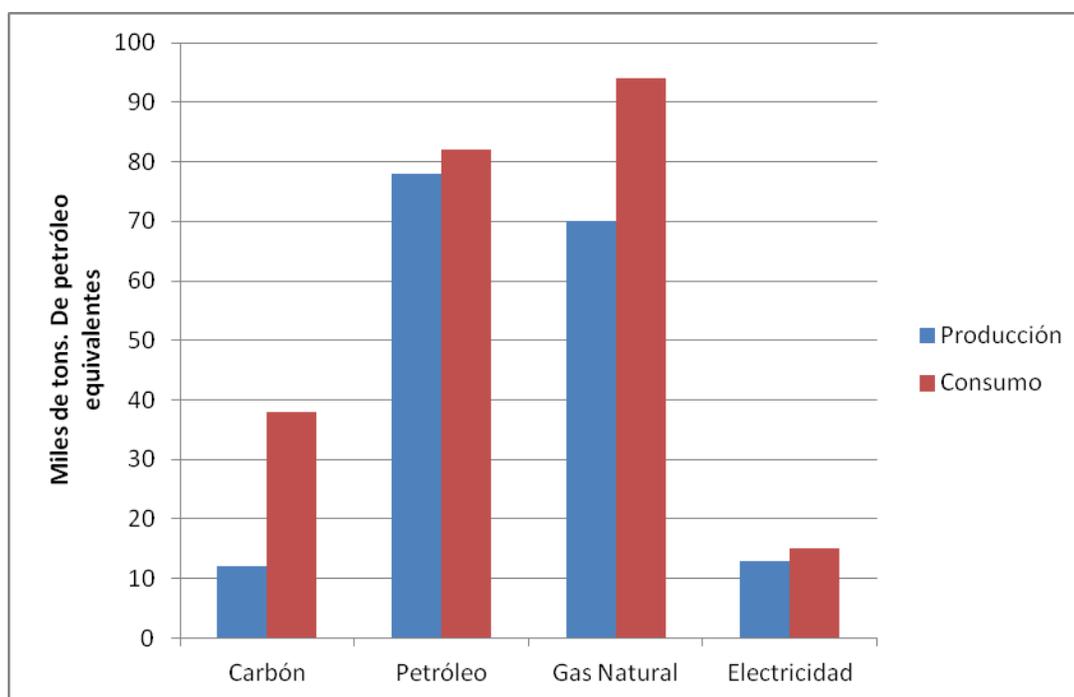


Figura 20 Producción y consumo de combustibles primarios 2008.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Como se aprecia en la Figura 20, el gran déficit ocurre en el carbón y en el gas natural, presentando esto una oportunidad para la incursión de nuevos proyectos, tanto de energías renovables como convencionales, esto con el fin de suplir la demanda insatisfecha que género en su momento.

Respecto al uso de la energía, el consumo final se divide principalmente en el uso industrial y doméstico. En la Figura 21 se presenta la distribución de esta, representando la gran dependencia del sector industrial y doméstico al suministro energético:

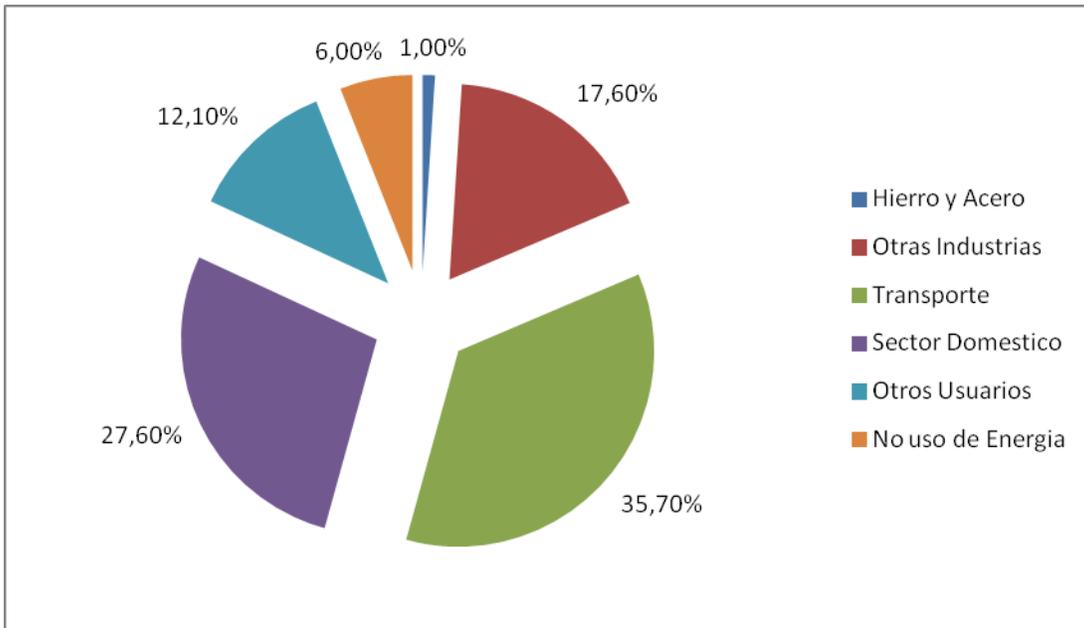


Figura 21 Consumo final de energía por usuario del Reino Unido.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Los recursos proveedores de energía, evidencia la dependencia a combustibles fósiles y al carbón, ver (Figura 22), el bajo porcentaje de otros, se podría que el interés por la diversificación de la canasta energética, abre las puertas a las energías renovables.

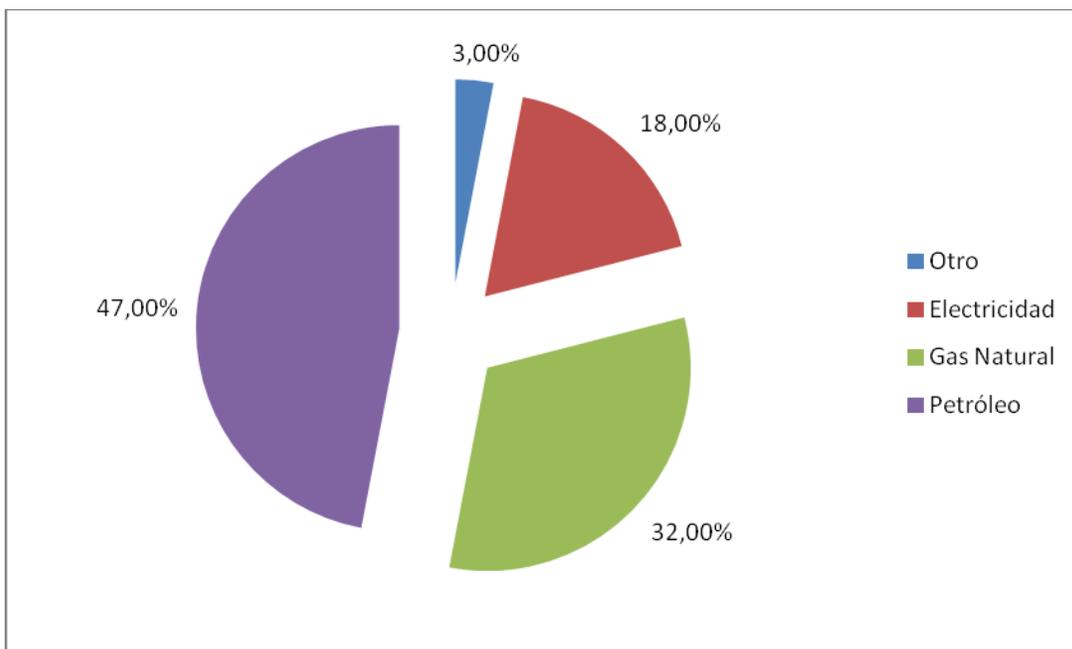


Figura 22 Consumo final de energía por combustible del Reino Unido.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

La distribución de los combustibles primarios y secundarios en base a la energía suministrada (en términos de los combustibles primarios y secundarios consumidos directamente) se presenta en las Figura 23 y Figura 24

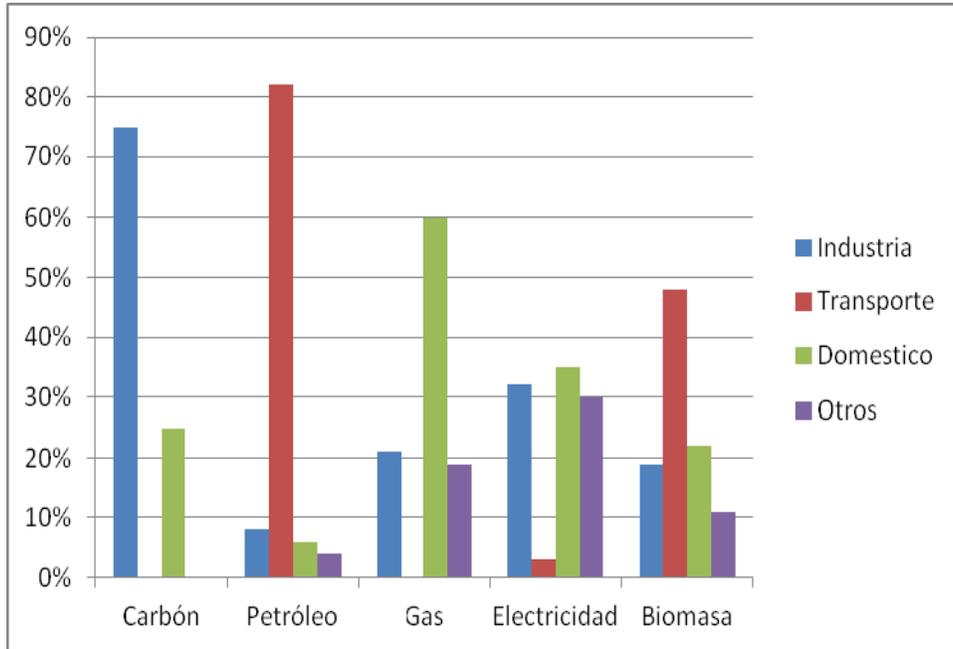


Figura 23 Distribución de las fuentes de energía entre su uso final.

(Fuente Universidad Católica de Chile).

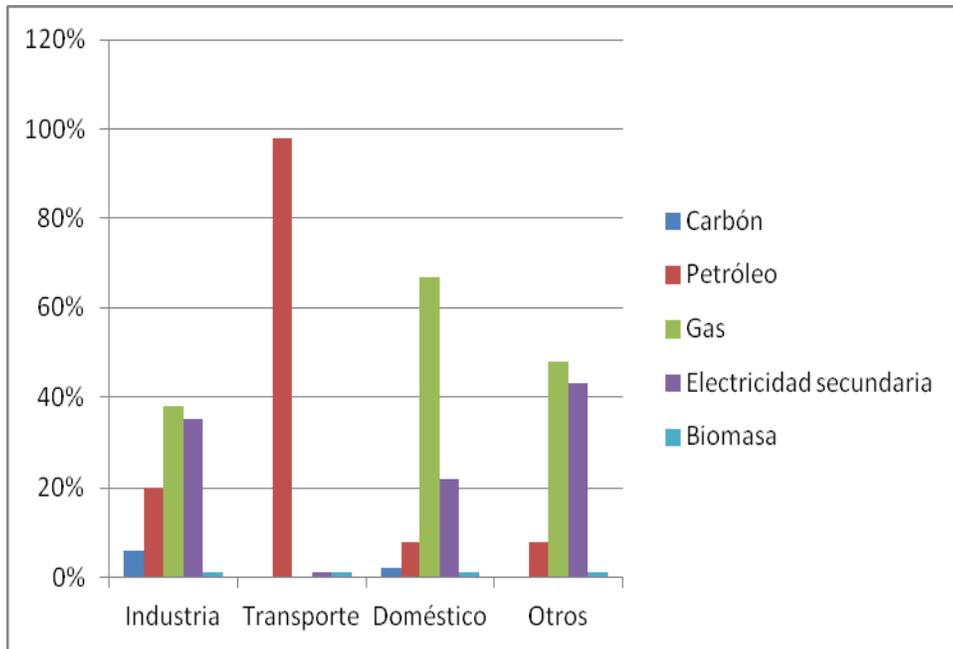


Figura 24 Distribución de las fuentes de energía según sector de consumo.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

La información presentada aporta al reconocimiento, de las oportunidades que pueden tener las energías renovables para generación de energía eléctrica en el campo industrial y el doméstico.

3.4.4 Matriz de Generación del Reino Unido

Respecto a la matriz eléctrica del Reino Unido, al año 2008 alcanzaba los 83,5 GW, donde 76,4 GW eran producidos por grandes generadores y el resto era producido por otro tipo de generadores. La demanda de punta alcanza los 65 GW en invierno. La matriz eléctrica del Reino Unido se basa ampliamente en centrales a gas, construidas durante la segunda mitad de los años '90, cuando las nuevas centrales a gas se volvieron fuertemente competitivas. En consecuencia, las centrales a gas se siguen construyendo durante este decenio, aumentando aún más su capacidad ver (Figura 25).

La Tabla 12 muestra la potencia instalada según tecnología al año 2008:

Potencias instaladas (GW)	2008	Participación Relativa
Térmicas convencionales	35,4	42%
Ciclo combinado	28,96	34%
Nuclear	11	13%
Turbinas de gas y Diesel	1,3	2%
Hidroeléctricas	4,3	5%
Eólicas	1,4	2%
Renovables	1,6	2%
Total	83,5	100%

Tabla 12 Potencia instalada por tecnología para el 2008 del Reino Unido.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

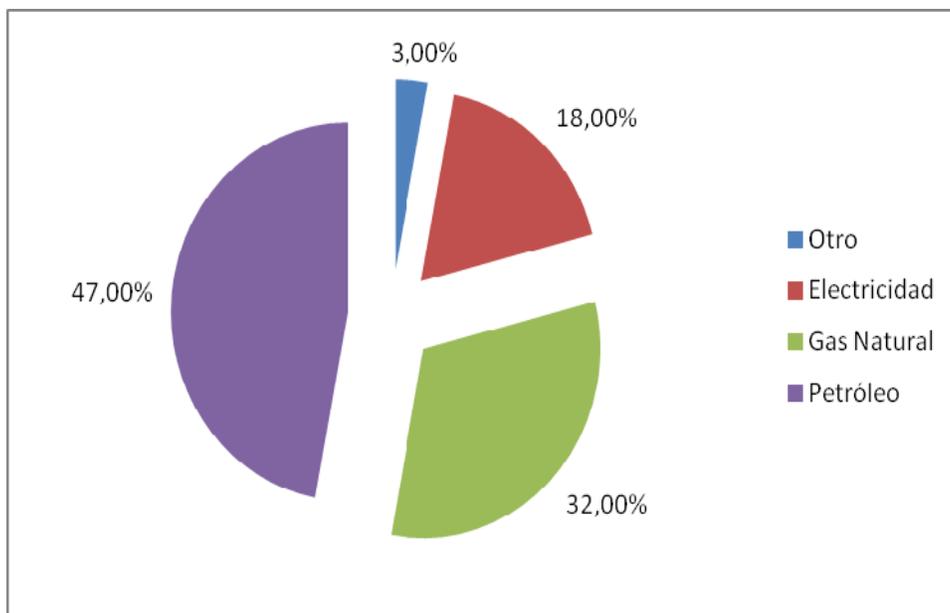


Figura 25 Capacidad instalada en Reino Unido según fuente energética del Reino Unido

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Ya para 2008, el Reino Unido, contaba con fuentes renovables, ver (Figura 26) dentro de su canasta energética, condición favorable y que mostraba su interés por diversificar la canasta energética, estando en sintonía con las nuevas tecnologías de aprovechamiento de recursos renovables y a su vez con los inicios, para la disminución de emisión de gases efecto invernadero.

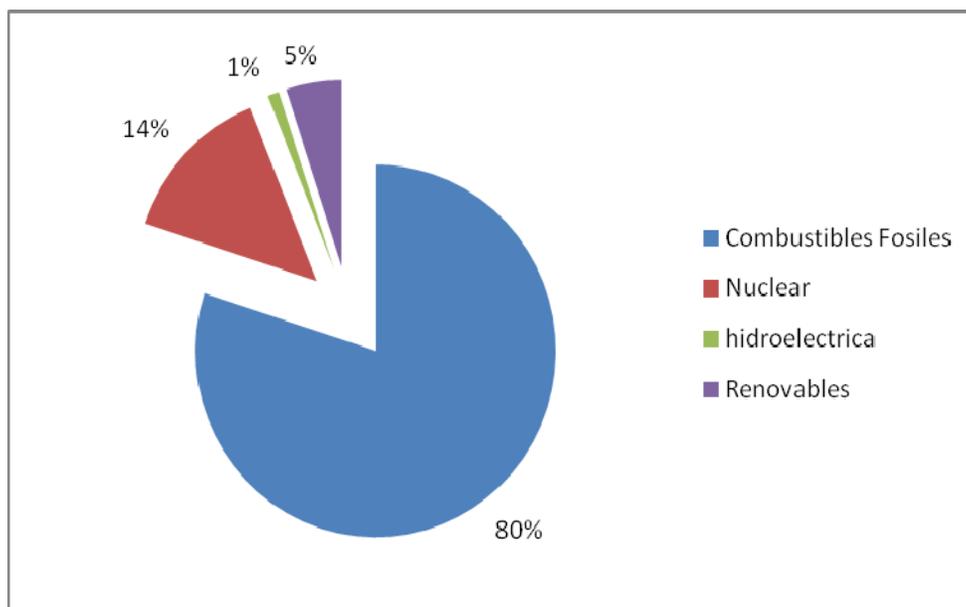


Figura 26 Generación eléctrica Reino Unido según fuente energética.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Dado este contexto, la mayor parte de la energía generada durante el 2008 fue producida por centrales a gas natural. El segundo lugar corresponde a las centrales a carbón. Con esto, el uso de combustibles fósiles en la generación eléctrica supera el 80% según se aprecia en la Figura 26.

3.4.4.1 Proyecciones plan de implementación de Energías Renovables en el Reino Unido

Durante las próximas dos décadas, el Reino Unido necesitara una importante inversión en el sector generación para reemplazar las centrales de carbón, petróleo y nucleares que se espera terminen la vida útil en ese periodo. El análisis realizado por el “Department of Trade and Industry” muestra que 22,5 GW de las centrales existentes deberán ser reemplazadas al 2020. A esto se deberán agregar entre 20-25 GW de nuevas centrales al 2020, de mantener los niveles de demanda actuales.

Actualmente, el Reino Unido se encuentra en un programa de incentivo de las energías renovables, para llegar al 2020 con un 20% de la energía consumida producida por este tipo de tecnologías. Esto significará conectar al 2020 aproximadamente 20 GW de centrales renovables a la red. Las proyecciones de la matriz a futuro dependerán de las políticas que se adopten respecto a estas tecnologías. La siguiente tabla ilustra la generación proyectada al 2020 de un caso base, y tres de acuerdo a las políticas que se adopten respecto a las energías renovables. Además se presenta una estimación de la matriz, en base al estudio utilizado, ver (Tabla 13).

	2008	2010			2020	
	(GW)	Proyecciones base	bajos incentivos	medios incentivos	altos incentivos	estimado
Carbón	125	119	67	71	77	144
Petróleo	6	1	1	1	1	0
Gas	177	202	223	195	156	220
Nuclear	52	25	25	25	33	2
Renovables	23	28	46	57	67	69
Total	383	375	362	349	334	435

Tabla 13 Generación proyectada en GW al 2020.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

Como se observa en la Tabla 13, se pronostica una amplia participación de las energías renovables, siguiendo la tendencia mundial, y en línea con las aspiraciones del gobierno.

De esta forma, la distribución de la matriz eléctrica, de acuerdo a la tabla anterior, se encuentra representada en la Figura 27, en los que se muestra la apuesta por la incursión de las Renovables de manera significativa en la participación de la oferta energética.

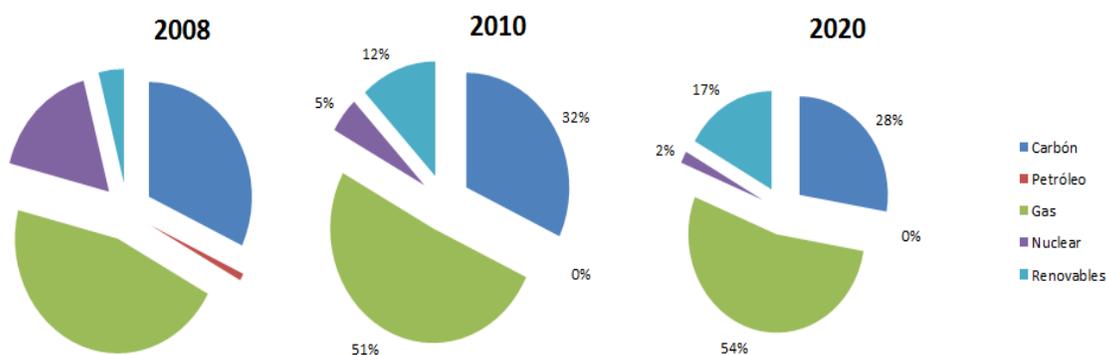


Figura 27 Comparación conformación relativa de la matriz energética en cuanto a generación proyectada.

(Fuente Universidad Católica de Chile)

3.4.5 Síntesis de los casos estudiados

Se recopilaron las estadísticas históricas, que describen evoluciones tanto de la demanda como de la oferta de las potencias instaladas de dos países industrialmente desarrollados como los son EEUU y Reino Unido.

Se investigaron también las estrategias de cada uno de estos países para hacer frente al nuevo escenario energético mundial, presentando acá las proyecciones de sus demandas energéticas y de la respuesta esperada del sector de generación en un horizonte de 20 años plazo.

Una matriz de generación diversificada permite disminuir los riesgos asociados y la alta dependencia que se genera al depender fuertemente de un tipo de combustible, y la vez, ayuda a mantener la seguridad de los insumos necesarios para la generación. Mantener una matriz diversificada, permite además manejar el sistema con flexibilidad, de forma de acomodar con mayor facilidad las variaciones en la demanda, producida en distintos periodos del día, del año, y en respuesta a la variación de los precios de los combustibles fósiles.

Se constató que las energías renovables y la nuclear aportan casi en igual medida a la matriz energética primaria de EEUU, sin embargo, ambos porcentajes se encuentran por debajo de 10% a lo largo de la historia, siendo ampliamente superadas por la energía de origen fósil. Si bien, se espera un crecimiento en el aporte de las energías renovables a la matriz energética de EEUU cuyo peso relativo pasara de un 3% a un 8%, se observó también que la energía eléctrica proveniente de combustibles fósiles disminuiría su participación en sólo un 2%.

Por otra parte, el Reino Unido basa su matriz energética fuertemente en los combustibles fósiles, y sobre todo en el gas natural. Esto le produce una dependencia de este tipo de combustible. De esta manera, se considera importante diversificar a través de energías renovables.

Como se ha observado en los casos estudiados, se espera que las energías renovables sean la responsables en gran medida del crecimiento de la matriz, como también el reemplazo de centrales convencionales o nucleares que estén cumpliendo su vida útil. Sin embargo, en cierta medida, el crecimiento también estará dado por la instalación de centrales a carbón.

4. Análisis de resultados

4.1 Estimación del potencial de recursos renovables en Colombia, desde fundamentos exergéticos.

Basados en fundamentos exergéticos se plantearon modelos en lo que se toma la información caracterizada del territorio y los requerimientos de variables por cada tecnología a estudiar, y mediante análisis exergéticos, se evaluó el capital del recurso natural, y el detalle, para la identificación de eficiencias en la producción y en el aprovechamiento óptimo de los recursos, en el que se encuentre la mejor alternativa en eficiencia y en el costo.

4.1.1 Modelo exergético Solar

T_a = temperatura ambiente en K

T_{sol} = Temperatura del sol en K 6000 K

G = Radiación en $\frac{W}{m^2}$

R^2 = radio del disco, absorbedor en m

r = radio del disco

ϵ = Emisividad del disco

σ = Constante Stefan – Boltzman ($5,667 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$)

$$T_{disc} = 0,032 T_a^{1,3}$$

T_a = temperatura Ambiente

T_H = temperatura alcanzada por el disco.

E_E = Eficiencia del motor

La Exergía representa la cantidad máxima de trabajo que puede ser producido en algún entorno determinado. Al evaluar el desempeño de sistema de energía solar utilizando el método de exergía, diferentes métodos para determinar la exergía de radiación han sido presentadas en un período de alrededor de 20 años. Entre

estos, los tres que con mayor frecuencia utiliza métodos de cálculo son las sugeridas por Petala, Span-Ner y Jeter, respectivamente, es decir, como se muestra en las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$EX_{sol} = \left[1 + \frac{1}{8} \left(\frac{T_c}{T_{sol}} \right)^4 - \frac{4T_c}{8T_{sol}} \right] G$$

Ec 1

$$EX_{sol} = \left[1 - \frac{4T_c}{8T_{sol}} \right] G$$

Ec 2

$$EX_{sol} = \left[1 - \frac{T_c}{T_{sol}} \right] G_a$$

Ec 3

Es posible utilizar cualquiera de las ecuaciones anteriores y el resultado sólo varía en un 2%.

Colector solar:

La energía de entrada al concentrador está dada por:

$$q_s = G_{inc} R^2$$

Ec 4

El factor de concentración está definido por:

$$C = \frac{q_s}{G_{inc} A}$$

Ec 5

Energía útil q_{util} = Energía solar concentrador q_s - Perdidas por radiación q_{RR} - Perdidas por convección q_{CH}

$$q_{util} = q_s - q_{RR} - q_{CH} \tag{Ec 6}$$

Las pérdidas por radiación están dadas por:

$$q_{RR} = \sigma \epsilon A_R (T_R^4 - T_{amb}^4) \tag{Ec 7}$$

Donde

$$q_{RR} = \sigma \epsilon A_R (T_R^4 - 0,2845 \times 10^{-8} T_R^4) \tag{Ec 8}$$

Perdidas por convección

$$q_{cH} = h_c A_H (T_H - T_A) \quad Ec 9$$

Eficiencia del concentrador

$$E_c = \frac{q_{util}}{q_s} \quad Ec 10$$

Para el motor

Eficiencia real del motor

$$E = E_c E_E \quad Ec 11$$

Potencia obtenida

$$Pot = E q_s \quad Ec$$

12

Capacidad de producción:

La capacidad de producción depende de la captación de la radiación, ver (Tabla 14)

Tiempo	Kw /hora
Hora	12,413
Día	111,717
Mes	3351, 51
Año	40218,12

Tabla 14 Capacidad de producción por Disco. Elaboración propia

Para un solo disco. La radiación mínima incidente es: 4,5 kWh/m²

Para una potencia de 20 MW, son necesarios 1612 discos.

Considerando las dimensiones de los módulos y la proyección de la sombra de cada uno sobre el terreno, se debe tener en cuenta que la sombra de los módulos no se proyecte sobre los otros, por ello se sabe que la altura de cada uno de los SunCatcher es de 15 m, y considerando los solsticios y equinoccios se llega a que el área total para que la sombra de unos se proyecte sobre otros es de 572 m² por cada módulo. El área total del terreno considerando estas especificaciones es de 93,8 hectáreas, distribuidos en un arreglo de 40 X 41 discos.

La Instalación y distribución de los discos de acuerdo a las distancias requeridas entre cada uno de ellos, teniendo en cuenta las siguientes dimensiones 26 X 22 m.

Radiación W/m ²	531,25
Temperatura ambiente K	298,15
Temperatura del sol K	6000,00
Ex sol W/m ²	504,8513021
Ex sol Kw /m ²	0,504851302
Potencia de salida Kw/m ²	12,413
Rendimiento exergético	0,040671176

Tabla 15 Condiciones y Resultados modelo solar. Elaboración propia

La Tabla 15, representa el cálculo exergético, para obtener el factor o rendimiento, que bajo esta tecnología servirá, para llegar al cálculo y al inventario de potenciales.

4.1.2 Modelo Exergético Biomasa.

U= Energía interna en sistema cerrado

Q = Calor agregado

W= trabajo efectuado por el sistema

i_1 = Entalpia de la entrada de biomasa

i_2 = Entalpia de la caldera

G_v = masa de vapor de H₂O

i_3 = Entalpia turbina

i_4 = Entalpia del condensador

i_6 = entalpia recirculación de la caldera (bomba)

Para la formulación del siguiente modelo se tuvieron presentes conceptos termodinámicos como:

Primera ley de la termodinámica

$$\Delta U = Q - W$$

Ec

13

El término energía interna fue usado por primera vez en 1807 por Thomas Young y su uso en termodinámica fue propuesto en 1852 por Lord Kelvin. El término energía interna y su símbolo U apareció por primera vez en los trabajos de Rudolph Clausius y William Rankine en la segunda mitad del siglo XIX (Cengel, 1996)

Es de notar que el signo menos en el lado derecho de la ecuación se debe justamente a que W se define como el trabajo efectuado por el sistema.

Para entender esta ley, es útil imaginar un gas encerrado en un cilindro, una de cuyas tapas es un émbolo móvil y que mediante un mechero podemos agregarle calor. El cambio en la energía interna del gas estará dado por la diferencia entre el calor agregado y el trabajo que el gas hace al levantar el émbolo contra la presión atmosférica.

Segunda Ley de la Termodinámica

La primera ley nos dice que la energía se conserva. Sin embargo, podemos imaginar muchos procesos en que se conserve la energía, pero que realmente no ocurren en la naturaleza. Si se acerca un objeto caliente a uno frío, el calor pasa del caliente al frío y nunca al revés. Si pensamos que puede ser al revés, se seguiría conservando la energía y se cumpliría la primera ley.

En la naturaleza hay procesos que suceden, pero cuyos procesos inversos no. Para explicar esta falta de reversibilidad se formuló la segunda ley de la termodinámica, que tiene dos enunciados equivalentes:

Enunciado de Kelvin - Planck: Es imposible construir una máquina térmica que, operando en un ciclo, no produzca otro efecto que la absorción de energía desde un depósito y la realización de una cantidad igual de trabajo.

Enunciado de Clausius: Es imposible construir una máquina cíclica cuyo único efecto sea la transferencia continua de energía de un objeto a otro de mayor temperatura sin la entrada de energía por trabajo.

Ciclo Rankine: Es un ciclo que opera con vapor, y es el que se utiliza en las centrales termoeléctricas. Consiste en calentar agua en una caldera hasta evaporarla y elevar la presión del vapor. Éste será llevado a una turbina donde produce energía cinética a costa de perder presión. Su camino continúa al seguir hacia un condensador donde lo que queda de vapor pasa a estado líquido para

poder entrar a una bomba que le subirá la presión para nuevamente poder introducirlo a la caldera.

Para la caldera

Calor absorbido por el vapor de caldera

$$Q_1 = G_v (t_2 - t_1) \quad Ec 14$$

Calor desprendido en la combustión – las pérdidas en la caldera
 $PC * (1 - \%perdida \text{ de la caldera})$

$$Q_1 = PC * \text{rendimiento de la caldera} \quad Ec 15$$

Masa de vapor por cada Kg de Biomasa

$$G_v = \frac{Q_1}{t_2 - t_1} \quad Ec 16$$

Exergía para diferentes puntos

$$Ex = \{(t - t_0) - T_0(S - S_0)\} * G_v \quad Ec 17$$

Exergía combustión

$$Ex_{comb} = Q_1 \left(\frac{1 - T_0}{T_{comb}} \right) \quad Ec 18$$

Exergía perdida caldera = Exergía de combustión
 Trabajo en la turbina

$$G_v (t_3 - t_4) \quad Ec 19$$

Calor cedido al condensador

$$Q_2 = G_v (t_4 - t_5) \quad Ec 20$$

Exergía de calor cedido al condensador

$$Q_2 = \left(1 - \frac{T_{entrada \text{ condensador}}}{T_{referencia}} \right) \quad Ec 21$$

Pérdida de Exergía en la caldera

$$Ex_1 - Ex_2 + Ex_{combustion} \quad Ec 22$$

$$Ex_1 = 0$$

Perdida de Exergía combustión en la caldera

$$Perdida_{exerg \text{ caldera}} = Ex_{perdida \text{ de calor e caldera}} \quad Ec 23$$

Perdida de exergía en la turbina

$$Ex_3 - Ex_4 - Ex_5 \quad Ec\ 24$$

Trabajo útil del generador

$$\frac{T_{turbina}}{n_{generador}} \quad Ec\ 25$$

Rendimiento exergético

$$\frac{W_{util}}{Ex_{combustible}} \quad Ec\ 26$$

Con los siguientes datos de entrada se realizaron los cálculos, ver Tabla 16.

Poder calorífico (kJ/Kg)sólido	17,724
Flujo (Kg/s)	3,83

Tabla 16 Condiciones de entrada Modelo Biomasa. Elaboración propia

Parámetros para el sistema	
Potencia calorífica (KJ/molK)	17724
Temperatura de combustión (K)	2073,15
Perdidas de calor en la caldera	0,10
Temperatura de calor a la salida de la caldera (K)	673,15
Presión a la entrada de la turbina (bar)	103
Temperatura a la entrada de la turbina (K)	778,15
Temperatura de entrada al condensador	303,15

Tabla 17 Parámetros de entrada para equipos en Modelo de Biomasa. Elaboración propia

La descripción de los parámetros de entrada y de salida, fueron acompañados por el estudio exergético, y de esta manera considerar, la real energía útil que podría proporcionar el sistema planteado, ver (Tabla 17).

Unidad	temperatura K	Presión bar	entalpia (KJ/Kg)	Entropía	calidad del vapor
Bomba	303,15	0,0424	125,73	0,43675	
Caldera	303,15	0,0424	125,73	0,43675	
Salida de la caldera	673,25	100	3097,4	6,2141	
Entrada a la turbina	673,15	103	3090,511	6,193604	
Entrada al condensador	303,15	0,0424	1873,13	6,193604	0,719
Salida del condensador	303,15	0,0424	2116,61	8,0434	0,818

Tabla 18 Entalpias y Entropías para cada unidad .Elaboración propia

Las entropías y entalpias son de tablas de sustancias puras, algunas son calculadas con interpolacion, ver (Tabla 18).

Parámetro buscado		
Q(1)	15951,60	Kj/Kg
Masa de vapor	5,37	Kg vapor/Kg biomasa
Exergía de combustión	13657,52	KJ/Kg biomasa
Exergía perdida en la caldera	1365,75	KJ/Kg biomasa
Trabajo de la turbina	5227,79	KJ/Kg biomasa
Calor cedido al condensador	10686,83	KJ/Kg biomasa
Exergía cedida al condensador	176,26	KJ/Kg biomasa
Perdida de exergía de la caldera	12291,77	KJ/Kg biomasa
Perdida de exergía de combustión de la caldera	10926,02	KJ/Kg biomasa
Rendimiento energético	0,38	
Trabajo del generador	5227,79	KJ/Kg biomasa
Rendimiento exergético	0,33	
Potencia	20022,47	KW/s
	20,02	MW

Tabla 19 Resultados obtenidos Modelo Biomasa Elaboración propia

La Tabla 19 presenta resultados del cálculo exergético y de su relación con el poder calorífico que obtiene una de las especies (ver Tabla 8) con las que se cuenta en el país y que se podría aprovechar para la generación de biomasa, partimos de la condición de que el poder calorífico citado, es un valor bajo, comparado con otras especies.

Para la obtención de los parámetros de funcionamiento se tuvieron presentes las especificaciones técnicas dadas por el fabricante de los diferentes equipos

- Turbina SST -150 Siemens.
- Caldera Stirling

4.1.3 Modelo exergético eólico

$(U_2 - U_1)$ = cambio en la energía interna

$P_0(V_2 - V_1)$ = trabajo PV con respecto a la presión externa

$T_0(S_2 - S_1)$ = calor transferido de los alrededores

\dot{m} = flujo másico

$\dot{m} \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right)$ = cambio en la energía cinética del fluido.

$\dot{m}g(Z_2 - Z_1)$ = Cambio en la energía potencial del fluido

ρ = densidad del aire seco $\frac{kg}{m^3}$

A = área del aerogenerador (πr^2), donde r es el radio del aerogenerador en m

v = velocidad del viento en $\frac{m}{s}$

Partiendo de un sistema de flujo, tenemos como ecuación general de exergía de un proceso de flujo:

$$\Delta Ex = (U_2 - U_1) + P_0(V_2 - V_1) - T_0(S_2 - S_1) + \dot{m} \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) + \dot{m}g(Z_2 - Z_1) \quad Ec 27$$

Para un aerogenerador

- No varía la temperatura del aire fluyendo, por lo cual no hay cambio en la energía interna
- No hay cambios en la entropía del fluido sino hay flujo de calor
- No cambia el volumen, por ser la densidad constante, y el termino PV se hace cero
- Es posible considerar que no hay variaciones en la energía potencial.
- Se puede asumir que la velocidad final es cero, es decir cuando se extrae toda la energía cinética.

$$\dot{m} = \rho Av$$

Ec 28

La ecuación de Exergía queda:

$$\Delta E_x = \dot{m} \left(\frac{-V_1^2}{2} \right) \quad Ec 29t$$

Ec 29 capítulo 7 termodinámica Cengel

$$\text{Potencia máxima} = \dot{W}_{\text{max}} = \dot{m} W_{\text{max}} = \dot{m} c_p \Delta T \quad Ec 30$$

Velocidad del viento m/S	6,0
Densidad de aire seco Kg/m ³	1,2
Radio del aerogenerador m	30
Área aerogenerador m ²	2827,44
Flujo másico kg/s	28839,888
Potencia máxima Kw	366
Potencia máxima en MW	0,36
Para 20 MW	19,19678807

Tabla 20 Parámetros y resultados Modelo Eólico. Elaboración propia

Para la generación de 20 MW con velocidad de viento de 6,0 m/s es necesario 20 aerogeneradores, el aerogenerador a utilizar es N60/1300 NORDEX.

De acuerdo al tamaño del aerogenerador y las condiciones necesarias para su funcionamiento el área a ocupar por cada aerogenerador es de 57.600 m² distribuidos así 240x240, el área total para los 20 aerogeneradores es 115,2 hectáreas. En un arreglo de 10x2. Ver (Tabla 20).

4.1.4 Modelos o prototipos

Posterior al análisis exergético, se planteó calcular, espacialmente y según los consumos de recursos, el dimensionamiento de una unidad de generación prototipo, la cual estaría con la capacidad de generación para 20 MW. Esto con el fin de dar la iniciativa y tomar esta cantidad, como cantidad piloto para optar por algún modo de generación y ubicarlo espacialmente en las zonas donde los potenciales así lo muestran. Con esta consideración se plantea tener una condición básica, en la que se estima la ocupación mínima del territorio, para la generación de los 20 MW enunciados en cada uno de los modos de generación.

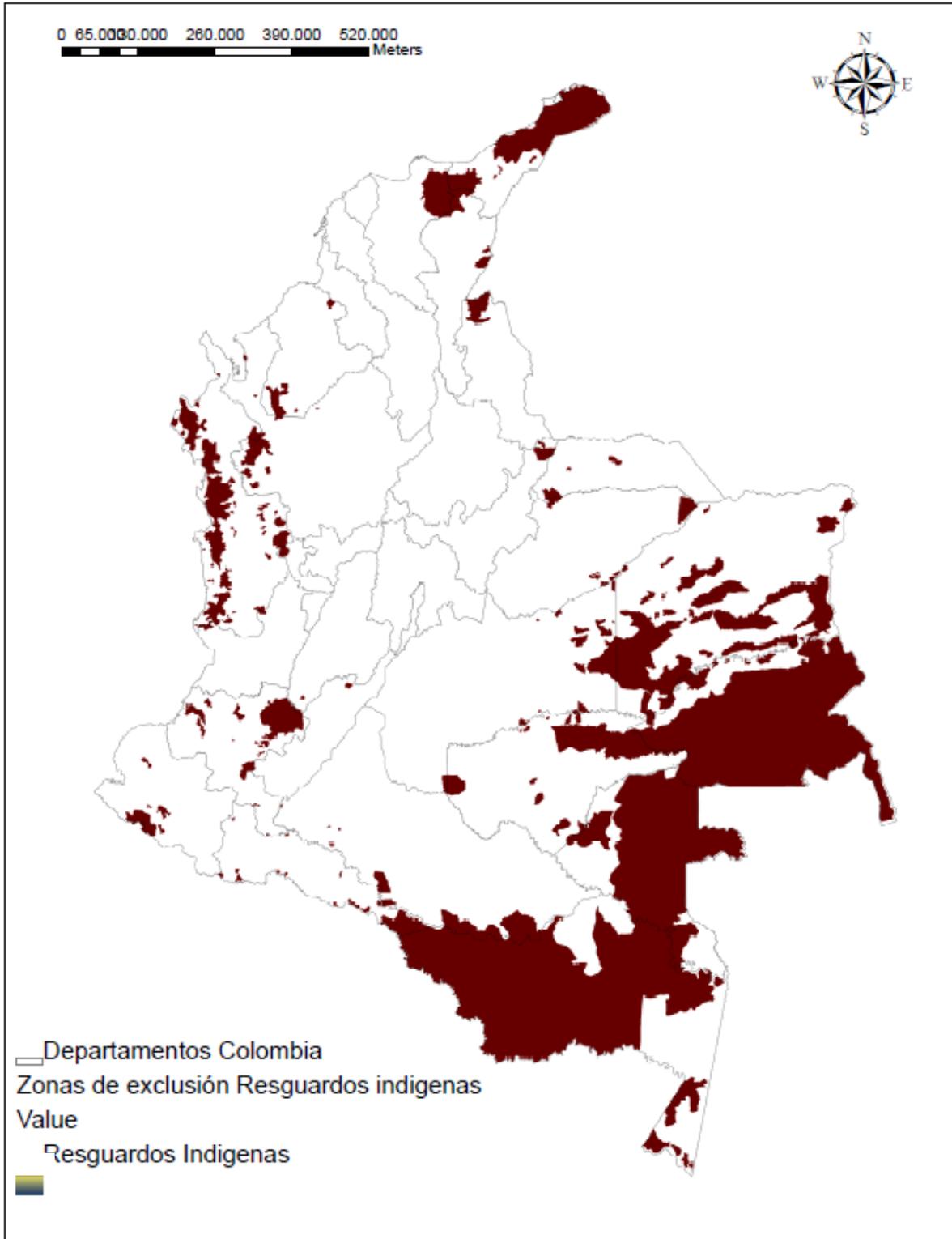
4.1.5 Combinación de herramientas SIG y cálculos Exergéticos.

Finalmente, de la combinación de las herramientas SIG y los cálculos exergéticos se obtuvieron evaluaciones que permitirán estimar y proyectar zonas de aprovechamiento asociadas a demandas futuras, buscando así diferentes formas que busquen la gestión, la fiabilidad, credibilidad, para desarrollar proyectos para el aprovechamiento sustentable de los recursos identificados y valorados.

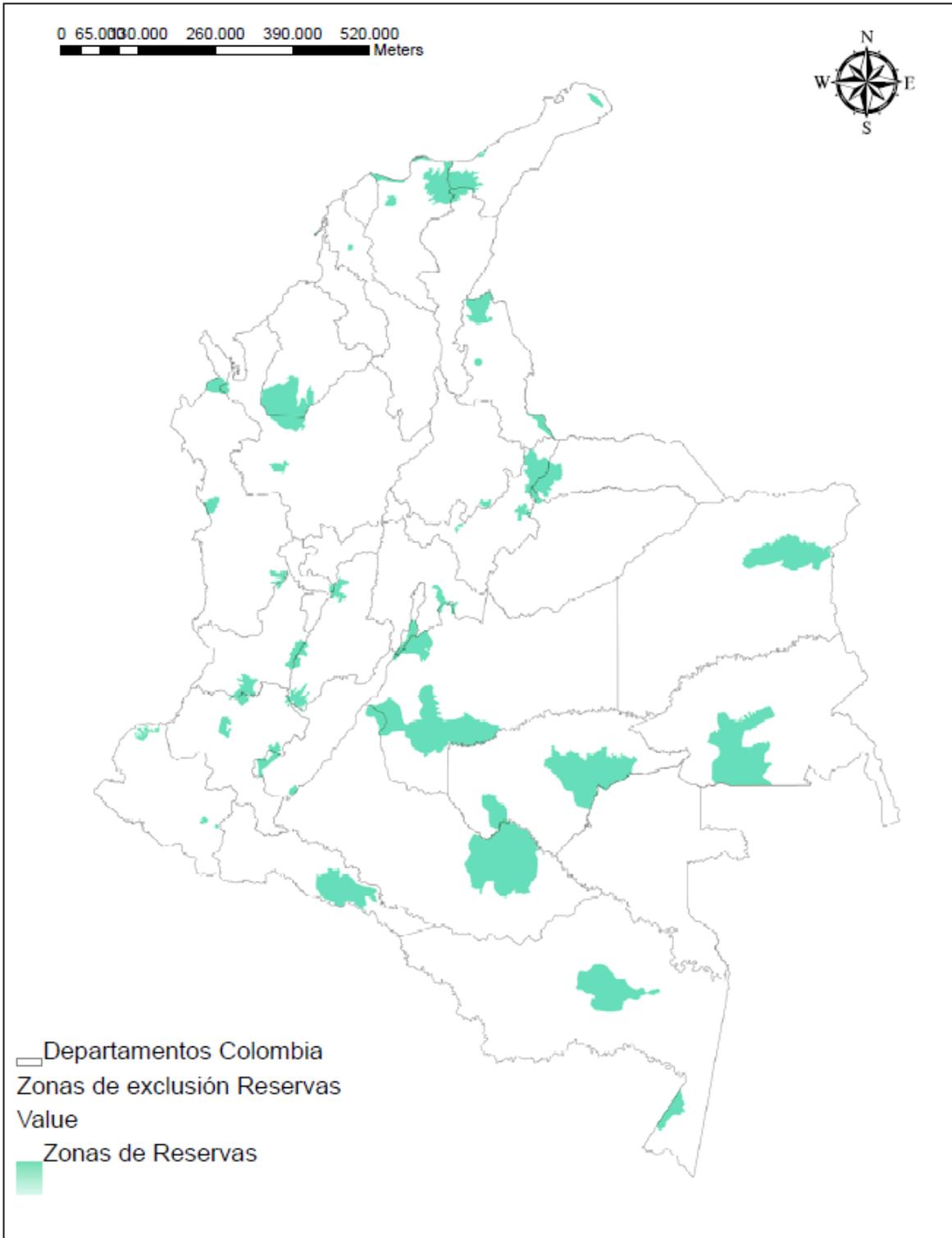
Estos resultados nos proporcionan una opción de verificación espacial, para la valoración de los posibles potenciales encontrados en el territorio. Comparándolos con estudios actuales con los que cuentan corporaciones institucionales.

4.2 Mapas de restricciones

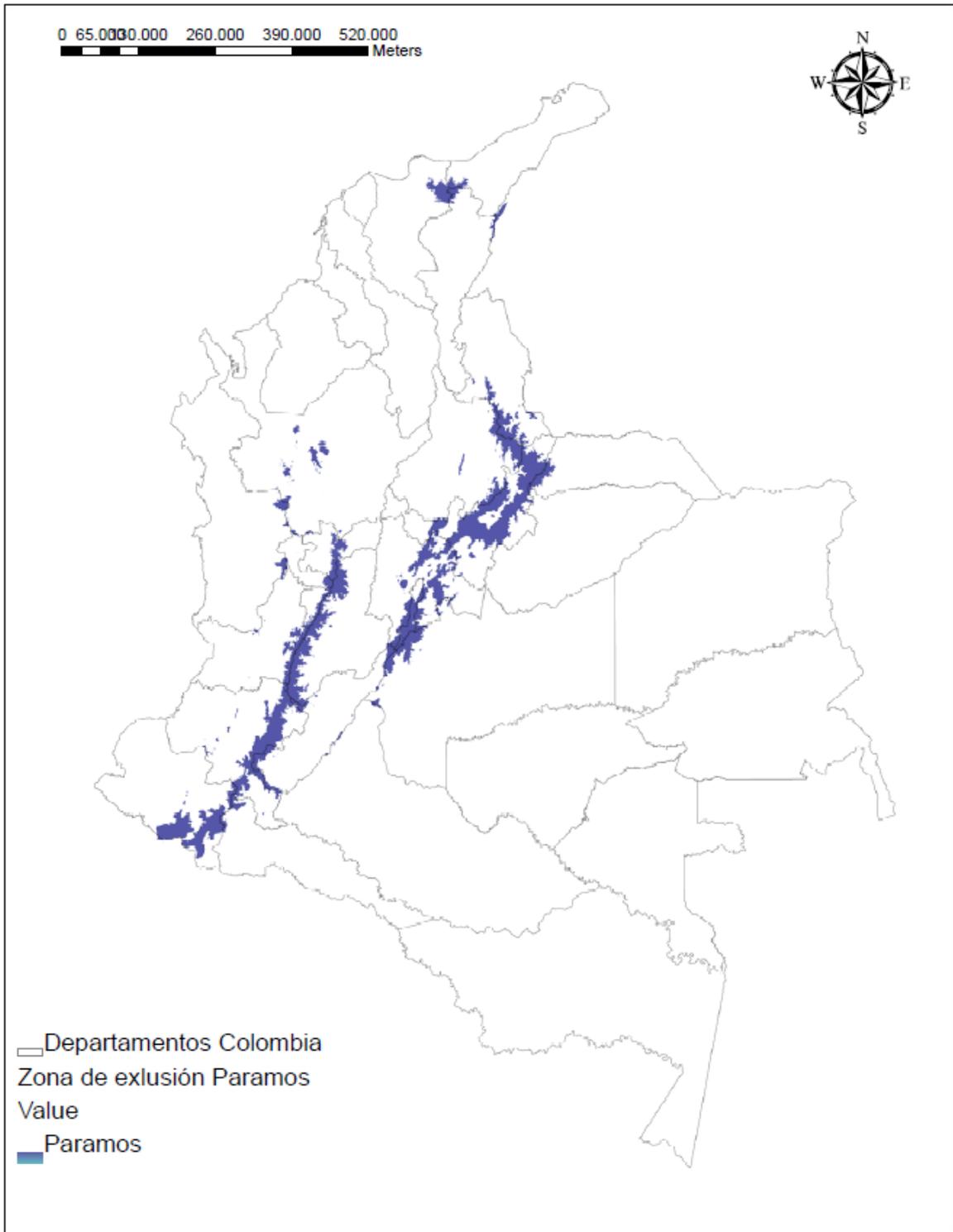
Parte del ejercicio para la valoración de recursos era obtener la sumatoria de las zonas que se encuentran con restricciones, debido a políticas o consideraciones de protección y conservación. Para ellos se estudio la información sobre resguardos indígenas, territorios con asentamiento afro descendientes, bosques primarios, páramos entre otros. Evaluadas las zonas que quedarían liberadas posterior al estudio de restricciones, se podía someter a las zonas factibles, al cálculo según el estudio exergético. Los mapas 6, 7 y 8 muestran ejemplos de algunos de los atributos que se consideraron en las restricciones.



Mapa 6 Zonas de resguardos indígenas



Mapa 7. Zonas delimitadas como reservas



Mapa 8 Zona delimitadas como paramos

4.3 Mapas e inventarios y de potenciales

Posterior al estudio de restricciones, acompañados del cálculo y la modelación de modos de generación, bajo parámetros exergéticos se desarrollaron evaluaciones para determinar los valores mínimos de generación para cada tecnología, entendiendo por tales el potencial técnicamente desarrollable en la tecnología considerada a la vista de los recursos disponibles e imponiendo las limitaciones técnicas pertinentes al desarrollo del recurso.

Se obtuvo un conjunto de mapas que espacialmente indican las zonas de mayor favorabilidad para la de generación con recursos renovables potenciales, para alguno de los tres casos evaluados. La plataforma SIG, acompañada de los cálculos exergéticos que arrojó valores de gran interés en el que se muestran las zonas de significativa extensión en las que se podrían, dar mayor rigurosidad al estudio y muestreos de variables para dar la posibilidad de un análisis de factibilidad a posibles proyectos de generación. Estos se pueden asociar con capas de información, en las que se identifiquen, posibles desarrollo de complejos industriales, tales como refinerías, campos de explotación de hidrocarburos y minerales, puertos y zonas francas, con el fin de validar la opción de suministro energético y de esta manera contar niveles de autonomía energética. También se pudo corroborar la información de algunos sitios estratégicos con potenciales de generación, por su cercanía o cruces de desarrollos viales o del sistema interconectado nacional. A continuación se muestran los mapas con los potenciales de generación, (ver mapas 9, 10 y 11).

4.3.1 Resultados inventario recurso Eólico

En Colombia, el recurso Eólico se encuentra en muy baja proporción, pues son pocos los departamentos que cumplen las condiciones para su generación; Cesar, Guajira, Magdalena, Norte de Santander y Tolima.

El aporte energético de estas zonas, mediante el aprovechamiento del viento, no está dado por su extensión, Magdalena con un área de 46.530 km² tiene un aporte del 25 % equivalente a 346.595 MW igual a Cesar cuya área es 22.905 Km², aproximadamente la mitad, sin embargo las características de velocidad de viento y las zonas donde es posible la generación de energía es igual para ambos. La Guajira tiene un porcentaje de 26 %, equivalentes a 367.124 MW, siendo esta la región del país con mejores características para este tipo de energía, aunque el porcentaje de generación está dividido aproximadamente en cuatro partes, El aporte de Norte de Santander es de 21 %, 293.551 MW muy similar al aporte de los departamentos anteriores. Por último está el departamento del Tolima con un pequeño aporte del 3 %, es decir 41.300 MW.

En Colombia el área útil para la generación de este tipo de energía es de 7.769.661 hectáreas, equivalente al 0,68 % del territorio nacional, con una generación total de 1.398.539 MW y un factor de generación de 0,18 MW/Ha.

4.3.2 Resultados inventario recurso Solar

El 87.5 % de los departamentos colombianos presentan, por lo menos en alguna zona de su extensión, las características mínimas de radiación para la generación de energía. Con un total de 32,43 % de hectáreas del país, viable para su producción 4.045.632,67 MW; con un factor de generación de 0,11 MW/Ha, de los cuales mediante a un análisis exergético sólo 164.540,64 MW serán generación real. El departamento de Vichada con un 18,09 % se ubica como el primer departamento, seguido por Casanare y Cundinamarca con una participación de 8,97 % y 8,55 % respectivamente. Pero el aporte no es tan optimo en todos los departamentos, Caldas está ubicado en la parte más baja sólo con 0,08 % y 3.210,99 MW.

4.3.3 Resultados inventario Biomasa

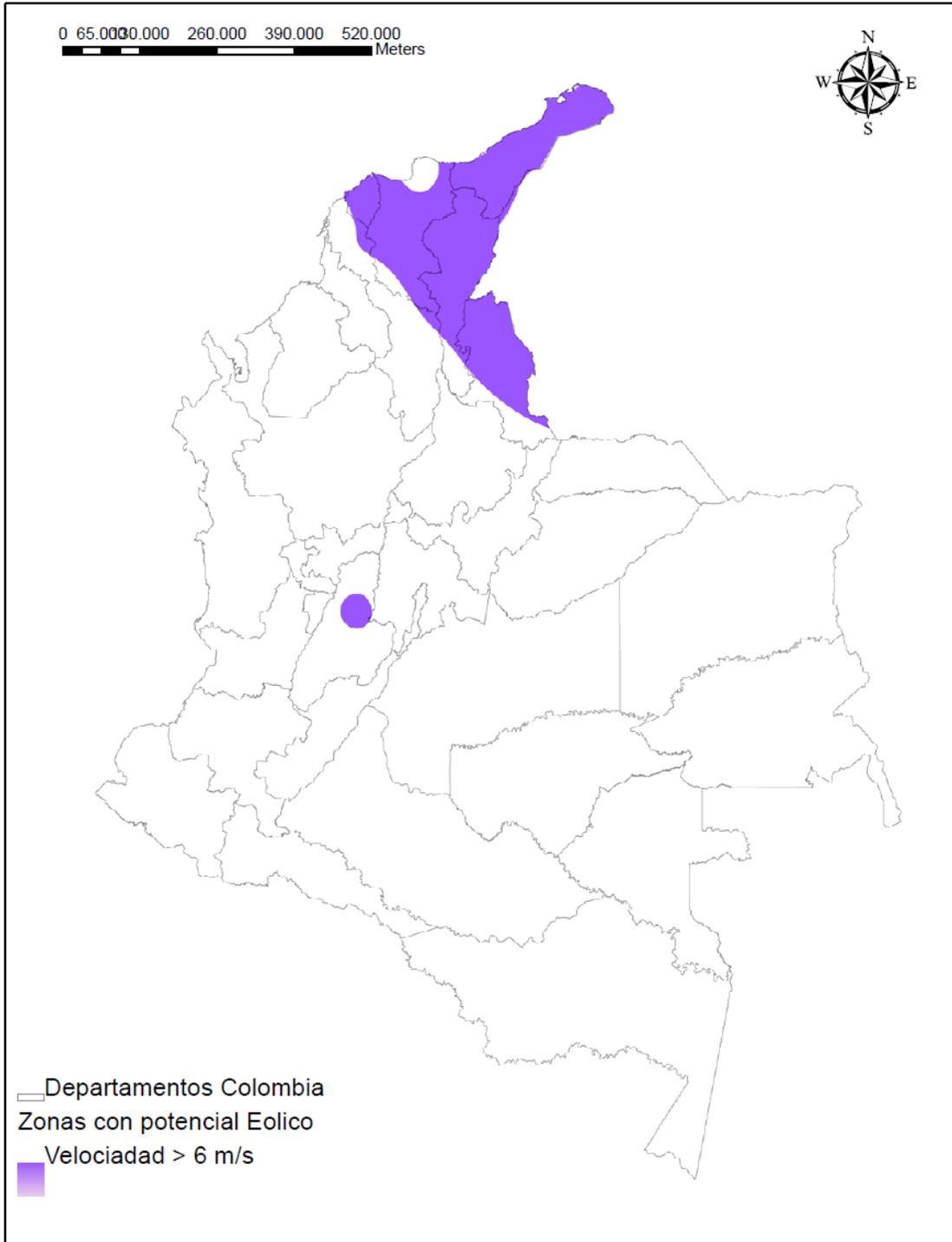
La generación de energía mediante bosques secundarios en Colombia tendrá un aporte de 5480,87 MW, a partir de 16.084.988,88 hectáreas correspondientes a 14,08 % del territorio Colombiano, con un factor de 0,34 MW/Ha, en el 90.6% de los departamentos del país, en el primer lugar de generación podemos ubicar a Caquetá con 32,88 %, seguido de Amazonas, Antioquia y Putumayo con una participación de 11,91 %, 11,23 % y 10,14 % respectivamente. En la parte baja de generación tenemos a Quindío con un aporte de 0,04% equivalentes a 2,31 MW.

Es interesante presentar los resultados de los potenciales obtenidos en la zona oriental y en el extremo de transición centro occidental, en los que departamentos como el Caquetá, representan una gran oportunidad para generar por medio de biomasa. También se ratificó las potencialidades de los departamentos del norte del país para potenciales representativos para los modos solares y eólicos.

Al hacer los cruces de mapas con información de infraestructura existente, se analizan las condiciones positivas para biomasa y solar, para la zona andina, donde se concentra la interconexión eléctrica, el sistema vial y férreo. Esto conllevaría a que, de seguirse generando el crecimiento industrial del país en el que un porcentaje significativo está asentado en la zona Andina, se tienen alternativas, para el suministro energético, diferentes a las hidroeléctricas, ver (mapas 12, 13 y 14).

Como este estudio se planteó con una herramienta para planeamientos futuros es importante resaltar los valores encontrados en departamentos como el Vichada y

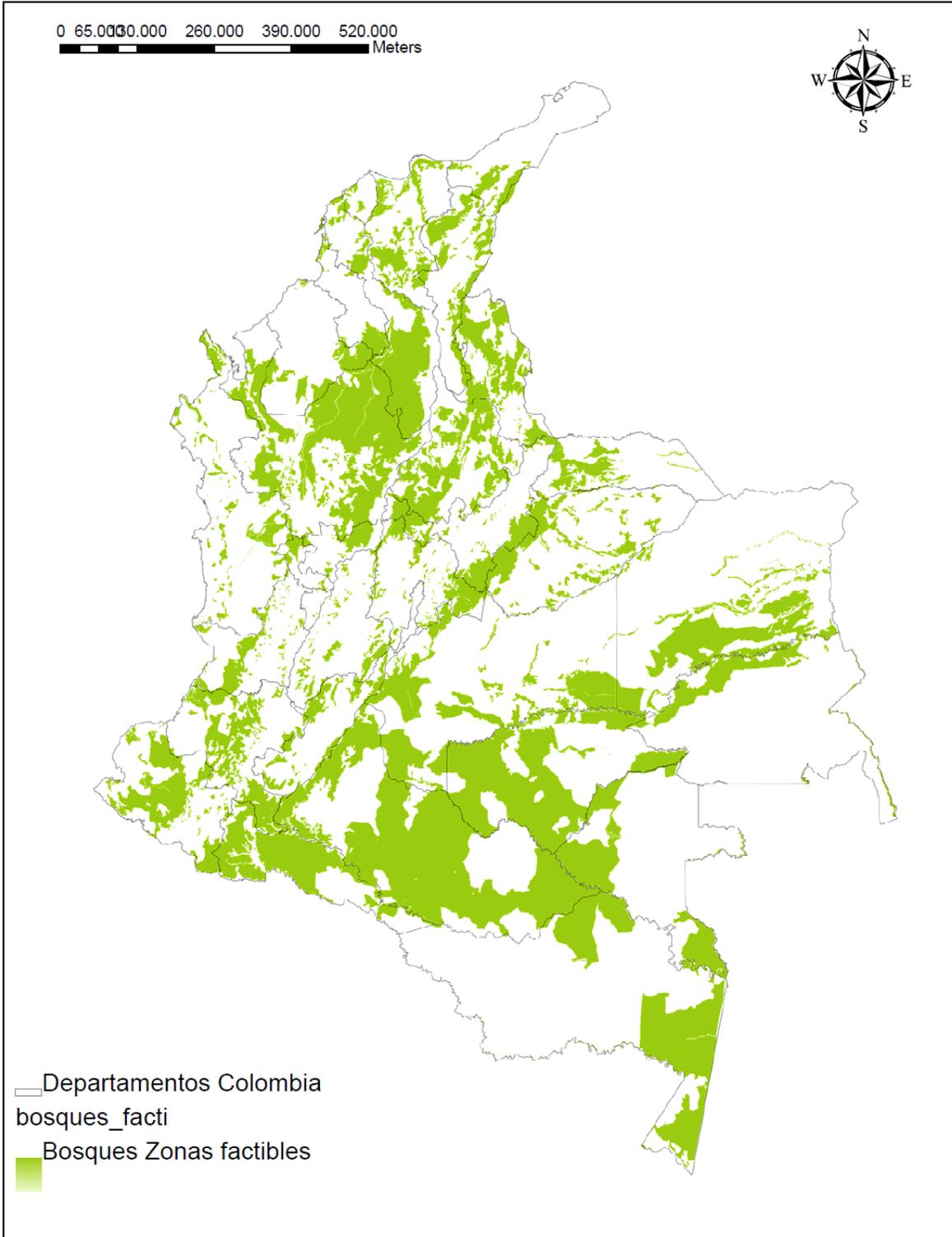
Caquetá en los que se espera contar con grandes desarrollos agro industriales y de hidrocarburos, se pueden tener fuentes energéticas que den garantía de estabilidad y suministro. Esto se esboza luego de hacer cruce información con capas reportadas por el SIGOT para los bloques de exploración y el nuevo desarrollo agro que está viviendo los Llanos Orientales con las incursiones de cultivos como Caucho, Palma, soya entre otros.



Mapa 9. Zona de potencial Eólico

INVENTARIO POTENCIAL EOLICO			
DEPARTAMENTO	Hectáreas factibles (Ha)	Potencial de generación, MW	Exergía, (energía útil) MW
CESAR	1.944.266	349.968	342.968,5
LA GUAJIRA	2.039.580	367.124	359.781,9
MAGDALENA	1.925.528	346.595	339.663,1
NORTE DE SANTANDER	1.630.840	293.551	287.680,2
TOLIMA	229.447	41.300	40.474,5
	7.769.661	1.398.539	1.370.568,2
	0,18	MW/Ha	Factor

Tabla 21 Inventario Eólico. Elaboración propia



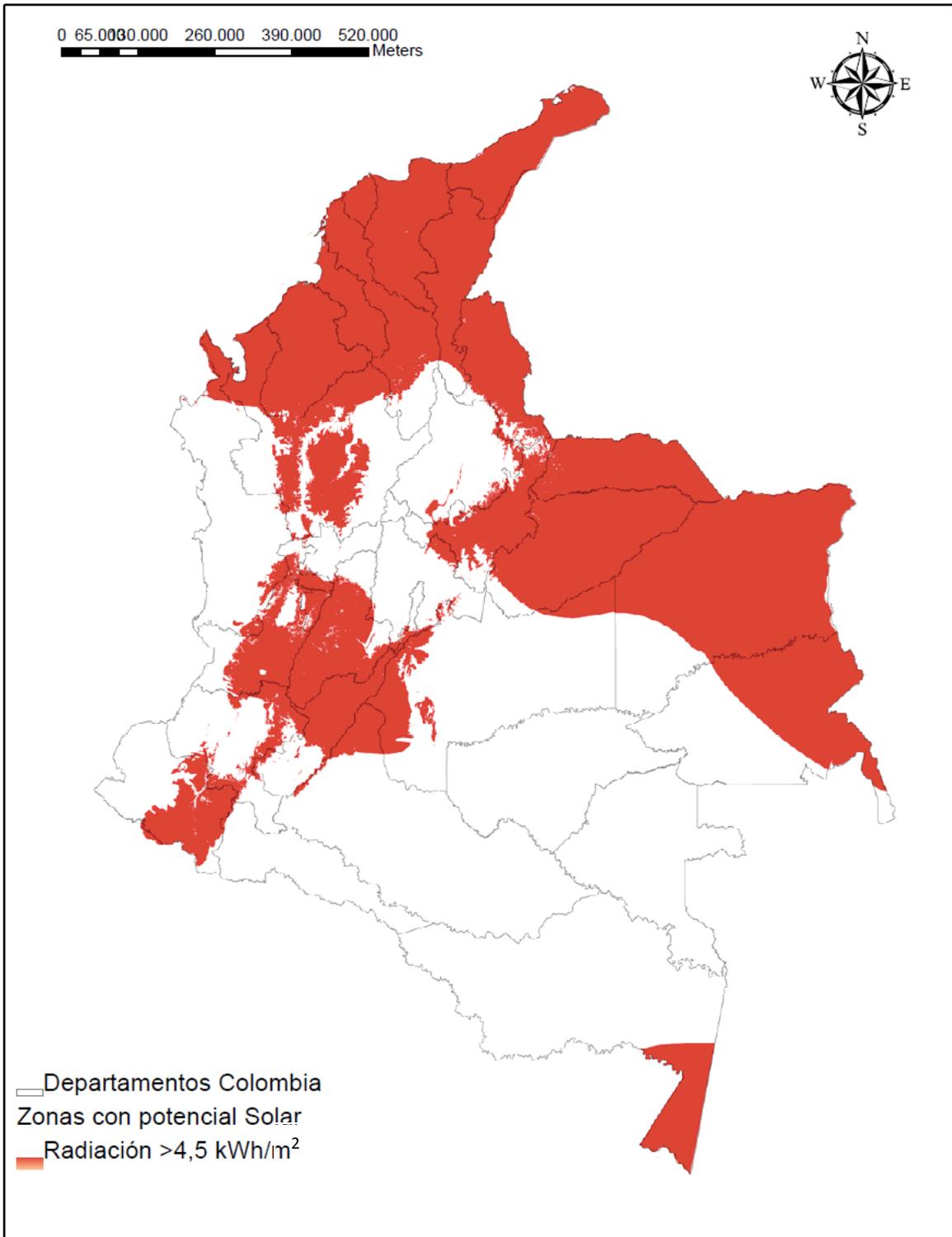
Mapa 10. Zonas de potencial Biomasa (Dendroenergía)

**INVENTARIO BIOMASA
(BOSQUES SECUNDARIOS Y
CULTIVOS)**

DEPARTAMENTO	Hectáreas factibles (Ha)	Potencial de generación, MW	Exergía, (energía útil) MW
AMAZONAS	1.916.518	653,04	192,51
ANTIOQUIA	1.805.618	615,25	181,37
ARAUCA	479.916	163,53	48,21
ATLANTICO	51.004	17,38	5,12
BOLIVAR	399.915	136,27	40,17
BOYACA	407.752	138,94	40,96
CALDAS	197.042	67,14	19,79
CAQUETA	5.289.230	1.802,28	531,29
CASANARE	49.501	16,87	4,97
CAUCA	257.577	87,77	25,87
CESAR	46.425	15,82	4,66
CHOCO	90.075	30,69	9,05
CORDOBA	233.044	79,41	23,41
CUNDINAMARCA (INCLUIDO BOGOTA)	21.875	7,45	2,20
GUAINIA	415.843	141,70	41,77
HUILA	29.473	10,04	2,96
MAGDALENA	21.543	7,34	2,16
META	391.411	133,37	39,32
NARIÑO	661.667	225,46	66,46
NORTE DE SANTANDER	43.975	14,98	4,42
PUTUMAYO	1.630.647	555,63	163,80
QUINDIO	6.775	2,31	0,68
RISARALDA	93.293	31,79	9,37
SANTANDER	351.431	119,75	35,30
SUCRE	37.915	12,92	3,81
TOLIMA	80.272	27,35	8,06
VALLE DEL CAUCA	46.063	15,70	4,63
VAUPES	428.796	146,11	43,07
VICHADA	600.392,37	204,58	60,31
	16.084.988,88	5.480,87	1.615,70
	0,34 MW/Ha	Factor	

Tabla 22 INVENTARIO BIOMASA (BOSQUES SECUNDARIOS Y CULTIVOS).

Elaboración propia



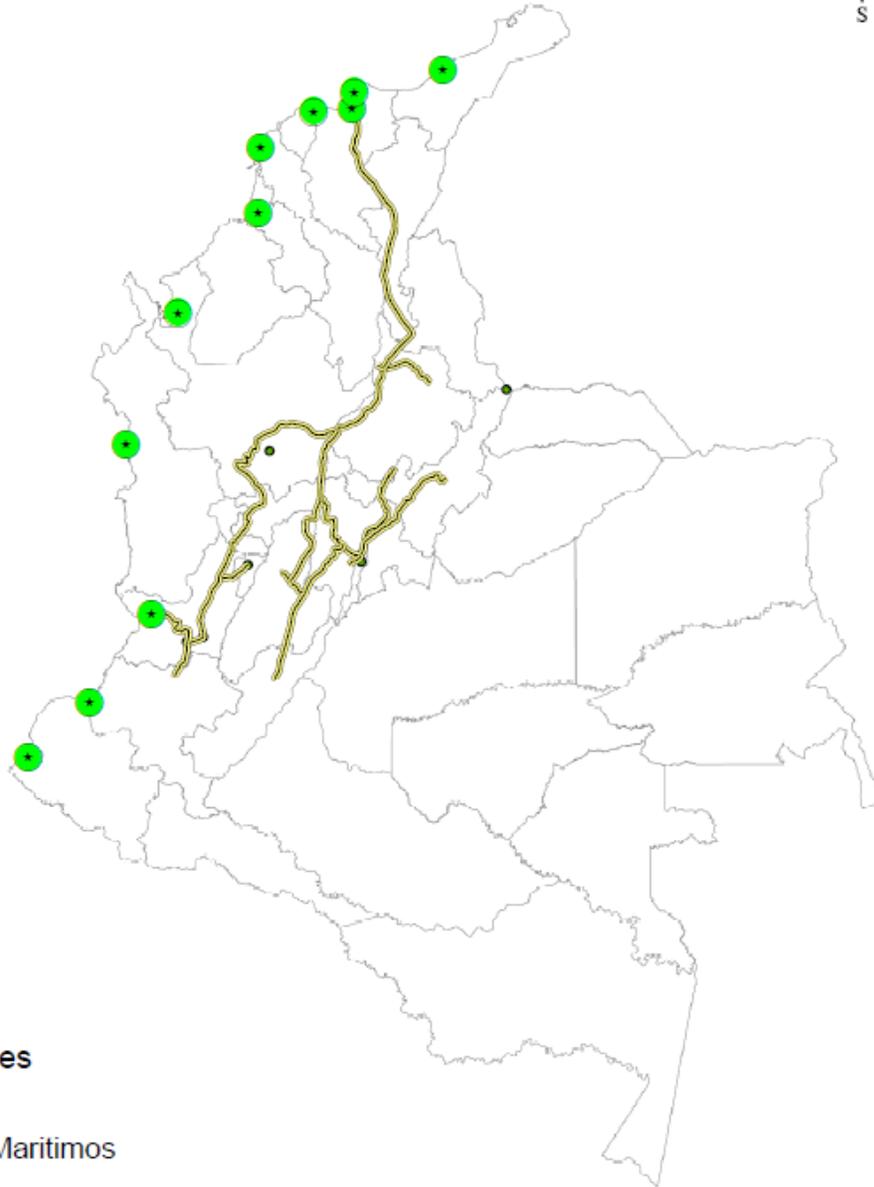
Mapa 11 Zona con potencial Solar

INVENTARIO POTENCIAL SOLAR			
DEPARTAMENTO	Hectáreas factibles (Ha)	Potencial de generación, MW	Exergía, (energía útil) MW
AMAZONAS	470.016	51.356,64	2.088,74
ANTIOQUIA	1.725.685	188.558,24	7.668,89
ARAUCA	1.893.484	206.892,92	8.414,58
ATLANTICO	286.294	31.282,12	1.272,28
BOLIVAR	895.527	97.850,42	3.979,69
BOYACA	1.231.286	134.537,37	5.471,79
CALDAS	29.387	3.210,99	130,59
CAQUETA	145.472	15.895,10	646,47
CASANARE	3.322.975	363.087,30	14.767,19
CAUCA	671.907	73.416,41	2.985,93
CESAR	2.075.288	226.757,87	9.222,51
CHOCO	430.197	47.005,79	1.911,78
CORDOBA	2.049.021	223.887,78	9.105,78
CUNDINAMARCA (INCLUIDO BOGOTA)	243.833	26.642,59	1.083,59
GUAINIA	3.167.085	346.053,87	14.074,42
HUILA	869.719	95.030,49	3.865,00
LA GUAJIRA	2.039.580	222.856,21	9.063,82
MAGDALENA	1.745.960	190.773,60	7.758,99
META	977.694	106.828,45	4.344,84
NARIÑO	1.003.640	109.663,46	4.460,14
NORTE DE SANTANDER	1.182.864	129.246,50	5.256,61
QUINDIO	152.801	16.695,91	679,04
RISARALDA	163.853	17.903,52	728,16
SANTANDER	203.531	22.238,96	904,48
SUCRE	868.438	94.890,52	3.859,31
TOLIMA	1.415.979	154.717,99	6.292,56
VALLE DEL CAUCA	1.065.941	116.470,83	4.737,01
VICHADA	6.698.173	731.880,81	29.766,45
Total	37.025.630,17	4.045.632,67	164.540,64
	0,11 MW/Ha	Factor	

Tabla 23 INVENTARIO POTENCIAL SOLAR.

Elaboración propia

SISTEMA FERREO Y PUERTO MARITIMOS
COLOMBIA



Convenciones

-  Puertos Maritimos
-  Red Ferrea
-  Zonas francas Colombia
-  Departamentos Colombia

0 60.000 120.000 240.000 360.000 480.000
Meters

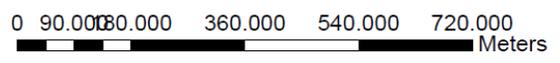
Mapa 12 Sistema Férreo y puertos Marítimos

VIAS DE COLOMBIA



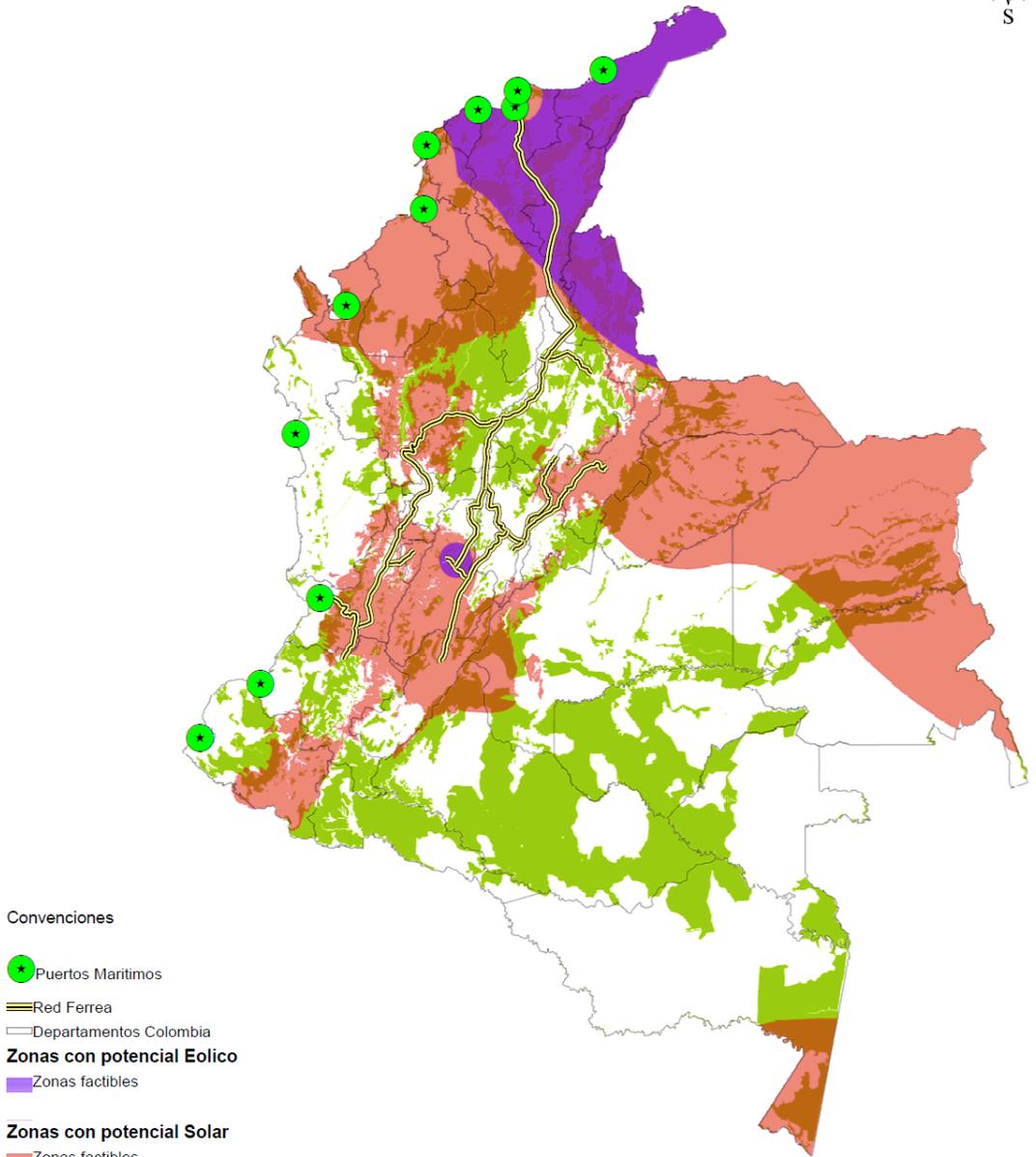
CONVENCIONES

-  OTRAS VIAS
-  CARRETERA SIN PAVIMENTAR
-  CARRETERA PAVIMENTADA
-  CARRETERA CONCESIÓN
-  REPUBLICA DE COLOMBIA



Mapa 13 Vial de Colombia

ZONAS CON POTENCIALES DE GENERACIÓN COLOMBIA



Convenciones

Puertos Marítimos

Red Ferrea

Departamentos Colombia

Zonas con potencial Eolico

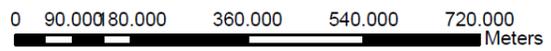
Zonas factibles

Zonas con potencial Solar

Zonas factibles

Dendroenergía bosques

Zonas Factibles



Mapa 14 Cruce de potenciales, puertos y vía férrea

4.4 Lineamientos para el aprovechamiento óptimo y sustentable de recursos renovables.

Una vez evaluadas las zonas y caracterizados los potenciales se harán planteamientos sobre el aprovechamiento de recursos, y sus condicionantes, su favorabilidad, según los resultados arrojados por el estudio. Esta etapa tendrá como resultante la priorización de las mejores alternativas.

Conociendo el desarrollo para la evaluación y estimación de recursos y potenciales de generación renovables, basados en planteamientos exergéticos, genera la alternativa para dar comienzo al estudio de potenciales, en el caso Colombia, contando con un marco de referencia importante para el desarrollo de este.

El planteamiento de los lineamientos, proporcionara la información base para el uso y las propuestas de nuevas opciones de generación. Estos planteamientos pueden ser evaluados por autoridades del sector energético, inicialmente se contaría con la verificación del departamento de planeación energética de la UPME.

Ya al tener un modelo diseñado para la evaluación de información y sostenibilidad de los recursos lo importante es poder replicarlo de forma rápida y sencilla. Teniendo en cuenta sub-modelos que ayudaran a la toma de datos de manera eficaz y rápida, por lo que se señala un modelo el cual puede medir y calcular zonas con opciones de generación, para así generar diferentes escenarios y crear modelos más cercanos a la realidad.

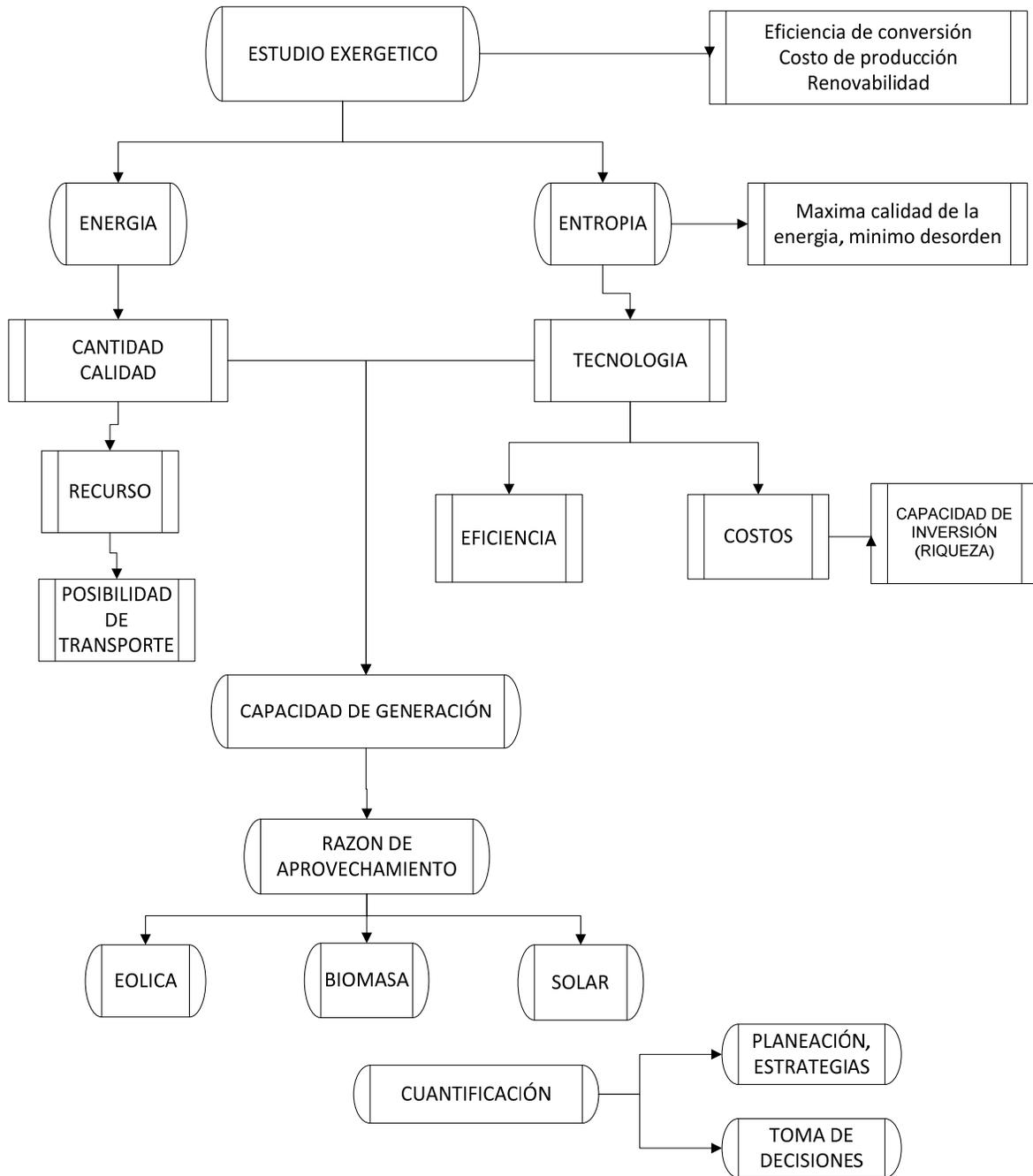


Figura 28 Esquema y dimensiones del estudio exergético

El esquema exergético presentado (ver Figura 28) es la hoja de ruta que se utilizó para el desarrollo del estudio. Como se muestra en la parte inferior, se obtuvo una cuantificación (ver Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23). Posterior a ellos llega la etapa de planeación y la creación de estrategias, para tener como resultado final la toma de decisiones.

4.4.1 Análisis Integral de Recursos Energéticos

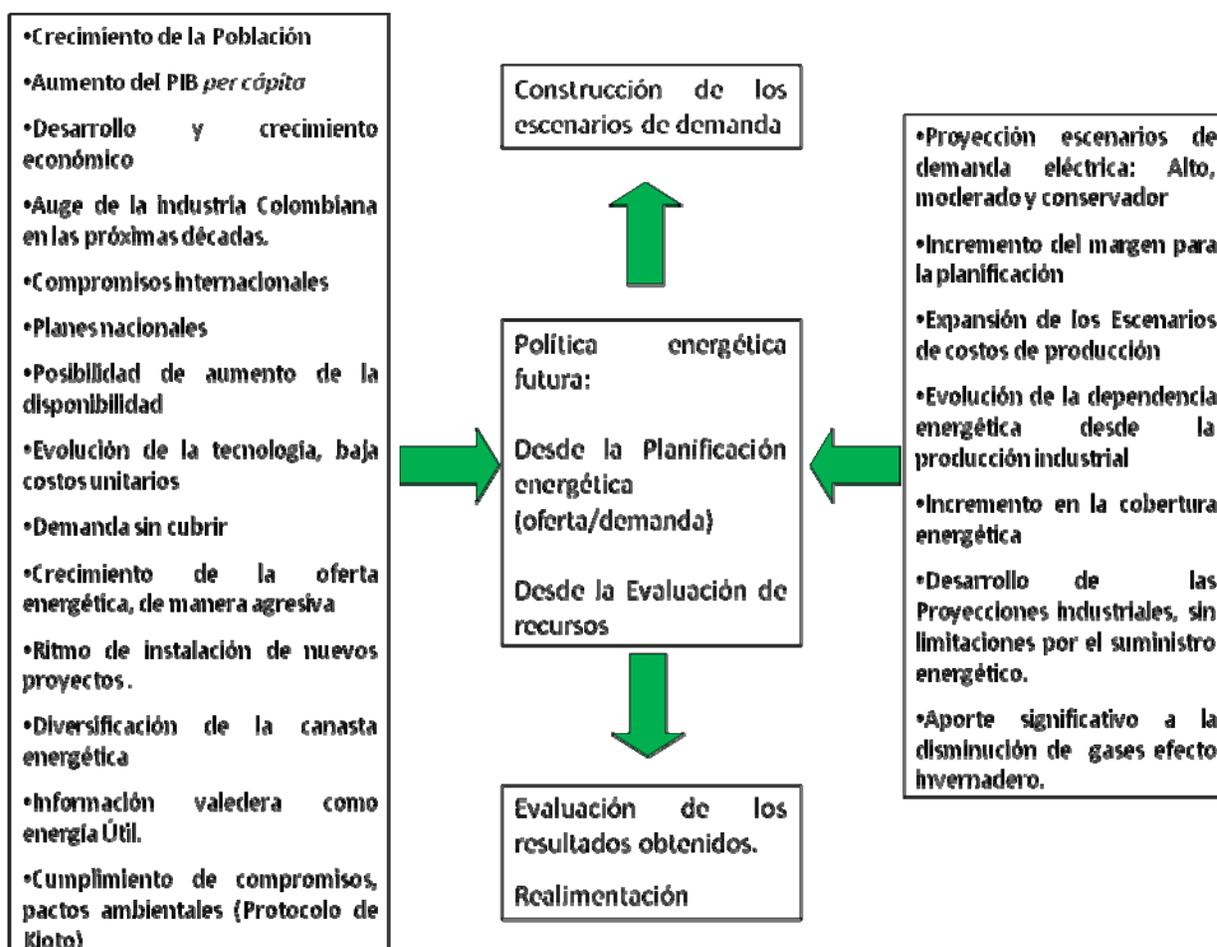


Figura 29 Esquema de análisis para la gestión de políticas energéticas

La Figura 29, representa un resumen de las condiciones que se deben considerar para llegar a la estructura de planeamiento, en la que se puede dar la inclusión del uso de las energías renovables.

Conclusiones

El propósito de este trabajo fue aplicar los fundamentos de la energía útil y modelos de análisis espaciales, para los tres modos de generación estudiados, recursos eólico, solar y biomasa, con esto se pudo obtener el resultado del potencial existente en el territorio Colombiano. Se evaluó la eficiencia de generación, por medio de fundamentos exergéticos de las distintas tecnologías aplicadas dentro del estudio. Se buscaba validar la obtención de recursos suficientes para la implementación industrial de energías renovables, con los datos obtenidos se tiene un marco de referencia en el cual se hace evidente el potencial con el que se cuenta. Los factores de generación (Eólico: 0,18 MW/Ha, Solar: 0,11 MW/Ha y Biomasa: 0,34 MW/Ha) asociados a las hectáreas disponibles y con potencial de generación, plantean que podrían desarrollarse granjas o proyectos de generación, sin que esto signifique la ocupación de grandes zonas del país, o la penetración con energía eléctrica a zonas aisladas, con no presencia del sistema interconectado; como es el caso del departamento Caquetá.

El uso de la exergía, permite dar una valoración más acertada a los potenciales y los recursos con los que cuenta en el territorio. Debido a que con ella se obtiene condiciones de aprovechamiento de la energía útil. Esto podría iniciar una condición de estudio para mejorar las cuentas y el capital de recursos que se cuenta. La consideración que se acaba de enunciar es una buena herramienta a la hora de hacer planeación y poder realizar proyecciones. Una de las claves para la obtención de un desarrollo sostenible es el uso del análisis de exergía. El presente estudio, presento las evaluaciones de la eficiencia de utilización de la energía y la exergía en el territorio Colombiano. Como se muestran en los resultados, se marcan zonas con favorabilidad como serian: los Llanos Orientales, en los que se podrían instalar alternativas solares y de Biomasa, las cuales tendrían sintonía con el nuevo desarrollo agro industrial que se viene despertando, el cual tendría una demanda significativa de suministro de energía y por esta zona no se cuenta con el sistema interconectado Nacional.

La disponibilidad de recursos energéticos en las regiones estudiadas presenta las alternativas para que se dé un despliegue y se apropien tecnologías (aerogeneradores, paneles fotovoltaicos, sistemas híbridos solar térmica

colectores cilindro-parabólicos, y plantas de biomasa) para satisfacer la demanda de energía. Los resultados muestran que parte la demanda energética, podría ser satisfecha por recursos renovables (solar eólico y biomasa), si se llegase a desarrollar proyectos de generación en las zonas que presentaron resultados positivos.

Se hace necesario tener un horizonte amplio en cuanto a los últimos desarrollos tecnológicos y a las oportunidades que estos ofrezcan y su aplicabilidad en condiciones industriales. Se deben considerar los desarrollos tecnológicos que produzcan nuevas máquinas provean altas eficiencias en la conversión de energía, dando el mejor aprovechamiento a los recursos renovables con los que cuenta el país. Esto a su vez muestra la favorabilidad de que los modos de generación con energías renovables, puedan ingresar de manera paulatina, hasta llegar a una participación significativa en la canasta energética.

La sostenibilidad en el suministro de energía requiere, de la diversificación de la canasta energética. Una vez presentados los resultados de los inventarios de los potenciales, en los que se puede lograr amplio aprovechamiento de las fuentes de energía renovable, Tanto en la zona norte del país, para los recursos Solar y Eólico, como en el centro oriente en los que se tiene resultados satisfactorios para los recursos Biomasa y solar. Se hace necesario tener una disposición paralela a la actual, en la cual los mayores generadores de energía son por vía recursos hídricos, (las futuras ofertas de energía predominaran los proyectos hidroeléctricos) en la que la introducción de estas tecnologías alternativas, se presenten con la argumentación que soporte la validez de los modos de generación renovables, que han sido presentados en el estudio. Pues esto determinaría la rapidez con que se puede implementar siguiendo un modelo de sostenibilidad de generación energética.

Uno de los planteamientos sobre los cuales se fundamenta el estudio, es el aprovechamiento del conocimiento acumulado en todo el mundo y a través de todas las generaciones para el desarrollo energético de las comunidades. Por eso se citaron los casos de las matrices energéticas en EE.UU y Reino Unido, los cuales ya cuentan con proyecciones y previsiones de la participación y la velocidad con la que se incursionaría a la oferta energética, con medios de generación renovables. También la Agencia Internacional de Energía, provee proyecciones. Entonces como resultante de este estudio, se puede dar comienzo a la planeación energética y a la valoración de recursos, los cuales se encaminaran a la búsqueda de la importancia que tendrían los modos de generación renovables para el caso Colombiano.

En la parte de tecnología de los modos de generación, deben ajustarse a una auto-sostenibilidad tecnológica para satisfacer las necesidades inherentes al mismo y poder desarrollar una eficaz tarea a la hora de replicarse en diferentes partes, donde los recursos cuenten con la condición positiva, de entrega continua de materia prima para la conversión en energía eléctrica. Los valores que demostraran la aplicabilidad de los recursos renovables de manera industrial

partirán del análisis del método y tiempo de incursión de las energías renovables y sus consecuencias económicas, sociales, políticas y ambientales por su utilización; pues estas serán comparadas con los modos tradicionales de generación por combustibles fósiles. Que por tecnologías, costos y condiciones comerciales cuentan con situaciones privilegiadas.

La metodología realizada dentro de este estudio, presento y determino los límites permisibles de generación para las tecnologías evaluadas, dadas las condiciones existentes en el territorio Colombiano, muestra de ello se da en las Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23, esto conlleva que es posible presentar propuesta de incursión asociada a la tasa de crecimiento de la demanda energética.

Estudiadas las barreras a las que se enfrentan las energías renovables, estos resultados, que se encuentran resumidos en los inventarios de zonas con potenciales de generación. Convirtiéndose estos en un aporte significativo a la mejora de información específica. Condición que podría disminuir las demás barreras de penetración, enunciadas por la CEPAL.

Los ejemplos citados de la matriz energética Británica y de los Estados Unidos, son un referente de la ruta que se debe tener, para poder llevar a términos exitosos la incursión de las energías renovables en la canasta energética, en periodos futuros, la demanda energética futura, está asociada totalmente al crecimiento industrial del país, el cual estará en condiciones de expansión y de descentralización, en aras de contar con el aprovechamiento óptimo de recursos y del territorio. Esta condición toma un carácter de premura, para poder dar máximo uso a los recursos renovables, no se puede dar espera, como se citaba en el párrafo anterior sobre las barreras, están deben comenzar a ser superadas y este ejercicio debe hacerse con dinamismo, se reitera que se deben tomar como ejemplo la estados de generación y la proyecciones presentadas.

Bibliografía y fuentes de información

- 1 Aises. The White Paper Transitioning to a Renewable Energy Future 2005.
- 2 Botero B, Isaza C, y Valencia, "Evaluation of methodologies for remunerating wind power's reliability in Colombia," Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, n°. 7 (Septiembre 2010): 2049-2058.
- 3 Cadena, Botero B. Regulation to foster renewable energy and distributed generation in Colombia" – Summary. Ene 2009.
- 4 Caspary G, "Gauging the future competitiveness of renewable energy in Colombia," Energy Economics, vol. 31, n°. 3, págs. 443-449, May. 2009.
- 5 Colciencias.
<http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/DECRETO%20393%20DE%201991.pdf> decreto 333.
- 6 Colciencias.
<http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/LEY%2029%20DE%201990.pdf> ley 29 de 1990.
- 7 Costanza y Daly. Natural capital and sustainable development. Conservation Biology, 6(1):37–46, March 1992.
- 8 Dincer, "The role of exergy in energy policy making," Energy Policy 30, n°. 2 (Enero 2002): 137-149.
- 9 European Renewable Energy Council. Energy Revolution 2010.
- 10 Empresas Publicas de Medellín parque eólico
<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Energia/Foro%20Energetico/Presentaci%C3%B3n%20EPM.pdf>
- 11 Forero. Presente y Futuro de las energías renovables en Colombia, ANES, fecha consulta 11 de Junio de 2011.
http://www.anes.org/anes/formularios/SemanaNacional/memorias/Cumbre/Cumbre_Colombia_Nelson_L_Forero_Ch.pdf.
- 12 Green Peace España, Plan Renovables 2050, 2005.
- 13 Hall DO, Slesser M, Betz DKL, McLaren DJ, Burrollet PF, Roberts PC, et al. Resources and world development, in: McLaren DJ and Skinner BJ, editors chapter: assessment of renewable and nonrenewable energy resources. New York; John Wiley & Sons Limited; 1987. p. 4854–506.
- 14 Hermann, Quantifying global Exergy resources, Energy 31 (2006), pp. 1685–1702.

- 15 <http://libros.redsauce.net/CentralesTermicas/xPDFs/25CT.pdf> tipos de caldera julio 12 de 2011.
- 16 <http://www.scielo.org.ar/pdf/riat/v82n1-2/v82n1-2a01.pdf>
- 17 <http://www.ehu.es/mmtde/materiala/tablas%20y%20diagramas.pdf> tablas termodinámicas julio 6 de 2011.
- 18 http://cerezo.pntic.mec.es/rlopez33/bach/tecind2/Tema_3/rankine.html ciclo Rankine, 10 de Julio 2011.
- 19 http://temasavanzadoscienciasambientales.bligoo.com.co/media/users/10/523605/files/52284/COLOMBIA_potenciales_energeticos.pdf. Colombia Diapositivas 12 de Junio.
- 20 <http://www.tesseractolar.com/north-america/about-us.htm>
- 21 <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c03/Exergia.pdf>
- 22 http://www.procobre.org/procobre/aplicaciones_del_cobre/energia_solar_detalle3.html
- 23 <http://libros.redsauce.net/CentralesTermicas/xPDFs/25CT.pdf> tipos de caldera julio 12 de 2011
- 24 http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/potencialidades/biomasa_CULTIVOS%20ENERGETICOS.pdf cultivos energéticos julio 6 de 2011
- 25 <http://www.energia-eolica-toda-la-verdad.com/unidades-vatio-julio-potencia.html> unidades energéticas julio 10 de 2011
- 26 <http://www.ence.es/es> julio 1 de 2011
- 27 <http://jfinternacional.com/mf/termodinamica.html> propiedades termodinámicas. Julio 9 de 2011.
- 28 <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Modulos/Modulo4.pdf>
- 29 <http://www.transformacionproductiva.gov.co/Library/News/Files/6%20%20TP-EEBSC-Presentaci%C3%B3n%20lanzamiento%20planes.pdf305.PDF> junio 28 de 2011.
- 30 International Energy Agency. World Energy Outlook 2010. www.iea.com.
- 31 Johansson, K.M. Cormick, L. Neij and W. Turkenburg, The potentials of renewable energy. Thematic background paper for renewables Available at <http://www.renewables2004.de>, 2004.
- 32 Muñoz, Valero. La valoración económica en base Exergética. Jun. 1995.
- 33 Matson. Sustainability, energy technologies, and ethics, 1617 Cole Blvd., Golden, CO 80401, USA 303/384-643 I(V).-6604 (F)
- 34 Naciones Unidas, comisión económica para América latina y el Caribe (CEPAL). Estrategia para el fomento de las fuentes renovables de Energía en América Central, México, 2004.
- 35 Navarrete. Intervención durante el Quinto Foro sobre la Reforma Energética, Senado de la República, 27 de mayo de 2008.
- 36 Presidencia de la Republica de Colombia. Decreto 2119 de 1992. 14 de junio http://www.presidencia.gov.co/prensa_new/decretoslinea/1992/diciembre/29/decreto2119291992.pdf.
- 37 Rodríguez; González. Portafolio Colombiano de Proyectos para el MDL sector energía. Fecha consulta: 13 de Junio de 2011. [http://www.accefyn.org.co/Web_GEI\(actualizada\)/Archivos_gei/P_Res_Ejecutiv](http://www.accefyn.org.co/Web_GEI(actualizada)/Archivos_gei/P_Res_Ejecutiv)

- o.PDF.
- 38 Saidur et al., "A review on global wind energy policy," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, n°. 7 (Septiembre 2010): 1744-1762.
 - 39 Salvador Izquierdo et al., "Analysis of CSP plants for the definition of energy policies: The influence on electricity cost of solar multiples, capacity factors and energy storage," *Energy Policy* 38, n°. 10 (Octubre 2010): 6215-6221.
 - 40 Skinner. *Earth resources*. Prentice-Hall, London, 1986.
 - 41 Skinner, S. C. Porter, and D. B. Botkin. *The Blue Planet. An introduction to earth system science*. Wiley, 2nd edition edition, 1999.
 - 42 Stirling Energy Systems SES
<http://www.stirlingenergy.com/http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3024/1/54915-1.pdf>
 - 43 Szargut, Anthropogenic and natural Exergy and losses *Energy* **28** (2003), pp. 1047–1054.
 - 44 Szargut, A. Ziebig, and W. Stanek. Depletion of the non-renewable natural exergy resources as a measure of the ecological cost. *Energy Conversion and Management*, (43):1149–1163, 2002.
 - 45 T.T Chow A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. Building Energy and Environmental Technology Research Unit, Division of Building Science and Technology, College of Science and Engineering, Mayo 22 de 2009.
 - 46 T.T. Chow, G. Pei, K.F. Fong, Z. Lin, A.L.S. Chan, J. Ji Energy and exergy analysis of photovoltaic–thermal collector with and without glass cover. Building Energy and Environmental Technology Research Unit, Division of Building Science and Technology, Faculty of Science and Engineering, Febrero de 2008
 - 47 Unidad de Planeación minero energética. Proyección de demanda de energía en Colombia 13 de junio de 2011
http://www.upme.gov.co/Docs/Energia/PROYECC_DEMANDA_ENERGIA_OCTUBRE_2010.pdf.
 - 48 Unidad de planeación minero energética. SIEL.
http://www.siel.gov.co/Siel/Documentos/documentacion/Generacion/Costos_Indicativos.
 - 49 Unidad de planeación minero energética. Plan de referencia de expansión de generación y transmisión 2009 – 2023. 2009,
http://www.upme.gov.co/Docs/Plan_Expansion/2009/Plan_Expansion_2009-2023.pdf upme. 13 de junio de 2011.
 - 50 Unidad de planeación minero energética. Plan energético nacional, 2006 2025.
http://www.siel.gov.co/siel/Portals/0/PLAN_ENERGETICO_NACIONAL_2007.pdf Plan energético nacional 2006 - 2025. 13 de junio de 2011.
 - 51 Unidad de planeación minero energética. Plan energético nacional 2010 - 2030 upme
<http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN%202010%20VERSION%20FINAL.pdf>. 13 de junio de 2011.
 - 52 Unidad de planeación minero energética.
<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Energia/Foro%20Energetico/Presentacion%20upme.pdf> presentación de UPME.

- 53 Unidad de planeación minero energética. Plan energético nacional 1975
<http://bibliologia.info/archivos/triunfo683pen.pdf>
- 54 Unidad de planeación minero energética. Escenario y estrategias
<http://www.upme.gov.co/Docs/Escenarios002.pdf>
- 55 Unidad de planeación minero energética. Unidad de planeación minero energética.
<http://www.upme.gov.co/Docs/Plan%20Energetico%20Nacional/5.%20Energia%20en%20Colombia%202003-2020/planenergetico-22.pdf>. 15 de junio plan energético nacional.
- 56 <http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>
 15 de junio capacidad efectiva neta.
- 57 Unidad de planeación minero energética. Plan energético Nacional, estrategia energética integral 2003-2020.
<http://www.upme.gov.co/Docs/Plan%20Energetico%20Nacional/12.%20Uso%20Racional%20de%20Energia/planenergetico-52.pdf> Junio 24 de 2011.
- 58 http://www.energiaysociedad.es/documentos/C8_Barreras_de_entrada_y_atacabilidad_del_mercado.pdf.
- 59 Universidad Católica de Chile. Matriz energética y expectativas de desarrollo energético a 20 años en EEUU, Reino unido y Francia
<http://web.ing.puc.cl/~power/mercados/matriz/Trabajo%20F%20Aceituno%20y%20F%20Hentzschel.htm> 24 de 2011.
- 60 Visión Colombia Centenaria II: 2019 propuesta para discusión
<http://www.dnp.gov.co/PORTALWEB/LinkClick.aspx?fileticket=G5qKFALu6Zw%3d&tabid=775> junio 29 de 2011.
- 61 Valero. Valero, Amaya y Martínez, "Inventory of the exergy resources on earth including its mineral capital," Energy 35, n°. 2 (Febrero 2010): 989-995.
- 62 Wall y M. Gong, On Exergy and sustainable development-part 1: conditions and concepts an International Journal 1 (3) (2001), pp. 128–145.